

INFORME TÉCNICO

Estudio piloto sobre la exposición ambiental a Campos Magnéticos de Frecuencias Extremadamente Bajas (CM-FEB)

FASE I

Albacete, Cáceres y Madrid

Enero, 2024

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE SANIDAD

Grupo de Trabajo

Ministerio de Sanidad. Dirección General de Salud Pública y Equidad en Salud. Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral

Covadonga Caballo Diéguez
Francisco Vargas Marcos
Margarita Palau Miguel
Marian Mendoza García
Héctor Prados Cabrera

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. Subdirección General de Evaluación Ambiental

Eva Mª Blanco Benavente
Ana Delgado Echevarría

Instituto de Salud Carlos III. Centro Nacional de Sanidad Ambiental

Ana Isabel Cañas Portilla
Elena Veiga Ochoa
Aránzazu Sanchis Otero
Ricardo Bajo Bretón

Instituto de Salud Carlos III. Centro Nacional de Epidemiología

Rebeca Ramis Prieto

Instituto de Magnetismo Aplicado - Universidad Complutense de Madrid – ADIF

Mª Pilar Marín Palacios
Ricardo Bajo Bretón
Fernando Giacomone

Universidad de Castilla –La Mancha

Enrique Arribas Garde
Raquel Ramírez Vázquez

Universidad de Extremadura

Jesús Manuel Paniagua Sánchez

REDEIA

Fernando Crespo Carretero
Rodrigo San Millán Cruz
Enrique López Fernández

CONTENIDO

RESUMEN 6

1. INTRODUCCIÓN 7

2. METODOLOGÍA 22

2.1. EQUIPOS DE MEDIDA Y ENSAYO DE INTERCOMPARACIÓN 22

2.2. LOCALIZACIÓN DE LOS EMPLAZAMIENTOS DE MEDIDA 25

2.3. PROTOCOLO DE MEDIDA 30

3. RESULTADOS 33

3.1. ESPACIOS PÚBLICOS (A) 35

I. Resultados totales 35

II. Desglose de resultados 36

A.1 Núcleos urbanos y zonas residenciales unifamiliares 36

A.2 Parques y jardines 37

A.3 Inmediaciones de edificios públicos 38

A.4 Interior edificios públicos 38

A.5 Estaciones de transporte público 39

A.6 Interior de transporte público (Metro de Madrid) 39

3.2. FUENTES DE EMISIÓN DE CAMPOS MAGNÉTICOS FEB (B) 40

I. Resultados totales 40

II. Desglose de resultados 41

B.1 Subestaciones eléctricas (perímetro) 41

B.2 Líneas de alta tensión de 220 kV 41

B.3 Líneas de alta tensión de 400 kV 41

B.4 Líneas de alta tensión soterradas 42

B.5 Centros de transformación 42

B.6 Acometidas eléctricas de edificios 43

B.7 Instalaciones de paneles solares fotovoltaicos 43

B.8 Puntos de recarga de vehículos eléctricos 44

4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS 45

4.1. ESTUDIO DEL CAMPO MAGNÉTICO EN TORNO A LAT 45

4.2. ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS 49

5. CONCLUSIONES 55

6. FUTUROS TRABAJOS 58

7. REFERENCIAS 59

8. ANEXOS 62

Índice de tablas

Tabla 1. Límites vigentes y valores objetivo aplicados. 14

Tabla 2. Resultados del campo magnético B (μT) medidos con cada equipo en las distintas condiciones: fondo de laboratorio (1); inyección de corriente en bobinas I = 0,10 A (2); I = 0,15 A (3); I = 0,2 A (4); I =1,0 A (5); y en exterior (6), junto al cuadro eléctrico de una estación base de telefonía móvil. 24

Tabla 3. Resultados y criterios z-score para las medidas: fondo de laboratorio (1); inyección de corriente en bobinas I = 0,10 A (2); I = 0,15 A (3); I = 0,2 A (4); I =1,0 A (5); y en exterior (6), junto al cuadro eléctrico de una estación base de telefonía móvil. 24

