

1. INTRODUCCIÓN

La Diputación de Barcelona, a petición de los municipios de la provincia, viene midiendo desde el año 1997 los campos eléctricos y magnéticos generados por líneas eléctricas (líneas de alta tensión, transformadores, etc.). Desde el año 2002, se miden también los campos electromagnéticos alrededor de antenas de telefonía móvil y otras instalaciones de radiocomunicación (antenas de radio y televisión, wifi, etc.), siempre a petición de los municipios. Desde entonces, se han realizado más de 2.500 medidas cuyos resultados se quieren ahora mostrar y analizar conjuntamente.

El objetivo de esta comunicación es caracterizar los valores obtenidos en función de la fuente que genera los campos electromagnéticos y del lugar de recepción para, finalmente, valorar el grado de cumplimiento de la normativa existente.

Para contextualizar el ámbito del trabajo, a continuación se hace una breve descripción y explicación de las radiaciones electromagnéticas.

1.1. Las radiaciones electromagnéticas

Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de radiaciones u ondas electromagnéticas que emite o absorbe un objeto. Las radiaciones electromagnéticas se pueden clasificar en tres grandes grupos en función de la longitud de onda de los mismos: los campos electromagnéticos (CEM), las radiaciones ópticas (infrarroja, visible y ultravioleta) y las radiaciones ionizantes, que son las más energéticas.

Todas estas radiaciones se pueden caracterizar por cualquiera de los siguientes parámetros: la frecuencia (f), la longitud de onda (λ) o la energía (E). A medida que aumenta la frecuencia de la onda, disminuye su longitud y aumenta su energía. Entre estos tres parámetros existen las siguientes relaciones:

- a) la energía es directamente proporcional a la frecuencia:

$$E = h \times f, \text{ siendo } h \text{ la constante de Planck } (6,6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s aproximadamente})$$

- b) la longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia:

$$\lambda = c / f, \text{ siendo } c \text{ la velocidad de la luz } (300.000.000 \text{ m/s aproximadamente})$$

La velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas es la velocidad de la luz, y la energía total transmitida depende de la intensidad de las ondas y de su energía.

Generalmente, los CEM se caracterizan por su frecuencia en Hz (1 Hz = 1/s), la radiación visible por su longitud de onda en nm (1 nm = 10^{-9} m) y la radiación ionizante por su energía, en MeV (1 MeV = $1,6 \cdot 10^{-13}$ J). A continuación, en la tabla 1, se exponen algunos ejemplos:

Radiación electromagnética	Frecuencia (f)	Longitud de onda (λ)	Energía (E)
Línea eléctrica (CEM)	50 Hz	$6 \cdot 10^8$ m (6.000 km)	$3,3 \cdot 10^{-32}$ J
Radio FM (CEM)	10^8 Hz	3 m	$6,6 \cdot 10^{-26}$ J
Luz infrarroja (rad. óptica)	$3 \cdot 10^{11}$ Hz	$1 \cdot 10^{-3}$ m (1 mm)	$2 \cdot 10^{-22}$ J
Luz ultravioleta (rad. óptica)	$3 \cdot 10^{15}$ Hz	$1 \cdot 10^{-7}$ m (100 nm)	$2 \cdot 10^{-18}$ J (12,5 eV)
Desintegración del ^{60}Co : 2 rayos gamma (rad. ionizante)	$2,8 \cdot 10^{20}$ Hz $3,2 \cdot 10^{20}$ Hz	$1 \cdot 10^{-12}$ m $9 \cdot 10^{-13}$ m	$1,9 \cdot 10^{-13}$ J (1,17 MeV) $2,1 \cdot 10^{-13}$ J (1,33 MeV)

Tabla 1. Valores de frecuencia, longitud de onda y energía de algunos tipos de ondas electromagnéticas

1.1.1. Campos electromagnéticos (CEM)

Dentro de los CEM nos encontramos desde el campo estático de la Tierra ($f = 0$ Hz) hasta las microondas, con frecuencias de 300 GHz ($1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$). Los CEM pueden interactuar con las personas y generar una estimulación de las células nerviosas y musculares. Su comportamiento e interacción con los materiales se asemeja más a una onda que a una partícula.

1.1.2. Radiaciones ópticas

Las radiaciones ópticas comprenden las radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda está comprendida entre 100 nm y 1 mm:

- Las radiaciones ultravioletas (λ entre 100 nm y 400 nm) se dividen en: UVC (100 – 280 nm), UVB (280 – 315 nm) y UVA (315 – 400 nm).
- Las radiaciones visibles comprenden las longitudes de onda entre 380 nm y 780 nm.
- Las radiaciones infrarrojas (λ entre 780 nm y 1 mm) se dividen en IRA (780 – 1.400 nm), IRB (1.400 – 3.000 nm) y IRC (3.000 nm – 1 mm).

Las radiaciones ópticas pueden dañar los ojos y la piel, y pueden provocar en función de su intensidad quemaduras, eritemas y cáncer de piel.

1.1.3. Radiaciones ionizantes

La radiación ionizante electromagnética está formada por fotones con energía suficiente para ionizar la materia. Según su origen y energía, se clasifica en rayos X (que tienen origen en la capa de electrones de los átomos) y en rayos gamma (radiación más energética y con origen dentro del núcleo de los átomos). Su comportamiento se asemeja más a una partícula que a una onda.

Existe también la radiación ionizante corpuscular generada por partículas alfa (núcleos de helio), beta (electrones de alta energía), protones, neutrones y otras partículas.

Ambas radiaciones pueden tener un origen natural o artificial. La exposición a altas dosis de radiación ionizante puede causar la caída del cabello, quemaduras en la piel, náuseas y hasta la muerte. Estas radiaciones pueden tener efectos somáticos sobre el propio individuo a corto y largo plazo, y también efectos genéticos sobre su descendencia.

1.2. Los CEM

Dentro de los CEM (radiaciones electromagnéticas de frecuencias inferiores a 300 GHz) nos podemos encontrar los campos estáticos, los campos magnéticos y eléctricos generados por líneas eléctricas, así como los generados por los sistemas de radiocomunicación y las microondas.

Mientras que los campos eléctricos están asociados solamente a la presencia de una carga eléctrica, los campos magnéticos son el resultado del movimiento físico de las cargas eléctricas. Los campos eléctricos y los campos magnéticos son vectoriales, y tienen por tanto magnitud y dirección.

Los campos eléctricos y magnéticos interactúan entre sí de manera diferente en función de dos variables: la longitud de onda del campo en cuestión y la distancia a la que nos encontramos del foco emisor. Así, cuando nos situamos a una distancia del foco emisor inferior a 3 veces su longitud de onda, nos encontramos en condiciones que se denominan de campo cercano. En estas condiciones, los campos eléctricos y magnéticos se deben medir por separado, como es el caso de las líneas eléctricas, ya que con una frecuencia (f) de 50 Hz presentan una longitud de onda (λ) de miles de km.

Sin embargo, en la región de los campos lejanos, como es el caso habitual de las antenas de telefonía móvil, con una f del orden de 1 GHz y una λ del orden de algunos cm, los campos eléctricos y magnéticos son perpendiculares y mantienen una relación constante. Por este motivo conociendo un parámetro, por ejemplo el campo eléctrico, se puede calcular el otro (campo magnético) de manera directa.

1.2.1. Líneas eléctricas

Toda carga eléctrica genera un campo eléctrico, y este es proporcional a la tensión. Por este motivo, los lugares con valores más elevados de campo eléctrico se encuentran próximos a las líneas de alta tensión. Las viviendas atenúan mucho en su interior el campo eléctrico externo.

Toda carga eléctrica en movimiento genera un campo magnético, que es proporcional a la intensidad e inversamente proporcional a la distancia. La mayoría de los materiales no atenúan los campos magnéticos, y estos los atraviesan fácilmente. La proximidad de las líneas de baja tensión con mucha intensidad puede provocar en las viviendas campos magnéticos superiores a los provocados por las líneas de alta tensión generalmente más alejadas.

1.2.2. Sistemas de radiocomunicación

Los sistemas de radiocomunicación (como la radio, la televisión, la telefonía móvil, el wifi y la comunicación vía satélite) utilizan ondas electromagnéticas de radiofrecuencia para transmitir datos a través del espacio. En los sistemas unidireccionales, como la radio o la TV, tenemos un emisor y distintos receptores que pueden encontrarse a larga distancia del emisor.

La telefonía móvil es un canal bidireccional de comunicación con usuarios de posición variable. En este caso, entre la estación base de telefonía (la antena, una radio bidireccional multicanal) y el teléfono móvil (una radio bidireccional monocal) no puede existir mucha distancia debido a la limitación de la potencia de los móviles.

Las radiofrecuencias utilizadas por la Radio MW se encuentran entre 530 y 1.600 kHz, por la radio FM entre 87,5 y 108 MHz, por la TDT se encuentran entre 514 y 690 MHz, y por los teléfonos móviles entre 800 y 2.200 MHz, por el wifi a 2,4 GHz, y el microondas de las cocinas para calentar alimentos funciona a una frecuencia de 2.450 MHz.