Tabla 4. Clasificación y localización de los entornos medidos en Albacete. 27

Tabla 5. Clasificación y localización de los entornos medidos en Cáceres. 28

Tabla 6. Clasificación y localización de los entornos medidos en Madrid. 29

Tabla 7. Parámetros de configuración equipos SPM2 de WAVECONTROL. 30

Tabla 8. Valores CM-FEB medidas realizadas en espacios públicos, en un total de 39 emplazamientos distintos (Cáceres, Albacete y Comunidad de Madrid). 35

Tabla 9. Valores de CM-FEB a partir de los datos obtenidos en núcleos urbanos y zonas residenciales en base a las medidas realizadas en 10 emplazamientos distintos. 36

Tabla 10. Valores de CM-FEB obtenidos para núcleos urbanos(izqda.) y zonas residenciales(drcha.) a partir de las medidas realizadas en 6 y 3 emplazamientos distintos, respectivamente. 36

Tabla 11. Valores de CM-FEB obtenidos a partir de las medidas en parques y jardines, realizadas en 2 emplazamientos distintos. 37

Tabla 12. Valores de CM-FEB obtenidos en las inmediaciones de edificios públicos a partir de las medidas realizadas en 17 emplazamientos distintos. 38

Tabla 13. Valores de CM-FEB obtenidos en interiores de edificios públicos, a partir de las medidas realizadas en 5 emplazamientos distintos. 38

Tabla 14. Valores de CM-FEB obtenidos en las inmediaciones de estaciones de transporte, a partir de las medidas realizadas en 5 emplazamientos distintos. 39

Tabla 15. Valores de CM-FEB obtenidos durante el empleo del metro de Madrid, en tres desplazamientos distintos. 39

Tabla 16. Valores obtenidos a partir de las medidas realizadas en 46 emplazamientos distintos, en las inmediaciones de focos de emisión de campos magnéticos de FEB (Cáceres, Albacete y Comunidad de Madrid). 40

Tabla 17. Valores de CM-FEB obtenidos a partir de las medidas en las inmediaciones de 13 subestaciones eléctricas distintas. 41

Tabla 18. Valores de CM-FEB obtenidos a partir de las medidas de caracterización de 5 LAT de 220 kV. 41

Tabla 19. Valores de CM-FEB obtenidos a partir de las medidas de caracterización de 6 LAT de 400 kV. 41

Tabla 20. Valores de CM-FEB obtenidos a partir de las medidas de caracterización de 1 LAT subterránea. 42

Tabla 21. Valores de CM-FEB obtenidos en las inmediaciones de 11 centros de transformación. 42

Tabla 22. Valores de CM-FEB obtenidos a partir de las medidas en las inmediaciones de 5 acometidas eléctricas. 43

Tabla 23. Valores de CM-FEB obtenidos a partir de las medidas en las inmediaciones de 3 instalaciones de paneles solares. 43

Tabla 24. Valores de CM-FEB obtenidos a partir de las medidas en las inmediaciones de 2 instalaciones para recarga de vehículos eléctricos. 44

Tabla 25. Percentiles obtenidos en los espacios públicos y en las fuentes de emisión. 50

Índice de figuras

Figura 1. Implantación de la Recomendación 1999/519/CE sobre CEM en los países europeos. 13

Figura 2. Fuente de alimentación Kepco BOP 2050 MG (izqda.) y bobinas de Helmholtz (drcha.) empleadas en la intercomparación de los medidores de campo electromagnético en el laboratorio del Instituto de Magnetismo Aplicado de la UCM. 22

Figura 3. Equipo SMP2 (izqda.) y NF–5035 (drcha.) midiendo junto al cuadro eléctrico de una estación base de telefonía móvil, situada frente al Instituto de Magnetismo Aplicado de la UCM. 23

Figura 4. Mapas facilitados por Red Eléctrica para localización de infraestructura eléctrica en cada una de las provincias implicadas en el estudio piloto: Albacete, Cáceres y Madrid. 26

Figura 5. Identificación de los valores medios obtenidos del total de registros de campo magnético FEB ambiental tanto en espacios públicos como en inmediaciones de focos de emisión (Cáceres, Albacete y Comunidad de Madrid). 33

Figura 6. Histograma de los niveles medios ambientales de campo magnético FEB identificados en el estudio, tanto en espacios públicos (azul) como en inmediaciones de focos de emisión (naranja), a partir de los datos de Cáceres, Albacete y Madrid. 34

Figura 7. Histograma de valores medios de campo magnético en espacios públicos (Cáceres, Albacete y Comunidad de Madrid). 35

Figura 8. Histograma de los valores medios de campo magnético registrados en los 46 emplazamientos en torno a focos de emisión de campos magnéticos de FEB (Cáceres, Albacete y Comunidad de Madrid). 40

Figura 9. Representación del perfil transversal del campo magnético con la distancia al eje de la línea, resultante de los valores promedios registrados en LAT de 220 kV en este estudio piloto (puntos), y los valores obtenidos mediante extrapolación (línea). 45

Figura 10. Representación del perfil transversal del campo magnético con la distancia al eje de la línea, resultante de los valores promedios registrados en LAT de 400 kV en este estudio piloto (puntos), y los valores obtenidos mediante extrapolación (línea). 46

Figura 11. Comparativa del perfil transversal del CM-FEB obtenido en proximidad a LAT de 225 kV y 220 kV en Francia y España, respectivamente, junto con la resultante de la extrapolación en cada caso. 47

Figura 12. Comparativa del perfil transversal del CM-FEB obtenido en proximidad a LAT de 400 kV en Francia y España, junto con la resultante de la extrapolación en cada caso. 48

Figura 13. Valores medios de CEM registrados en LAT y espacios públicos. 53

RESUMEN

Este informe muestra los resultados de un estudio piloto para la evaluación ambiental de los niveles de campo magnético de frecuencias extremadamente bajas (CM-FEB) en España, habiéndose registrado dichos niveles en la ciudad de Albacete y en distintos enclaves en las provincias de Cáceres y Madrid.

Con objeto de identificar los niveles típicos ambientales de CM-FEB en los diversos entornos poblacionales, así como en proximidad a diversas infraestructuras eléctricas, en primer lugar, se ha establecido un protocolo de medida de campos magnéticos de frecuencia industrial (50 Hz) teniendo en cuenta la normativa nacional e internacional de referencia. En segundo lugar, de acuerdo al protocolo, se han realizado las mediciones y analizado, por un lado, los niveles de inmisión en espacios públicos exteriores e interiores, con especial atención a lugares sensibles -escuelas infantiles, colegios, residencias de ancianos, centros de salud, entre otros-; y por otro, los niveles de emisión en lugares próximos a diversos focos generadores de CM-FEB, principalmente infraestructura relacionada con el transporte y la distribución de la energía eléctrica y con los medios de transporte electrificados.



A partir de los datos recogidos, el nivel medio de CM-FEB ambiental de inmisión en espacios públicos resulta 0,095 μT, mientras que en las inmediaciones de fuentes de emisión CM-FEB, el nivel medio de campo magnético ambiental es de 1,303 μT, representando cerca de un 0,05 % y un 0,65 %, respectivamente, del valor límite de 200 μT recomendado por la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP).

Este informe técnico presenta además diversos análisis estadísticos y un análisis comparativo con un reciente estudio francés sobre la exposición poblacional a niveles CM-FEB de emisión, lo que permite una mejor compresión de los datos y un mayor conocimiento del escenario de exposición ambiental a los campos magnéticos en nuestro país.

1. INTRODUCCIÓN

Efectos sobre la salud de los campos magnéticos de frecuencias extremadamente bajas (CM-FEB). **Leucemia infantil**.

La exposición a los campos magnéticos (CM) en el espectro de frecuencias extremadamente bajas (FEB) ha generado una cierta preocupación por su hipotética relación con diversos impactos sobre la salud humana. El principal motivo de esta preocupación deriva de la asociación observada en algunos estudios epidemiológicos entre la leucemia linfoblástica aguda (LLA) y la exposición media residencial durante la infancia a niveles de CM de 50 Hz (60 Hz) -las frecuencias de transmisión de la corriente alterna- superiores a 0,3 - 0,4 μT. En base a análisis conjuntos de los estudios epidemiológicos del momento, en 2002 la Agencia Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) clasificó los CM de frecuencia extremadamente baja en el Grupo 2B de ***agentes posiblemente cancerígenos para humanos***, categoría en la que se incluyen más de 300 sustancias hasta la fecha. Esta calificación se aplica cuando algunos estudios epidemiológicos –que analizan la distribución de las enfermedades y sus posibles causas mediante métodos estadísticos– han observado entre un agente y el cáncer una cierta asociación, de la que sin embargo no puede descartarse como causa el azar, diversos sesgos o factores de confusión, y sobre la que además no hay confirmación por estudios experimentales de laboratorio. Entre las numerosas sustancias y circunstancias de exposición catalogadas como agentes posiblemente cancerígenos se encuentran también las verduras escabechadas, el aspartamo (edulcorante), el humo de la combustión de la gasolina, y trabajar en tintorerías, carpinterías o en la industria textil.