En general, las antenas de radio y TV emiten entre 100 y 5.000 veces más potencia que las estaciones de telefonía móvil.

1.3. Normativa aplicable y otras referencias

1.3.1. Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No-ionizantes. (ICNIRP)

En el año 1974, la Asociación Internacional para la Protección contra la Radiación (IRPA) formó un grupo de trabajo para radiaciones no-ionizantes. En el Congreso de la IRPA de 1977, este grupo de trabajo se convirtió en el Comité Internacional para las Radiaciones No-Ionizantes (INIRC).

Unos años más tarde, en 1992, en el 8º Congreso de la IRPA se estableció la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No-ionizantes (ICNIRP) como sucesora del IRPA/INIRC. Las funciones de la Comisión son investigar los peligros que pueden estar asociados con las diferentes formas de radiaciones no-ionizantes, tratar todos los aspectos sobre de protección y desarrollar recomendaciones internacionales sobre los límites de exposición para las radiaciones no-ionizantes.

En el año 1990 se publicaron las primeras recomendaciones para los CEM generados por líneas eléctricas (frecuencias de 50 Hz o 60 Hz) por parte del IRPA/INIRC. Posteriormente, en 1994, la ICNIRP publicó las recomendaciones para los campos magnéticos estáticos. Finalmente, en el año 1998, la ICNIRP publicó las recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos hasta 300 GHz, basadas en efectos inmediatos sobre la salud provenientes de exposiciones de corto plazo. Las recomendaciones incluyen unas restricciones básicas, que son los valores que hay que respetar para evitar posibles efectos sobre la salud y también valores de referencia, que son los parámetros realmente medibles.

Según estas recomendaciones, una persona que se desplaza en un campo magnético estático de más de 2 T, puede tener sensaciones de vértigo y náuseas, por este motivo

se recomendó no superar los 200 mT de valor promedio durante la jornada laboral. Para el público en general se fijó un valor de 40 mT.

Para campos entre 4 y 1.000 MHz, se comprobó que la menor densidad de corriente inducida que produce efectos es de 100 mA/m². De esta manera, tomando un margen de seguridad de 10 para los trabajadores, se fijó como restricción básica para estos una densidad de corriente inferior a 10 mA/m². Para la población en general, tomando un coeficiente adicional de seguridad de 5, la restricción básica se estableció en 2 mA/m².

Para campos de 100 kHz a 300 GHz, las restricciones básicas se establecen mediante la tasa de absorción específica de energía (SAR), que se mide en W/Kg. Así, el umbral para los efectos irreversibles en tejidos más sensibles es mayor de 4 W/kg. Por este motivo, se fijó como restricción básica para los trabajadores una SAR inferior a 0,4 W/kg y, para la población en general, una SAR inferior a 0,08 W/kg.

Para el público en general, se establece unas restricciones básicas, en función de la frecuencia, que están relacionadas directamente con los efectos sobre la salud (ver tabla 2). En función de la frecuencia, las cantidades físicas usadas para especificar estas restricciones son la densidad de corriente, la SAR o la densidad de potencia (S).

Frecuencia (f)	Inducción magnética (mT)	Densidad de corriente (mA/m ²) (rms)	SAR medio de cuerpo entero (W/kg)	SAR localizado (cabeza y tronco) (W/kg)	SAR localizado (miembros) (W/kg)	Densidad de potencia S (W/m ²)
0 Hz	40	-	-	-	-	-
0 a 1 Hz	-	8	-	-	-	-
1 a 4 Hz	-	8/f	-	-	-	-
4 a 1.000 Hz	-	2	-	-	-	-
1.000 Hz a 100 kHz						
100 kHz a 10 MHz	-	f/500	0,08	2	4	-
10 MHz a 10 GHz	-	-	0,08	2	4	-
10 a 300 GHz	-	-	-	-	-	10

Tabla 2. Restricciones básicas de la ICNIRP (www.icnirp.org) para la exposición a los CEM de la población en general

Entre 0 y 1 Hz se proporcionan las restricciones básicas para prevenir los efectos sobre el sistema cardiovascular y el sistema nervioso central. Entre 1 y 10 MHz, para prevenir los efectos sobre las funciones del sistema nervioso. Entre 100 kHz y 10 GHz, para prevenir la fatiga calorífica del cuerpo entero y un calentamiento local excesivo de los

tejidos. Y entre 10 y 300 GHz se proporcionan restricciones básicas con el fin de prevenir el calentamiento de los tejidos en la superficie corporal o cerca de ella.

Para evaluar de forma práctica la exposición y asegurar que no se superen las restricciones básicas se establecen los niveles de referencia (ver tabla 3). Los niveles más bajos corresponden a las frecuencias entre 10 y 400 MHz.

Frecuencia (f)	Intensidad de campo E (V/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo B (μ T)	Densidad de potencia equivalente de onda plana (W/m^2)
0 a 1Hz	-	$3,2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	-
1 a 8 Hz	10.000	$3,2 \cdot 10^4 / f^2$	$4 \cdot 10^4 / f^2$	-
8 a 25 Hz	10.000	$4.000 / f$	$5.000 / f$	-
0,025 a 0,8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
Para $f = 50$ Hz	5.000	80	100	-
0,8 a 3 kHz	$250 / f$	5	6,25	-
3 a 150 kHz	87	5	6,25	-
0,12 a 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
1 a 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
10 a 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 a 2.000 MHz	$1,375 \cdot f^{1/2}$	$0,0037 \cdot f^{1/2}$	$0,0046 \cdot f^{1/2}$	$f / 200$
2 a 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Tabla 3. Niveles de referencia establecidos por la ICNIRP

1.3.2. Organización Mundial de la Salud (OMS) y los CEM

La OMS, entre otros muchos documentos, ha publicado distintas notas descriptivas con referencia a los CEM:

- Nota descriptiva 299. Marzo de 2006. Campos electromagnéticos y salud pública. Campos eléctricos y magnéticos estáticos.
- Nota descriptiva 322. Junio de 2007. Campos electromagnéticos y salud pública. Exposición a campos de frecuencia extremadamente baja. (líneas eléctricas)
- Nota descriptiva 304. Mayo de 2006. Los campos electromagnéticos y la salud pública. Estaciones de base y tecnologías inalámbricas. (antenas de telefonía móvil)

- Nota descriptiva 193. Octubre de 2014. Campos electromagnéticos y salud pública: teléfonos móviles.

En la nota descriptiva 299, la OMS indica que una persona, dentro de un campo magnético estático de 2T, puede tener sensaciones de vértigo y náuseas, y que los portadores de marcapasos cardíacos, implantes ferromagnéticos y dispositivos electrónicos implantados, deben evitar lugares con campos magnéticos estáticos superiores a 0,5 mT. Se especifica que el campo geomagnético terrestre varía entre 0,035 y 0,07 mT. Respecto a los campos eléctricos estáticos, se reconoce que no existen investigaciones afectivas acerca de sus efectos crónicos, y que el principal efecto consiste en el malestar corporal provocado por descargas eléctricas.

La nota descriptiva 322 hace referencia a las frecuencias entre 0 y 100 kHz. En ella se indica que el consumo de electricidad (de frecuencia 50 o 60 Hz) ha pasado a formar parte integrante de la vida cotidiana. En la nota se indica que, debajo de una línea de transporte de energía eléctrica, el campo magnético puede ser de unos 20 μT y el campo eléctrico de unos miles de V/m. Pero que no obstante, los campos magnéticos medios en las viviendas tienen una intensidad mucho más baja, alrededor de 0,07 μT en Europa y 0,11 μT en América del Norte. Los valores medios correspondientes a los campos eléctricos en las viviendas llegan a alcanzar varias decenas de V/m.

En esta nota se indica también que los efectos sobre la salud a corto plazo han quedado reflejados en dos conjuntos de directrices internacionales: la ICNIRP en 1998 y la IEEE (Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos de Estados Unidos) en 2002. Y que en la actualidad, ambos organismos consideran que las pruebas sobre los posibles efectos a largo plazo de los CEM de líneas eléctricas son insuficientes para justificar una reducción de los límites de exposición establecidos. Y por eso no se justifica la implantación de políticas basadas en la adopción de límites de exposición arbitrariamente bajos.

Pero recomienda promover programas de investigación para reducir la incertidumbre de las pruebas científicas relativas a los efectos sanitarios de la exposición a CEM de líneas eléctricas, y recomienda explorar soluciones de bajo coste para reducir los niveles de exposición al construir nuevas instalaciones y diseñar nuevos dispositivos.

La OMS, en la nota descriptiva 304, expone que la exposición a radiofrecuencia (RF) de las estaciones de base y tecnologías inalámbricas en lugares públicos suelen ser miles de veces inferior a los límites establecidos por las normas internacionales. Debido a su menor frecuencia, a niveles similares de exposición de RF, el cuerpo humano adsorbe hasta cinco veces más de señal a partir de la radio FM y la TV que de las estaciones de base. Concluye diciendo que “no hay ninguna prueba científica convincente que las débiles señales de RF procedentes de las estaciones base y de las redes inalámbricas tengan efectos adversos en la salud”

En la nota descriptiva 193, la OMS anuncia que el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer ha clasificado los CEM producidos por los teléfonos móviles como posiblemente cancerígenos para los humanos (grupo 2B). Pero a continuación también afirma que “Hasta la fecha no se ha confirmado que el uso del teléfono móvil tenga efectos perjudiciales sobre la salud.”

1.3.3. Normativa aplicable

El 30 de julio de 1999 se publicó en el DOCE una Recomendación del Consejo de 12 de julio de 1999 relativa a la exposición del público en general a CEM de 0 a 300 GHz, que a su vez se basan en las recomendaciones de la ICNIRP de 1998. Así, los valores límite de exposición y los niveles de actuación de la Unión Europea se fundamentan en las recomendaciones mencionadas.

En España, la referencia legal es el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas (BOE núm. 234, de 29.09.2001). Este RD establece las mismas restricciones básicas y los mismos niveles de referencia establecidos por la Unión Europea en la Recomendación del Consejo de 12 de julio de 1999.

Más recientemente, la Unión Europea ha actualizado la legislación de salud y seguridad laboral relativa a la exposición de los trabajadores a los CEM mediante la Directiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo que deroga la Directiva 2004/40/CE que a su vez ya había sido modificada puntualmente por la Directiva 2008/46/CE. Esta directiva tiene que transponerse a la legislación de cada Estado miembro antes del 1 de julio de 2016.

Existen también otras referencias legales, respecto a las distancias de seguridad entre las viviendas y las líneas eléctricas de alta tensión hay que tener en cuenta el Real Decreto 223/2008, por el que se aprueba el reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.

Para conocer los usos permitidos en cada banda de frecuencia hay que tener en cuenta la Orden IET/787/2013, de 25 de abril. Esta Orden aprueba el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF 2013) y establece desde los 8,3 kHz hasta los 275 GHz los usos permitidos para cada banda de frecuencia.

2. METODOLOGÍA DE LAS MEDICIONES: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Metodología general

La base para la realización del estudio han sido un total de 291 informes de evaluación de los CEM medidos en el entorno de líneas eléctricas y antenas de telefonía móvil, que incluyen un total de 2.558 puntos de medición. Las mediciones se han realizado en 98 municipios distintos de la provincia de Barcelona entre los años 1997 y 2016.

Cabe decir que las mediciones no se han realizado con el ánimo de hacer un estudio exhaustivo de los valores de CEM más habituales, sino que, en todos los casos, se hicieron como consecuencia de solicitudes formuladas por los ciudadanos a sus respectivos ayuntamientos, o bien por iniciativa del propio consistorio. La motivación de las solicitudes ha sido mayoritariamente una cierta preocupación ciudadana, por el hecho

de residir en lugares cercanos a antenas de telefonía móvil, líneas eléctricas o estaciones transformadoras urbanas.

De cada uno de los informes se ha extraído la información necesaria para analizar las variables seleccionadas, que se describen en el apartado siguiente. La recogida de la información seleccionada de cada uno de los informes se ha sistematizado mediante la introducción de los datos en una hoja de Excel, y finalmente se han realizado los cálculos necesarios y se han confeccionado los gráficos correspondientes.

2.2. Variables consideradas

Origen del campo: es el foco donde se originan los CEM medidos, se han distinguido los siguientes:

- **Antenas de telefonía móvil**: comprende mediciones realizadas en el entorno de antenas de telefonía móvil. Debido al rango de frecuencias medidas por el aparato utilizado (ver apartado 2.4.), en ocasiones las mediciones pueden incluir también radio FM, televisión o wifi.
- **Líneas eléctricas de alta tensión**: son mediciones realizadas en puntos cercanos a líneas de alta tensión (380 o 400 kV) cuando atraviesan entornos urbanos.
- **Estaciones transformadoras**: se trata de transformadores situados en zonas urbanas, mayoritariamente de transformación de líneas de media a baja tensión. Se incluyen aquí diferentes tipos de transformadores, como son los que se ubican en el interior de una construcción propia aislada, los que quedan incluidos dentro de edificios, ya sea en una estancia lateral o el los bajos, o los que se pueden observar anclados en la propia torre de sujeción de las líneas de media tensión (25 kV). En ocasiones las mediciones se han realizado alrededor de las líneas de media tensión que llegan hasta los transformadores.
- **Otras líneas eléctricas**: incluye mayoritariamente mediciones en entornos cercanos a líneas de baja tensión, pero también mediciones realizadas en el interior de edificios con presencia de aparatos eléctricos, como por ejemplo ordenadores.

Receptor: hace referencia al lugar donde se han realizado las mediciones. Se han distinguido los siguientes:

- **Viviendas (interior)**: son mediciones realizadas en domicilios particulares, en el interior de las viviendas, normalmente en dormitorios, comedores o salas de estar.
- **Viviendas (azoteas)**: se trata de mediciones tomadas en las azoteas de edificios de viviendas, mayoritariamente a petición de los vecinos, pues perciben que este es el lugar del edificio más expuesto a los CEM, sobretodo en el caso de antenas de telefonía móvil.
- **Escuelas**: se incluyen en este receptor mediciones realizadas principalmente en aulas y patios de escuelas de primaria, aunque algunas de las mediciones se han realizado también en centros de enseñanza secundaria.

- Vía pública: mediciones efectuadas en la vía pública de los municipios
- Equipamientos: incluye mediciones realizadas en diferentes topologías de edificios o construcciones que no son viviendas, como oficinas, bibliotecas, centros cívicos, despachos de edificios públicos, etc. Destaca la singularidad de algunos puntos de medida situados en torres de vigilancia de incendios forestales.

2.3. Metodología de medida de las líneas eléctricas

Para medir los CEM generados por las líneas eléctricas, la Diputación de Barcelona dispone de 2 equipos, cada uno con una sonda para el campo magnético y otra para el campo eléctrico. Estos equipos tienen un rango de frecuencias entre 5 Hz y 30 kHz, un rango de medidas del campo magnético entre 10 nT y 10 mT y un rango de medida para el campo eléctrico entre 0,5 V/m y 100 kV/m.

En general, las medidas del campo magnético y del campo eléctrico se efectúan a 1,5 m del suelo. Para minimizar la perturbación del campo eléctrico, la sonda del campo eléctrico se apoya en un trípode de madera y el operador se aleja de ella unos 2 m. Teniendo en cuenta que las peticiones de soporte técnico de los ayuntamientos provienen de su preocupación al entorno de líneas eléctricas de alta tensión y transformadores de gran potencia, las medidas se efectúan con un filtro que deja pasar solo la frecuencia de 50 Hz que es la frecuencia que tiene toda la red de distribución de la energía eléctrica en Europa (ver figura 1).



Figura 1. Fotografía desde un punto de medición de una línea eléctrica de alta tensión

Teniendo en cuenta la variabilidad temporal de los campos eléctrico (E) y magnético (B), las medidas siempre hacen referencia al valor de intensidad de campo efectivo (rms). Si no se indica lo contrario, la unidad utilizada para el campo magnético es el μT (1 microtesla = 10^{-6} T) y para el campo eléctrico la unidad utilizada es el V/m.

Para la frecuencia de 50 Hz, el nivel de referencia para el público en general de acuerdo con el Real Decreto 1066/2001 y la Recomendación del Consejo, es de 100 μT para el campo magnético y de 5.000 V/m para el campo eléctrico.

2.4. Metodología de medida de las antenas de telefonía móvil

Para la medida del campo eléctrico producido por las antenas de telefonía móvil y otras instalaciones de radiocomunicación, la Diputación de Barcelona dispone de dos equipos de banda ancha para dar soporte técnico a los ayuntamientos para comprobar los niveles existentes, generalmente en zonas residenciales y escolares alrededor de antenas de telefonía móvil. (Ver figura 2).

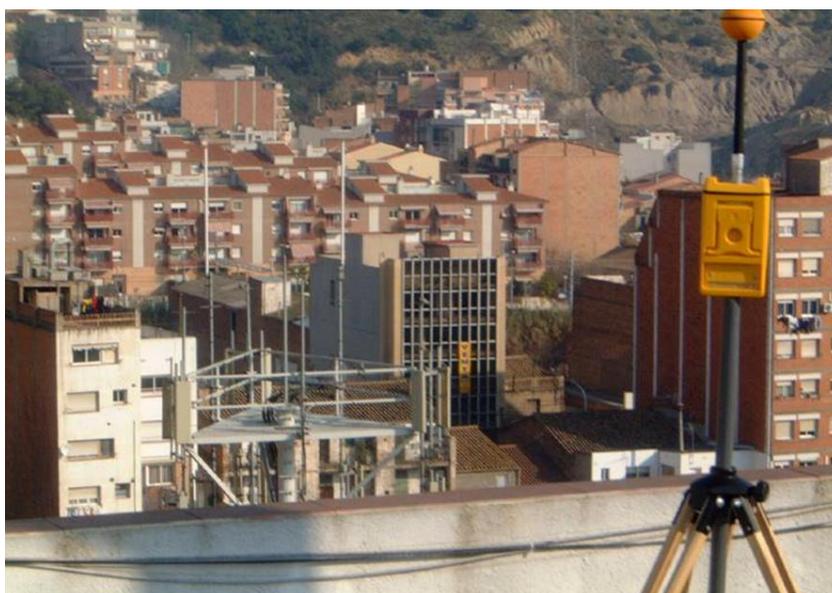


Figura 2. Fotografía desde un punto de medición de antenas de telefonía móvil

Las medidas incluyen todas las frecuencias entre 100 kHz y 3 GHz. Este rango de frecuencias incluye los 4 rangos habituales de trabajo de las antenas: 800 MHz, 900 MHz, 1,8 MHz i 2,1 MHz. El rango de medidas de la sonda va de 0,6 V/m a 800 V/m, aunque pueda señalar valores inferiores.