Cabe mencionar que, para valorar correctamente esta clasificación de los CM-FEB, a diferencia de los agentes del Grupo 2B, la IARC establece otras dos categorías para las que existe mayor evidencia científica sobre su acción cancerígena: el Grupo 1, de ***agentes cancerígenos para humanos***, sobre los que hay pruebas suficientemente sólidas de su carcinogenicidad; y el Grupo 2A, de ***agentes probablemente cancerígenos para humano***s, sobre los que hay evidencia suficiente de su carcinogenicidad, aunque todavía no es concluyente. Dentro de los más de cien agentes del

Entre las numerosas sustancias y circunstancias de exposición catalogadas como agentes posiblemente cancerígenos se encuentran también las verduras escabechadas, el aspartamo (edulcorante), el humo de la combustión de la gasolina, y trabajar en tintorerías, carpinterías o en la industria textil

1. INTRODUCCIÓN



Grupo 1 se encuentra el consumo de bebidas alcohólicas, tabaco o carnes procesadas, mientras que dentro del Grupo 2A, próximo al centenar de agentes, están clasificadas la carne roja, las bebidas muy calientes (más de 65ºC), o la acrilamida y el benzopireno que se producen durante ciertos procesados de algunos alimentos a temperaturas muy altas (frituras, asados, grill, ...). Y en el extremo opuesto, en el Grupo 3, se encuentran 500 ***agentes no clasificables como cancerígenos para humanos***.

Años más tarde a la clasificación de la IARC, en 2007, la Organización Mundial de la Salud (OMS) concluía que no había efectos sustanciales para la salud relacionados con los campos eléctricos y magnéticos de frecuencias extremadamente bajas (1 – 100 kHz) a los niveles a los que el público en general está expuesto habitualmente [1]. Posteriormente, según una revisión sistemática, encargada por la Comisión Europea al Comité Científico para la Identificación de Riesgos para la Salud Nuevos y Emergentes (SCENIHR), y cuyos resultados aparecieron en 2015, de manera global los estudios científicos publicados seguían sin aportar evidencia convincente ni de una relación causal entre exposición a CM de FEB y síntomas auto reportados por las personas declaradas como hipersensibles, ni de que este tipo de exposición incremente el riesgo de enfermedades neurodegenerativas, incluida la demencia, ni de que afectara a la función reproductiva de los humanos. De hecho, a pesar de la continua investigación, hasta el momento, no se han establecido los mecanismos biológicos o biofísicos que podrían inducir alteraciones tumorales y, por tanto, fundamentar una conexión entre la exposición a CM-FEB y la leucemia infantil. Sin embargo, hay numerosa evidencia científica que señala otros factores asociados a la inducción y desarrollo de leucemia (linfocítica y mieloide), entre los que figuran agentes como las radiaciones ionizantes, los plaguicidas, las sustancias químicas y la contaminación ambiental por tráfico y por la actividad industrial, además de las mutaciones genéticas que han demostrado desempeñar un papel relevante en la etiología de la enfermedad. En este sentido, recientemente se ha desarrollado un

Años más tarde a la clasificación de la IARC, en 2007, la Organización Mundial de la Salud (OMS) concluía que no había efectos sustanciales para la salud relacionados con los campos eléctricos y magnéticos de frecuencias extremadamente bajas (1 – 100 kHz) a los niveles a los que el público en general está expuesto habitualmente

1. INTRODUCCIÓN

modelo de ratón transgénico, portador de una de las predisposiciones genéticas comúnmente encontrada en la población infantil que desarrolla leucemia, y que podría permitir esclarecer la existencia o no de dicha vinculación [3]. A pesar de que, hasta hace unos años, la carencia de estudios de laboratorio bien diseñados ha dificultado poder respaldar una relación causal, tal y como han señalado autoridades competentes en la materia [1, 2, 4, 5], ahora estas mismas recomiendan el empleo del modelo transgénico para investigar el posible papel de este agente ambiental en la etiología de la leucemia [6].