También se dispone de un analizador de espectro para poder conocer los niveles de campo eléctrico para cada frecuencia entre 75 MHz y 3 GHz.

A partir de 10 MHz, existe una equivalencia directa entre el campo eléctrico (E), la intensidad de campo magnético (H) y la densidad de potencia (S). Mediante las siguientes fórmulas de conversión las medidas se pueden referir a cualquier de estos 3 parámetros:

$$H = E/377, \text{ si expresamos E en V/m y H en A/m. B en } \mu\text{T se puede calcular } 1,25 \cdot H$$

$$S = E^2/377, \text{ si expresamos E en V/m y S en W/m}^2$$

Con los analizadores de banda ancha las medidas se realizan a 2 m del suelo durante un periodo de 6 minutos. Las medidas siempre hacen referencia al valor eficaz (rms). En algunos casos, simultáneamente también se hacen medidas con el analizador de espectros a 1,5 m del suelo. El resultado obtenido es un promedio de 64 medidas espaciadas 0,96 segundos.

Para las frecuencias entre 10 MHz y 3 GHz los niveles de referencia en Europa del campo eléctrico se encuentran, en función de la frecuencia, entre 28 y 61 V/m o, si se quiere expresar en unidades de densidad de potencia, entre 2 y 10 W/m².

3. RESULTADOS

En este apartado se exponen los resultados obtenidos tras analizar el contenido de los informes utilizados para realizar el estudio. Se han estudiado los valores obtenidos en función del origen del CEM y del lugar donde se han medido (receptor). Finalmente, los valores obtenidos se comparan con los valores límite legales para comprobar en grado de cumplimiento de la normativa.

3.1. Resultados globales

3.1.1. Número de mediciones

Tras analizar el contenido de los informes utilizados como información de partida, se exponen en este apartado los resultados globales obtenidos para los distintos orígenes de CEM estudiados: antenas de telefonía móvil (campos de frecuencias comprendidas entre 75 MHz y 3 GHz) y líneas eléctricas (frecuencia de 50 Hz), dentro de las cuales se desglosan los resultados para líneas de alta tensión, estaciones transformadoras y otras líneas eléctricas.

En el periodo 1997-2016 se han realizado un total de 2.558 mediciones de CEM. La mayoría de ellas (76%) corresponden a mediciones realizadas al entorno de líneas eléctricas, mientras que el 24% restante de las mediciones se hicieron en puntos cercanos a antenas de telefonía móvil (ver tabla 4). A lo largo del período considerado, el número de mediciones presenta una tendencia al alza (ver figura 3).

Año	Líneas eléctricas	Antenas telefonía móvil	TOTAL
1997	16	0	16
1998	103	0	102
1999	56	0	56
2000	77	0	77
2001	58	0	58
2002	25	0	25
2003	63	39	102
2004	134	56	190
2005	59	24	83
2006	92	52	144
2007	94	37	131
2008	92	58	150
2009	47	59	106
2010	34	37	71
2011	76	22	98
2012	172	23	195
2013	94	70	164
2014	208	55	263
2015	184	57	241
2016	218	68	286
TOTAL	1.902	657	2.558
%	74,3%	25,7%	100,0%

Tabla 4. Número de mediciones en el periodo 1997-2016

Dentro de las mediciones de campos generados por líneas eléctricas, la mayoría se efectuaron en zonas próximas a estaciones transformadoras (29% del total), seguidas de cerca por líneas de alta tensión (25% del total). Las mediciones alrededor de otras líneas eléctricas representan un proporción inferior (17%). Cabe destacar que un total de 78 mediciones, lo que representa un 3% del total, se efectuaron a una distancia de líneas de alta tensión suficiente para estar fuera de la influencia de los campos eléctrico y magnético, razón por la cual se han considerado como valores de fondo.

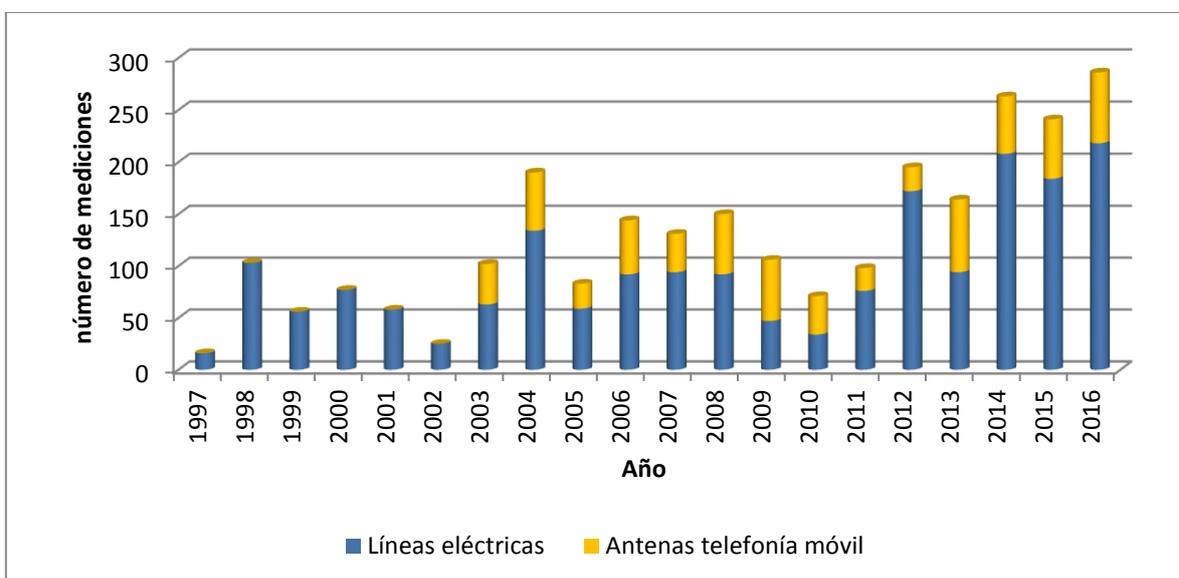


Figura 3. Evolución del número de mediciones entre los años 1997 y 2016

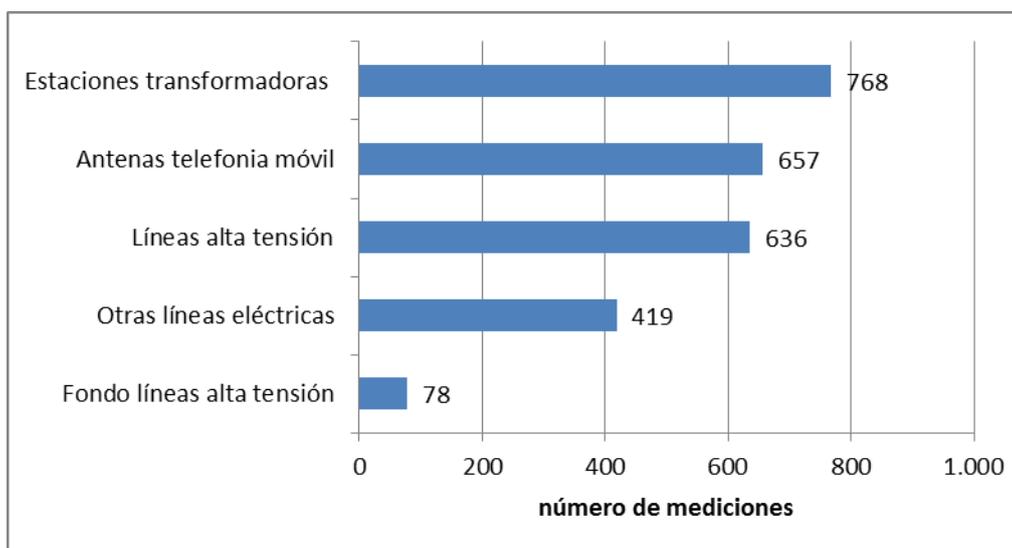


Figura 4. Número de mediciones entre los años 1997 y 2016 en función del origen del campo electromagnético

Si tenemos en cuenta el lugar donde se realizaron las mediciones (receptor), se observa que la mayoría de ellas se efectuaron en la vía pública (61 %), seguidas de las mediciones en domicilios particulares (21%), de las cuales un 4,7 % del total se hicieron en las azoteas de los edificios. Para las líneas de alta tensión, la proporción de mediciones realizadas en la vía pública es aún mayor (85% de un total de 636

mediciones). La proporción de mediciones efectuadas en viviendas aumenta en el caso de las antenas de telefonía móvil y las estaciones transformadoras, alcanzando el 34% y el 32% respectivamente del total de mediciones efectuadas en estos receptores. Finalmente, las mediciones en equipamientos y escuelas representan el 12% y el 6% del total respectivamente (ver tabla 5).