Otra muestra del esfuerzo realizado a nivel internacional en este ámbito es la revisión publicada en 2019 por la agencia francesa ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) sobre las evidencias científicas disponibles hasta 2015, en la que incluye una serie de recomendaciones sobre evaluación del riesgo, investigación y exposición a CM-FEB [7]. Los resultados de la revisión sobre los posibles efectos en la salud por exposición a dichos campos, en relación con enfermedades neurodegenerativas y otros diversos tipos de cáncer en niños y en adultos, indican que los datos existentes no permitían concluir la existencia o no de una posible asociación, en línea con las conclusiones previamente publicadas por SCENIHR. Resaltar, además, tal y como recoge el informe ANSES, que si bien a partir de los estudios epidemiológicos hasta 2010 se podía establecer cierta asociación entre la aparición de la leucemia infantil y la exposición a CM-FEB, en estudios posteriores dicha asociación es menos frecuente.

En este sentido, en 2022, un análisis combinado de datos individuales de 24.994 casos y 30.769 controles, obtenidos de cuatro estudios recientes sobre CM de FEB y leucemias infantiles concluyó que, a diferencia de estudios previos, no hay un aumento del riesgo de leucemia en la infancia a niveles de exposición superiores a 0,4 μT comparados con niveles inferiores a 0,1 μT [8]. **Estos resultados apuntan a una disminución en el efecto o la falta de asociación entre los CM y la leucemia infantil, lo que podría deberse, tal y como apuntan los autores, a cuestiones metodológicas, al azar o a un verdadero hallazgo de desaparición de la asociación**.

Normativa y límites de exposición a campos magnéticos de frecuencias extremadamente bajas (CM-FEB) para la protección de la población. **Situación actual en Europa**.

Para prevenir los posibles efectos a corto plazo de estimulación de los tejidos nervioso y muscular, que son los únicos demostrados mediante evidencia científica, varias agencias internacionales han elaborado directrices de exposición. Actualmente las guías internacionales más extendidas son las promulgadas por ICNIRP (Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante), organismo vinculado a la OMS.

De este modo, la Unión Europea, siguiendo el consejo del Comité Científico director, se basó en las directrices de ICNIRP de 1998 [9] para elaborar la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la UE (RCMSUE), relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz), 1999/519/CE, y publicada en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas en julio de 1999 [10]. Respecto a los campos magnéticos de FEB, su objetivo es únicamente prevenir los efectos agudos (a corto plazo) producidos por la inducción de corrientes eléctricas en el interior del organismo, puesto que no existe evidencia científica de que los campos magnéticos estén relacionados con enfermedad alguna. Tras establecer diversos factores de seguridad, el Consejo de la Unión Europea recomienda como restricción básica para el público limitar la densidad de corriente eléctrica inducida en cabeza y tronco a 2 mA/m^2, y calcula de forma teórica unos niveles de referencia para los campos eléctrico y magnético de 50 Hz: 5 kV/m para el campo eléctrico y 100 μT para el campo magnético. Si el nivel de campo medido no supera este nivel de referencia se cumple la restricción básica y, por lo tanto, la Recomendación; sin embargo, si se supera el nivel de referencia entonces se debe evaluar si se supera la restricción básica.



Tras establecer diversos factores de seguridad, el Consejo de la Unión Europea recomienda unos niveles de referencia para los campos eléctrico y magnético de 50 Hz: 5 kV/m para el campo eléctrico y 100 μT para el campo magnético

1. INTRODUCCIÓN



Según establece la RCMSUE, los límites deberían revisarse a la luz de los nuevos conocimientos, de las novedades de la tecnología y de las aplicaciones de las fuentes y prácticas que dan lugar a exposición a campos electromagnéticos. De este modo, tras la nueva evaluación de la literatura científica, ICNIRP actualizó sus directrices de 1998 estableciendo en 2010 el nuevo límite en 200 μT [11], como nivel de referencia para garantizar la protección del público por exposición aguda al campo magnético de 50 Hz. Respecto a los posibles efectos a largo plazo de la exposición crónica a bajos niveles de CM-FEB, sigue siendo necesario investigar, pero la inconsistencia de las evidencias de una relación entre estos CM y los posibles efectos nocivos pone en duda los beneficios que podrían derivarse de una reducción de los niveles que limitan la exposición.