EMISOR	RECEPTOR					TOTAL	TOTAL %
	Viviendas (interior)	Viviendas (azoteas)	Escuelas	Vía pública	Equipamientos		
Antenas telefonía móvil	140	82	63	355	17	657	25,7%
Líneas alta tensión	35	23	22	545	11	636	24,9%
Fondo líneas alta tensión	0	0	0	34	44	78	3,0%
Estaciones transformadoras	227	14	32	422	73	768	30,0%
Otras líneas eléctricas	17	0	37	214	151	419	16,4%
TOTAL	419	119	154	1570	296	2558	100%
%	16,4%	4,7%	6,0%	61,4%	11,6%	100%	

Tabla 5. Número de mediciones en función del origen del campo electromagnético y el lugar donde se efectuaron las mediciones (receptor)

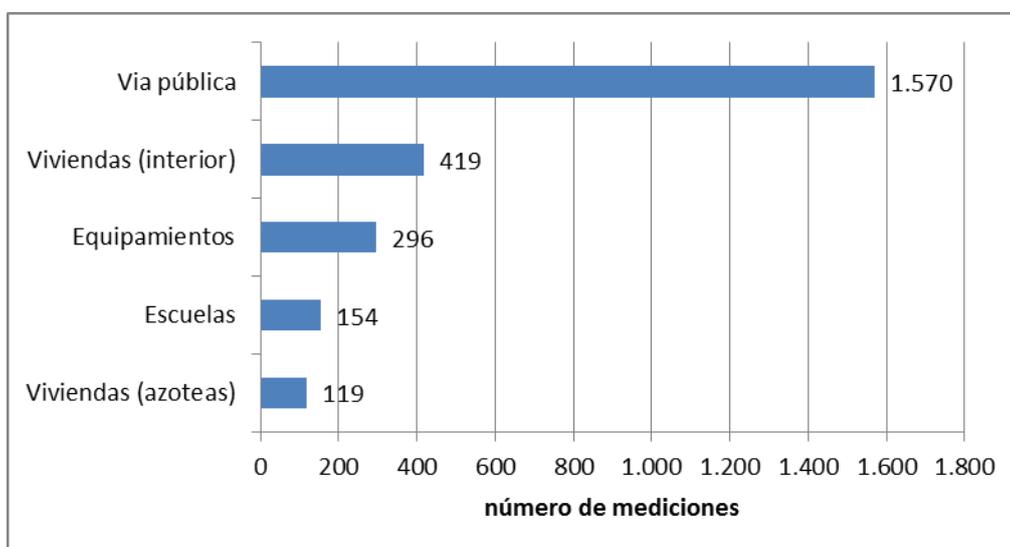


Figura 5. Número de mediciones entre los años 1997 y 2016 en función del lugar de medición

En los siguientes apartados, en las tablas 6 a 18, se indica con “n” el número de mediciones, con “Min” el valor mínimo obtenido, con “Max” el valor máximo obtenido y con “P10”, “P50”, “P90” y “P95” los percentiles 10, 50, 90 y 95 respectivamente.

3.1.2. Valores globales obtenidos para frecuencias entre 100 Hz y 3 GHz

Por lo que respecta a los valores de CEM obtenidos, en el caso de las antenas de telefonía móvil, el 50% de los valores es inferior a 0,44 V/m y los valores superiores a 2,69 V/m se superan en un 5% de las mediciones (ver tabla 6). En esta tabla también se muestran los resultados con las unidades de densidad de potencia.

Tan sólo un 1% de los casos (percentil 99) supera el valor de 4,53 V/m. El valor máximo obtenido (26,2 V/m) es un valor excepcionalmente alto en relación a todos los demás, y fue medido en la azotea de un edificio rodeado por tres instalaciones distintas de antenas de telefonía móvil.

MAGNITUD	N	Min	Max	P10	P50	P90	P95
Campo eléctrico (V/m)	657	0,04	26,2	0,14	0,44	2,08	2,69
Densidad de potencia (W/m ²)	657	0,000004	1,82	0,000052	0,00051	0,0115	0,019

Tabla 6. Antenas de telefonía móvil. Valores obtenidos en unidades de campo eléctrico y en unidades de densidad de potencia.

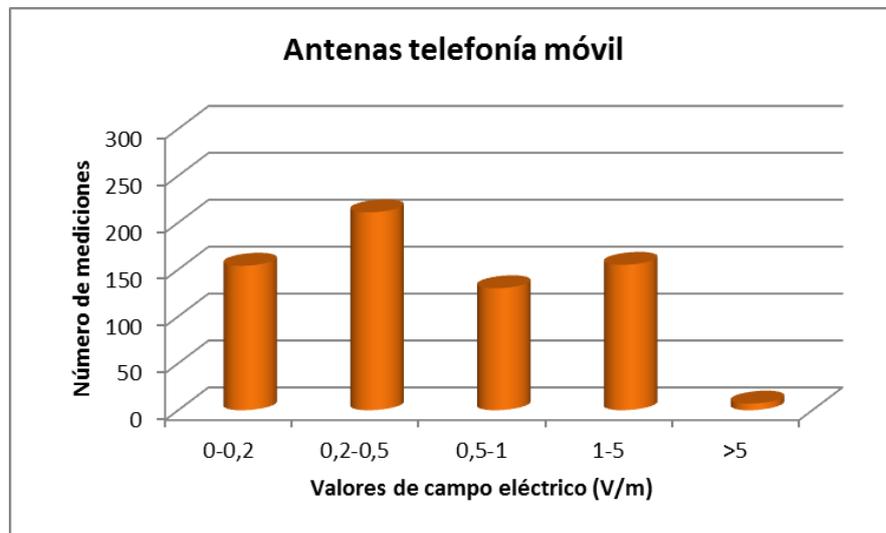


Figura 6. Frecuencia de valores de campo eléctrico de antenas de telefonía móvil

Algunos de los informes han estado motivados por la solicitud de mediciones en la frecuencia del wifi (2,4 GHz). Para confirmar la existencia de campos eléctricos a la frecuencia indicada, se ha utilizado el analizador de espectros, que permite detectar los picos a diferentes frecuencias (ver figura 7).

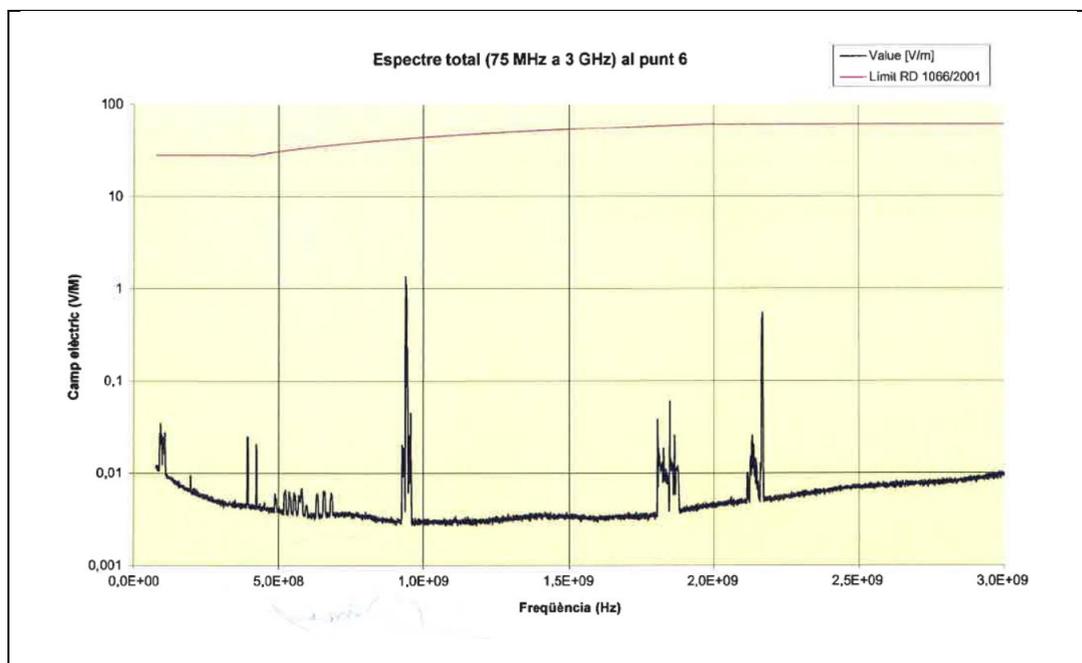


Figura 7. Ejemplo de resultados obtenidos con el analizador de espectros

3.1.3. Valores globales obtenidos para la frecuencia de 50 Hz

Tal como se ha comentado en la parte introductoria del artículo, en el caso de las líneas eléctricas (campos a la frecuencia de 50 Hz) los valores de campo eléctrico y magnético se miden por separado.

Así, si observamos en conjunto de líneas eléctricas, el 50% de los valores de campo magnético obtenidos es inferior a 0,22 μT ; los valores superiores a 4,0 μT se superan en un 5% de las mediciones (ver tabla 7). El valor máximo obtenido (100 μT), que resulta excepcionalmente alto en relación a todos los demás, fue medido en el interior del recinto de una estación transformadora. Los valores de campo magnético obtenidos no son muy diferentes para los distintos tipos de líneas, a excepción del campo magnético de fondo en el caso de las líneas de alta tensión, donde los valores obtenidos son claramente inferiores: el 90% de las mediciones no supera el valor de 0,15 μT .

EMISOR	n	Min	Max	P10	P50	P90	P95
Líneas alta tensión	636	0,001	18	0,02	0,44	2,29	3,92
Líneas alta tensión (fondo)	78	0,002	10	0,01	0,09	0,15	2,50
Estaciones transformadoras	768	0,005	100	0,02	0,25	2,10	4,41
Otras líneas eléctricas	419	0,003	10	0,01	0,10	1,40	2,95
TOTAL	1.901	0,0010	100	0,02	0,22	2,08	4,00

Tabla 7. Líneas eléctricas. Valores de campo magnético obtenidos, en μT .

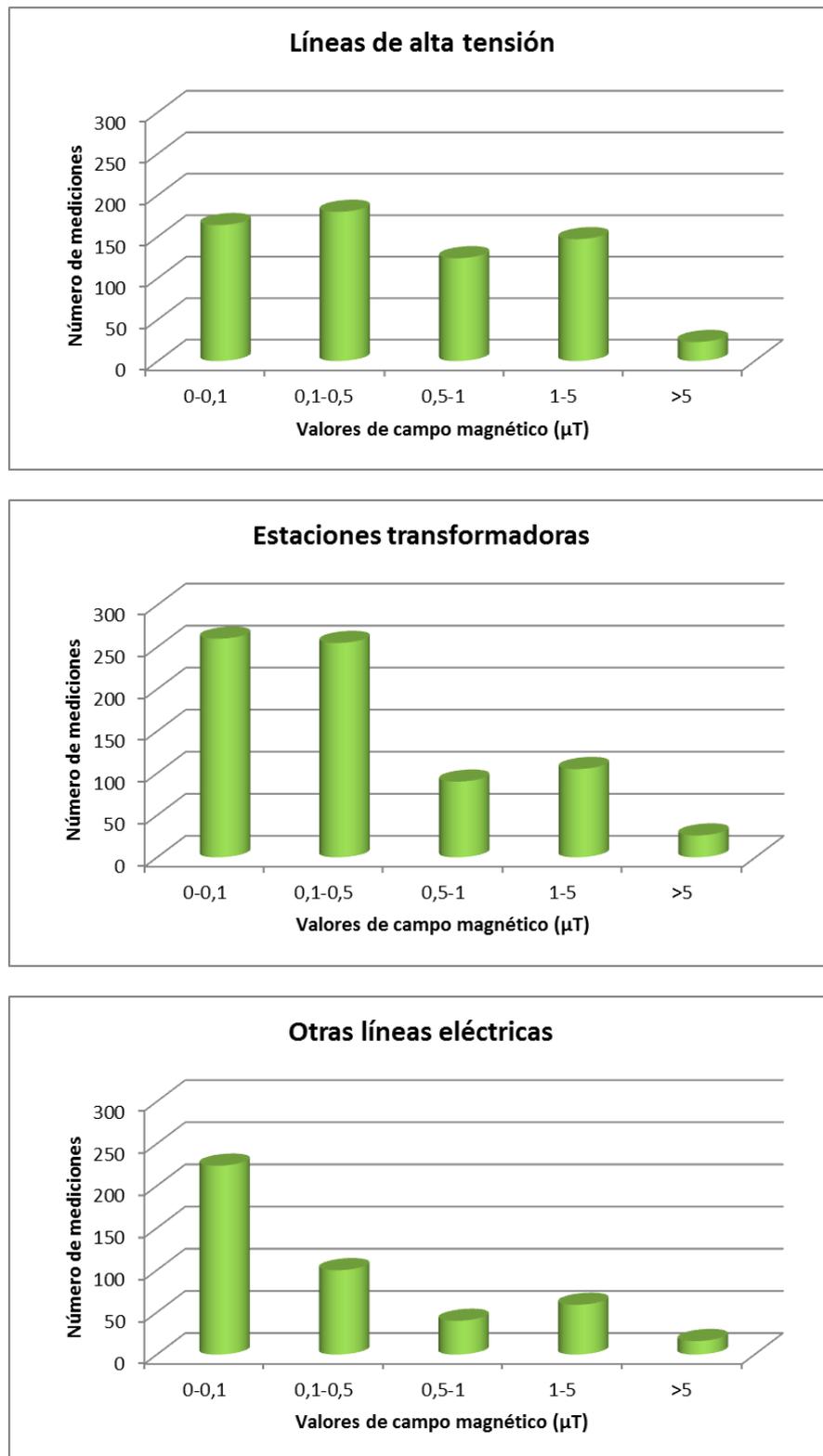


Figura 8. Frecuencia de valores de campo magnético

En lo que se refiere a los valores de campo eléctrico medidos (ver tabla 8), se debe señalar que el número total de mediciones es ligeramente inferior al de las mediciones de campo magnético, no en todos los lugares donde se ha medido el campo magnético puede situarse la sonda eléctrica.

Se observa que, para el conjunto de líneas eléctricas, el 50 % de las mediciones presentan valores inferiores a 4,1 V/m y el 5% supera los 1.420 V/m. A diferencia de lo que ocurre con los valores de campo magnético obtenidos, donde los valores son similares para las distintas líneas eléctricas estudiadas, en el caso del campo eléctrico, se observa que los valores obtenidos para la líneas de alta tensión son superiores: el 50 % de las mediciones presenta valores inferiores a 47 V/m, y el 5% supera los 2.421 V/m. Así mismo, se observa también que los valores de campo eléctrico medidos en el caso de las estaciones transformadoras son bastante inferiores (P50 = 1,1 V/m y P95 = 37,8 V/m).

Los valores extremos se obtienen para las líneas de alta tensión, donde 5 de los valores superan los 5.000 V/m establecidos por la normativa como valor límite, llegando el valor máximo medido a 16.500 V/m. Cabe destacar que los 5 valores superiores a 5.000 V/m mencionados fueron medidos en la vía pública, en lugares donde, debido a la orografía del terreno, las líneas de alta tensión pasan a una distancia relativamente baja respecto a la calzada.

EMISOR	n	Min	Max	P10	P50	P90	P95
Líneas alta tensión	549	0,01	16.500	0,30	47,00	1.676	2.421
Líneas alta tensión (fondo)	64	0,02	7,00	0,12	2,00	5,30	5,98
Estaciones transformadoras	467	0,05	400	0,29	1,10	16,93	37,80
Otras líneas eléctricas	332	0,10	1.500	0,50	2,00	85,60	358
TOTAL	1.412	0,01	16.500	0,30	4,10	743	1.420

Tabla 8. Líneas eléctricas. Valores de campo eléctrico obtenidos, en V/m.