Actualmente, a nivel europeo, hay diversificación sobre las medidas implantadas a partir de la Recomendación 1999/519/CE, existiendo límites legales, valores objetivo y aplicación del principio de precaución, entre otros. En algunos casos los niveles de referencia son jurídicamente vinculantes, mientras que en otros son recomendaciones o tienen un carácter voluntario, tanto para los promotores de infraestructuras como para los gestores de la ordenación territorial. A excepción de unos pocos países, en los que únicamente hay un límite legal vinculado a los efectos agudos a corto plazo, los únicos respaldados por la evidencia científica, en otros se están aplicando restricciones y medidas adicionales para prevenir posibles efectos a largo plazo, aunque carezcan de evidencia científica que los soporte. Los países que recomiendan medidas adicionales suelen utilizar justificaciones del tipo: “cuando sea posible”, “si económicamente es asumible”, “aquella alternativa que pueda cumplir con”, “se limite la exposición en hospitales, colegios e incluso viviendas a 0,4 μT” y otras similares.

Estas medidas de precaución provocan importantes problemas en la gestión y comunicación del riesgo, tal y como advirtió la OMS en 2002, en su documento titulado *Estableciendo un diálogo sobre los riesgos de los campos electromagnéticos* [12]. En lugar de generar confianza o sensación de mayor seguridad en la población, consiguen el efecto contrario. Imponer un límite muy inferior al recomendado, que sólo ha de cumplirse “si se puede”, implica que en el hipotético caso de que se demostrara científicamente que dicho nivel es crítico, generaría una desprotección a la población en aquellos lugares en que no pudiera cumplirse. A modo de ejemplo se analiza la

situación de Dinamarca. En 2005 las autoridades sanitarias publicaron una circular no vinculante que recomendaba no superar el valor objetivo de 0,4 μT, teniendo en cuenta la carga media anual. Considerando que las líneas eléctricas, en general, llevan un porcentaje bajo de su máxima carga admisible, un valor medio anual de 0,4 μT podía parecer algo difícilmente superable. Sin embargo, las autoridades locales lo asumieron como un valor límite formal, con la categoría de legislación, y de carácter absoluto, no pudiendo ser superado en ningún momento (en lugar de una media anual). Como resultado, a partir de 2005, todos los planes de ordenación territorial y gestión urbanística buscan garantizar que las áreas sensibles (escuelas, hospitales, viviendas) se sitúen fuera de la zona donde hay una exposición superior a 0,4 μT, e incluso algunos planes anteriores han tratado de adaptarse. Esto genera enormes dificultades en la gestión territorial cuando estos edificios, por su propio consumo eléctrico, cuentan en su interior con valores superiores a 0,4 μT.

Otros países, como Alemania o Francia, tienen un marco jurídico claro y detallado con límites basados únicamente en los efectos a corto plazo -los reconocidos por la comunidad científica internacional como probados y recogidos en la Recomendación 1999/519/CE-, siendo el valor límite para público en general 100 μT. Además, está respaldado por una posición firme de la autoridad competente. En Alemania, el marco legal también solicita que se lleven a cabo todas las medidas oportunas, documentadas en los procesos de tramitación, para reducir los valores generados en las nuevas infraestructuras, mientras que en Francia existe una recomendación ministerial para minimizar la creación de nuevos “espacios sensibles” en zonas de campo magnético. En Reino Unido, sin un marco legislativo y con un límite de hasta 360 μT, aconsejado por las autoridades para los espacios en los que la población pasa más tiempo, también apoyan medidas de bajo coste para minimizar los campos generados por las nuevas líneas y las ya existentes, como la traslocación de fases de los circuitos. Estas medidas de reducción, habituales en el diseño de los proyectos de líneas eléctricas, también se aplican en España para minimizar los valores generados de CM-FEB.