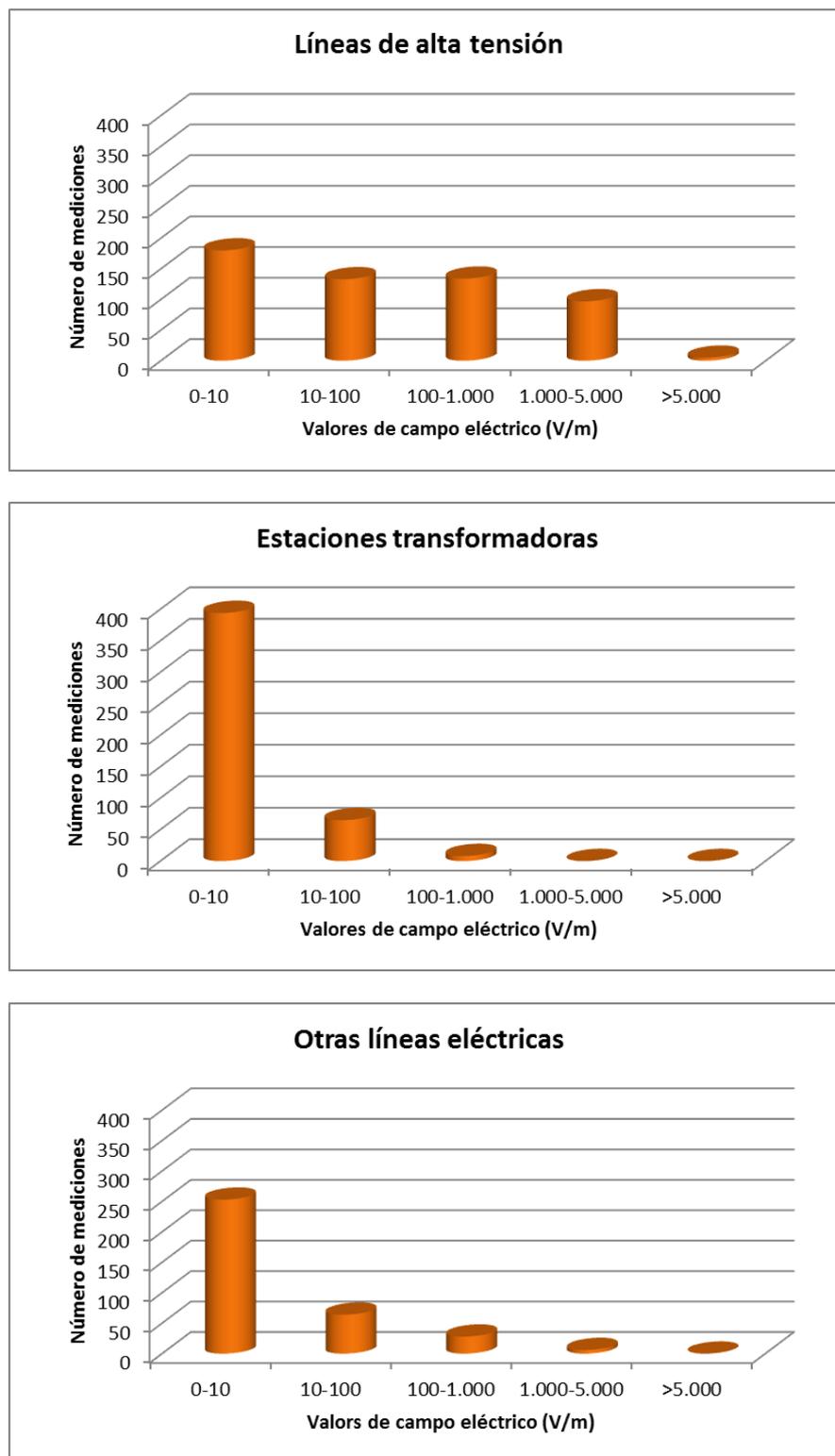


Figura 9. Frecuencia de valores de campo eléctrico

3.2. Valores obtenidos en función del origen del CEM y del receptor

En este apartado se analizan los valores obtenidos para cada uno de los distintos orígenes de campos electromagnéticos y se tiene en cuenta además el lugar donde se realizaron las mediciones (receptor).

3.2.1. CEM de antenas de telefonía móvil

La mayoría de mediciones al entorno de antenas de telefonía móvil se realizaron en la vía pública (54 % del total), seguidas de las mediciones en viviendas, ya sea en su interior o en las azoteas, con un 34%, mientras que las mediciones efectuadas en escuelas presentan una proporción menor (10%). Únicamente el 2,6 % de las mediciones se efectuaron en equipamientos (17 mediciones), por lo que se considera poco representativas de este receptor. Ver tabla 9.

Los campos eléctricos obtenidos en el interior de viviendas, en escuelas y en la vía pública resultan similares. Los valores del percentil 50 de estos receptores se sitúan entre 0,33 V/m y 0,42 V/m y el 10% de los mismos supera valores comprendidos entre 0,93 V/m en el interior de las viviendas y 2,09 V/m en la vía pública. Los valores obtenidos en las azoteas de los edificios son en general superiores (P50 = 3,27 V/m), superando el 10% de las mediciones el valor de 4,75 V/m. Es también en este receptor donde se obtiene el mayor valor de campo eléctrico medido (26,2 V/m), originado por tres antenas cercanas. Este es el valor que, sin superarlo, más se acerca al valor límite mínimo establecido en 28 V/m.

RECEPTOR	n	Min	Max	P10	P50	P90	P95
Viviendas (interior)	140	0,10	3,48	0,13	0,33	0,93	1,40
Viviendas (azoteas)	82	0,10	26,16	0,22	1,22	3,27	4,75
Escuelas	63	0,08	1,94	0,14	0,37	1,15	1,29
Vía pública	355	0,04	12,10	0,14	0,42	2,09	2,74
Equipamientos	17	1,06	2,66	1,28	2,11	2,51	2,58
TOTAL	657	0,04	26,16	0,14	0,44	2,08	2,69

Tabla 9. Antenas de telefonía móvil. Valores obtenidos en las mediciones de campo eléctrico, en V/m.

3.2.2. CEM de líneas eléctricas de alta tensión

Igual que en el caso de las antenas de telefonía móvil, la mayoría de mediciones en el entorno de líneas de alta tensión se realizaron en la vía pública (86% del total), seguidas a larga distancia por las mediciones efectuadas en viviendas (9%) y las que se realizaron en escuelas (3,5%), el 1,5 % restante fueron mediciones en equipamientos.

Los valores de campo magnético obtenidos para los distintos receptores son similares: el percentil 50 va desde 0,13 μT en el interior de las viviendas hasta 0,87 μT en las azoteas de las mismas, pasando por 0,25 μT y 0,49 μT en las escuelas y la vía pública respectivamente. Los mayores valores se han medido en la vía pública, donde un 10% de las mediciones supera el valor de 2,5 μT , con un máximo de 18 μT medido en el mismo punto donde se obtuvo también el valor máximo de campo eléctrico medido. Los valores más elevados que se han medido en el interior de viviendas y escuelas son inferiores: el 10% de ellos superan 0,80 μT y 0,59 μT respectivamente.

RECEPTOR	n	Min	Max	P10	P50	P90	P95
Viviendas (interior)	35	0,008	2,50	0,012	0,13	0,80	1,21
Viviendas (azoteas)	23	0,020	5,40	0,090	0,87	1,94	3,80
Escuelas	22	0,050	0,86	0,071	0,25	0,59	0,70
Vía pública	545	0,001	18,0	0,020	0,49	2,50	4,00
Equipamientos	11	0,006	0,92	0,008	0,03	0,52	0,72
TOTAL	636	0,001	18,0	0,020	0,44	2,29	3,93

Tabla 10. Líneas de alta tensión. Valores obtenidos en las mediciones de campo magnético, en μT .

Respecto a los valores de campo eléctrico medidos, el P50 es 2,02 V/m en las escuelas y 5,0 V/m en el interior de las viviendas, mientras que en las azoteas de edificios y la vía pública estos valores resultan claramente superiores: P50 = 26 V/m y 79 V/m respectivamente. Si observamos los valores que son superados en un 10 % de los casos (P90) la diferencia entre estos receptores se hace aún mayor: 13 V/m y 33,3 V/m en escuelas e interior de viviendas respectivamente, 1.030 V/m en azoteas y 1.819 V/m en la vía pública. Es en este último receptor donde se obtienen los mayores valores de campo eléctrico medidos, llegando 5 de ellos a superar el valor límite de 5.000 V/m establecido en la normativa.

RECEPTOR	n	Min	Max	P10	P50	P90	P95
Viviendas (interior)	25	0,20	600	0,50	5,00	13,00	23,00
Viviendas (azoteas)	15	2,10	1.600	3,10	36,00	1.030	1.600
Escuelas	13	0,10	99,00	0,14	2,02	33,30	63,30
Vía pública	485	0,01	16.500	0,24	79,00	1.819	2.466
Equipamientos	11	4,00	1.130	4,30	25,00	295	713
TOTAL	549	0,01	16.500	0,30	47,00	1.676	2.421

Tabla 11. Líneas de alta tensión. Valores obtenidos en las mediciones de campo eléctrico, en V/m.

	Valor (V/m)	Observaciones
1	16.500	Estas cinco mediciones se efectuaron en dos puntos muy específicos de un municipio con una línea de alta tensión situada a muy poca distancia de las dos calles más afectadas. Se observó que al desplazarse unos pocos metros los valores disminuían notablemente.
2	9.670	
3	9.050	
4	8.900	
5	5.550	

Tabla 12. Valores de campo eléctrico superiores a 5.000 V/m obtenidos bajo una línea de alta tensión.

Los valores obtenidos en puntos considerados de fondo son muy inferiores a los medidos en las inmediaciones de las líneas de alta tensión: en el 90 % de las mediciones se han obtenido valores de campo magnético inferiores a 0,15 μ T y valor de campo eléctrico inferiores a 5,3 V/m.

RECEPTOR	n	Min	Max	P10	P50	P90	P95
Vía pública	34	0,002	0,080	0,004	0,01	0,04	0,06
Equipamientos	44	0,020	10,000	0,076	0,10	1,72	4,90
TOTAL	78	0,002	10,000	0,010	0,09	0,15	2,50

Tabla 13. Fondo líneas de alta tensión. Valores obtenidos en las mediciones de campo magnético, en μ T.

RECEPTOR	N	Min	Max	P10	P50	P90	P95
Vía pública	34	0,09	1,08	0,10	0,18	0,86	1,05
Equipamientos	30	0,02	7,00	0,12	2,00	5,30	5,98
TOTAL	64	0,02	7,00	0,10	0,30	3,12	5,60

Tabla 14. Fondo líneas de alta tensión. Valores obtenidos en las mediciones de campo eléctrico, en V/m.

3.2.3. CEM de estaciones transformadoras

En el entorno de las estaciones transformadoras, también la mayoría de mediciones se realizaron en la vía pública (57% del total), seguidas por las mediciones efectuadas en viviendas (33%), principalmente en su interior. Las mediciones realizadas en equipamientos representan el 6% de las mediciones y las que se realizaron en escuelas tan sólo 4% del total.

Los valores de campo magnético obtenidos en viviendas, vía pública y equipamientos son parecidos, con valores de P50 que van desde las 0,2 μ T en las viviendas a las 0,6 μ T en

los equipamientos. El valor del P50 obtenido en escuelas es inferior: 0,028 μ T. En la vía pública y equipamientos es donde se midieron valores mayores (P90 = 2,5 μ T y 4,7 μ T respectivamente), mientras que en las viviendas y escuelas el 90 % de los valores obtenidos están por debajo de 1,25 μ T y 0,4 μ T respectivamente. El valor máximo obtenido (100 μ T), se midió muy cerca de un transformador, en el interior de la construcción que lo alberga. En la oficina de un equipamiento cultural, situada justo encima de un transformador de la planta baja del edificio se midió un valor máximo de 75 μ T. El valor máximo obtenido en viviendas es 20 μ T, medido al lado de una pared a lo lado de la cual se ubicaba un transformador.

RECEPTOR	n	Min	Max	P10	P50	P90	P95
Viviendas (interior)	227	0,005	20	0,02	0,20	1,25	2,26
Viviendas (azoteas)	14	0,039	27	0,06	0,14	2,49	11,4
Escuelas	32	0,010	1,2	0,01	0,03	0,40	0,66
Vía pública	422	0,005	100	0,02	0,29	2,50	4,50
Equipamientos	73	0,030	75	0,07	0,60	4,68	31,0
TOTAL	768	0,005	100	0,02	0,25	2,10	4,41

Tabla 15. Estaciones transformadoras. Valores obtenidos en las mediciones de campo magnético, en μ T.

Respecto a los valores de campo eléctrico medidos en las cercanías de transformadores, los valores de P50 oscilan entre 0,6 V/m en la vía pública y 4,6 V/m, obtenidos en el interior de las viviendas. En todos los casos el 90% de los valores de campo eléctrico son inferiores a 19,1 V/m. El máximo valor medido (400 V/m) se obtuvo en la vía pública.

RECEPTOR	n	Min	Max	P10	P50	P90	P95
Viviendas (interior)	119	0,100	105	0,90	4,60	16,9	35,0
Viviendas (azoteas)	7	0,200	2,4	0,50	2,12	2,3	2,3
Escuelas	14	0,200	13,7	0,50	1,45	8,8	11,9
Vía pública	299	0,050	400	0,15	0,6	19,1	62,1
Equipamientos	28	0,100	24	0,50	1,4	9,4	14,3
TOTAL	467	0,050	400	0,29	1,1	16,9	37,8

Tabla 16. Estaciones transformadoras. Valores obtenidos en las mediciones de campo eléctrico, en V/m.

3.2.4. CEM de otras líneas eléctricas

En comparación con los demás emisores estudiados, en el caso de mediciones efectuadas al entorno de otras líneas eléctricas, las que se hicieron en la vía pública tienen una proporción menor (48 % del total), mientras que la proporción de mediciones en equipamientos es claramente mayor (40%). Las mediciones efectuadas en escuelas y viviendas representan el 8% y el 4% respectivamente.

Los valores de campo magnético obtenidos en los equipamientos, las viviendas y la vía pública son parecidos (P50 = 0,10 μ T, 0,11 μ T y 0,13 μ T respectivamente), mientras que el valor obtenido en las escuelas es inferior (P50 = 0,017 μ T). En los equipamientos es donde se midieron valores mayores (P90 = 2,55 μ T) y en la vía pública y escuelas el 90 % de los valores obtenidos están por debajo de 1,33 μ T y 0,07 μ T respectivamente.

RECEPTOR	n	Min	Max	P10	P50	P90	P95
Viviendas (interior)	17	0,003	0,320	0,007	0,110	0,256	0,288
Viviendas (azoteas)	0	-	-	-	-	-	-
Escuelas	37	0,008	0,900	0,010	0,017	0,070	0,144
Vía pública	214	0,004	5,800	0,014	0,130	1,329	1,844
Equipamientos	151	0,007	10,300	0,019	0,100	2,550	4,955
TOTAL	419	0,003	10,300	0,010	0,100	1,404	2,954

Tabla 17. Otras líneas eléctricas. Valores obtenidos en las mediciones de campo magnético, en μ T.

Por lo que se refiere a los valores de campo eléctrico medidos, los valores de P50 obtenidos son 0,8 V/m, 1,20 V/m y 4,8 V/m en escuelas, equipamientos y viviendas respectivamente; mientras que en la vía pública este valor es algo mayor (P50 = 12 V/m). El 90% de los valores de campo eléctrico medios 2,7 V/m en las escuelas, a 6,98 V/m en los equipamientos y a 20,1 V/m en viviendas. En la vía pública el 90 % de los valores se sitúa por debajo de 475 V/m y es donde se obtuvo el valor mayor (1.500 V/m).

RECEPTOR	n	Min	Max	P10	P50	P90	P95
Viviendas (interior)	8	1,00	20,40	1,60	4,80	20,10	20,25
Viviendas (azoteas)	0	-	-	-	-	-	-
Escuelas	36	0,10	23,00	0,10	0,80	2,70	6,52
Vía pública	160	0,10	1.500	0,60	12,00	476	796
Equipamientos	147	0,10	60,40	0,10	1,20	6,98	10,28
TOTAL	351	0,10	1.500	0,50	2,00	85,60	358

Tabla 18. Otras líneas eléctricas. Valores obtenidos en las mediciones de campo eléctrico, en V/m.

4. CONCLUSIONES

En España, el Real Decreto 1066/2001 establece los niveles de referencia para todos los campos electromagnéticos de 0 a 300 GHz. Estos niveles son los mismos que los expuestos en la Recomendación del Consejo 1999/519/CE, que a su vez reproduce los valores propuestos en 1998 por la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No-Ionizantes (ICNIRP), organismo avalado por la Organización Mundial de la Salud.

Desde el año 1997 hasta octubre de 2016 la Diputación de Barcelona ha realizado 1.901 medidas de campos magnéticos y 1.412 medidas de campos eléctricos alrededor de líneas eléctricas (alta tensión, transformadores, etc.) Y desde el año 2002, 657 mediciones alrededor de antenas de telefonía móvil. En total se han realizado 291 informes para 98 municipios distintos.

Todas las mediciones se han realizado a petición de los municipios afectados, y por tanto no se trata de una muestra homogénea dentro del territorio, sino sesgada hacia los puntos más problemáticos, principalmente en la vía pública y en el interior de viviendas.

El 95% de los valores de campo eléctrico medidos alrededor de antenas de telefonía móvil, entre las frecuencias de 100 kHz y 3 GHz, se encuentran por debajo de 2,7 V/m, muy por debajo del nivel de referencia establecido en el Real Decreto 1066/2001 (entre 28 y 61 V/m en función de la frecuencia). Ninguno de los valores medidos supera estos niveles de referencia. El valor medido más elevado ha sido de 26 V/m en una azotea, con 3 antenas muy próximas, y 3,5 V/m el más elevado dentro de una vivienda.

Solo 5 medidas de campo eléctrico, todas ellas realizadas en la vía pública, han superado el nivel de referencia establecido para líneas eléctricas, 5.000 V/m. Estas 5 mediciones se realizaron durante los años 2014 y 2015 en 2 calles muy próximas a una línea de alta tensión (LAT), y se observó que los niveles disminuían notablemente al alejarse unos pocos metros del punto más crítico. El valor más elevado medido ha sido de 16.500 V/m.

Dentro de las viviendas próximas a una LAT, el valor de campo eléctrico más elevado medido ha sido de 600 V/m, y el 95% de las medidas realizadas se encuentran por debajo de los 23 V/m.

Ninguna medida del campo magnético ha superado el nivel de referencia establecido en el RD 1066/2001 para las líneas eléctricas, 100 μ T. Dentro de las viviendas los valores de campo magnético más elevados se han encontrado en las estancias situadas al lado de estaciones transformadoras de distribución, aunque los niveles disminuyen rápidamente al alejarse de la pared contigua al transformador.

El 95% de los 636 valores de campo magnético medidos alrededor de una LAT están por debajo de 4,0 μ T. El valor medido más elevado ha sido de 18 μ T en la vía pública, y el más elevado dentro de una vivienda ha sido de 2,5 μ T. El 50% de las 35 medidas realizadas dentro de las viviendas por proximidad a una LAT se encuentran por debajo de 0,13 μ T y el 95% por debajo de 1,2 μ T.

El 95% de los 768 valores de campo magnético medidos alrededor de estaciones transformadoras están por debajo de 4,5 μ T. El valor medido más elevado ha sido de 100 μ T dentro de una estación transformadora, y el más elevado dentro de una vivienda ha

sido de 20 μ T. El 50% de las 227 medidas realizadas dentro de las viviendas por proximidad a transformadores se encuentran por debajo de 0,20 μ T, y el 95% por debajo de 2,3 μ T.

De acuerdo con las medidas realizadas, ninguna vivienda alcanza más del 20% de los niveles de referencia, tanto para la frecuencia de líneas eléctricas como para las frecuencias de telefonía móvil, recomendados por la OMS y establecidos en el RD 1066/2001.