1. INTRODUCCIÓN

En la Figura 1, extraída del informe realizado por el Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente de Países Bajos [13], se reflejan los países que han traspuesto a legislación nacional la Recomendación Europea (grupo 1), los que aplican la Recomendación, pero no es legislación nacional, como es el caso de España (grupo 2) y, por último, aquellos que han establecido límites más estrictos debido, fundamentalmente, a la presión de la sociedad o principios de precaución establecidos.

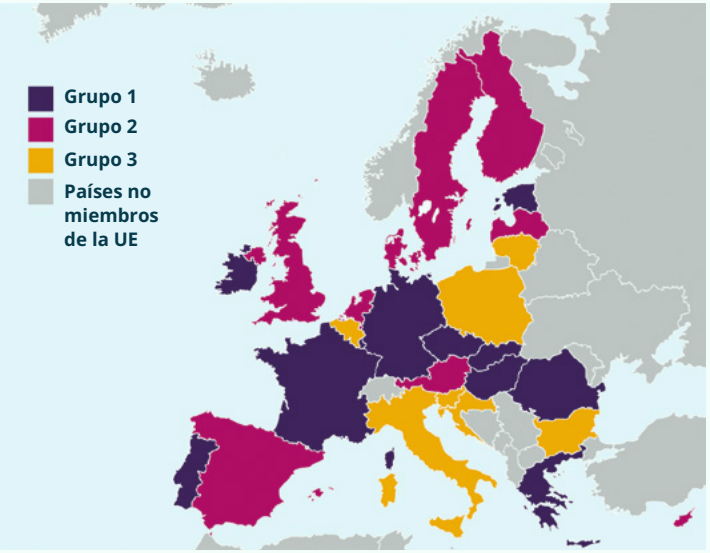
Países como Alemania o Francia, tienen un marco jurídico claro y detallado con límites basados únicamente en los efectos a corto plazo -los reconocidos por la comunidad científica internacional como probados y recogidos en la Recomendación 1999/519/CE-, siendo el valor límite para público en general 100 μT

Figura 1. Implantación de la Recomendación 1999/519/CE sobre CEM en los países europeos.

Grupo 1: legislación nacional derivada de la Recomendación EU en 11 países, algunos de los cuales aplican políticas de precaución.

Grupo 2: sin legislación nacional o con niveles menos restrictivos que los de la Recomendación EU en diez países, en algunos de los cuales aplican políticas de precaución.

Grupo 3: límites más estrictos que los de la Recomendación EU en 7 países.



En la siguiente tabla se detallan los límites legales vigentes y los valores objetivo aplicados, en caso de existir, en algunos de los países de la UE, así como otra información relevante.

1. INTRODUCCIÓN

Tabla 1. Límites vigentes y valores objetivo aplicados.

País	Límite / nivel objetivo		Otros requisitos
GER	100 µT, carga nominal	Valorar el potencial de reducción	Nuevas líneas de 220 y 400 kV no pueden sobrevolar edificios
UK	360 µT, carga nominal	Optimizar el traslocado de fases tanto para las líneas aéreas existentes como nuevas	
DK	No hay un límite legal pero se emplea el término "no demasiado cerca" tanto para la implantación de líneas como de edificios	Análisis caso a caso, mediante un plan de 5 pasos (0.4 µT de media anual)	El promotor ofrece comprar aquellas casas a 80 m o menos de las nuevas líneas aéreas de 400 kV (por motivos de ruido, impacto visual pero no por CM)
SE	0,4 µT	Las líneas nuevas han de asegurar no sobrepasar 0,4 µT en viviendas, casas vacacionales y granjas. Variantes de Líneas existentes (decisiones judiciales)	
AUS	200 µT	Voluntario para el promotor de las líneas nuevas en 1 µT y en las existentes 10 µT	
SLO	Nuevas Fuentes de CM en áreas protegidas: 10 µT y 500 V/m, sustituyendo las anteriores 15 µT y 1,8 kV/m. En el resto de áreas 100 µT and 10 kV/m	Calculada por carga nominal (en función de la tensión)	La servidumbre para nuevas líneas aéreas de 400 y 220 kV tiene una anchura de 80 m y para las de 110, 30 m. Obligación de supervisarlo
IT	Límite de 10 µT para las infraestructuras existentes y 3 µT para las nuevas (calculado para cargas medias en 24 h)	Aplica para edificios (donde las personas estén > 4h)	
BE	Valor objetivo de 0.4 µT, con límites de 10 o 20 µT (carga media anual), según sea zona Flamenca o Valona	Aplica a líneas nuevas, cables, subestaciones y transformadores	
FR	100 µT (carga máxima en condiciones normales de operación)		1 µT (no obligatorio) para nuevos edificios sensibles (escuelas, hospitales...) cerca de líneas eléctricas existentes
NO	200 µT (ICNIRP 2010) y 0,4 µT en edificios sensibles	Si el campo magnético medio durante un año supera el nivel objetivo de 0,4 µT en hogares, guarderías y escuelas, se debe evaluar el caso	Se recomiendan medidas de reducción si se pueden lograr a bajo coste y son sencillas
SW (no EU)	1 µT	Zonas interiores de viviendas	

1. INTRODUCCIÓN

Cabe destacar lo que está ocurriendo en Suecia, donde se ha legislado que las nuevas líneas no pueden generar niveles superiores a 0,4 µT en viviendas, casas vacacionales y granjas del entorno de su implantación. Esta legislación para líneas nuevas ha supuesto que ciudadanos con líneas existentes cercanas a sus viviendas hayan denunciado esta situación en diferentes juzgados, alegando que, si esta decisión se aplica por motivos de protección a la ciudadanía, no cabe hacerlo en función de una fecha de puesta en servicio de la instalación. Hasta ahora son varios los demandantes a los que los tribunales han dado la razón, generando un gran problema a nivel nacional ya que muchos de estos trazados existentes no pueden modificarse en el entorno de viviendas en zonas pobladas, dado que implicaría aproximar ese trazado a otras viviendas existentes. Esto es un claro ejemplo de medida contraproducente basada en un malentendido principio de precaución, que acaba generando una gran alarma social en torno a las líneas AT existentes cerca de viviendas. Por eso, conviene recordar la recomendación de la OMS de no establecer límites de exposición arbitrarios y carentes del respaldo de agencias y comités competentes en la evaluación del riesgo de los CEM. De ahí la relevancia que tienen la aprobación de un marco jurídico objetivo y un posicionamiento claro y firme de las autoridades competentes como vías para solventar la controversia social generada alrededor de los CM-FEB.

Conviene recordar la recomendación de la OMS de no establecer límites de exposición arbitrarios y carentes del respaldo de agencias y comités competentes en la evaluación del riesgo de los CEM



Niveles ambientales de exposición de la población a CM-FEB.

Otro de los medios para mitigar la percepción social del riesgo en la población es informar sobre los niveles ambientales de CM-FEB, tal y como han aconsejado desde varios organismos y agencias internacionales. Así, se tiene constancia de que la exposición media habitual en la mayoría de los hogares de los países desarrollados está próxima a los 0,1 μT, siendo alrededor de 0,07 μT en Europa y 0,11 μT en América del Norte. Cuando las mediciones de las exposiciones son promediadas sobre períodos de días o superiores, muy pocas personas están expuestas a niveles por encima de 0,4 μT. Los niveles de campo en espacios públicos y urbanos varían entre 0,05 y 0,2 μT [7], mientras que debajo de las líneas de alta tensión, a nivel del suelo, no suelen superar los 20 μT [14], presentando también valores elevados en proximidad a transformadores y subestaciones eléctricas. Del mismo modo, en el interior de las viviendas pueden observarse niveles de varios centenares de μT durante el empleo de aparatos electrodomésticos cerca del cuerpo como, por ejemplo, los secadores de pelo, aunque esta exposición suele ser localizada y de corta duración. En los medios de transporte la exposición suele ser de varios μT y en el interior de los vehículos de combustión, híbridos o eléctricos, inferiores a 2 μT, según el informe de ANSES [7].



Asimismo, a partir de los datos existentes, se ha podido realizar una estimación de la exposición residencial a niveles de CM-FEB de 0,4 μT. En el Reino Unido sólo un 0,4% de los hogares tendría un nivel superior a los 0,4 μT, teniendo la gran mayoría campos magnéticos inferiores a 0,4 μT, y cerca de un 1,5% de hogares con niveles superiores a 0,2 μT [15]. En Francia, la población expuesta a CM-FEB superiores a 0,4 μT es de 0,28%, de los que alrededor del 0,35% son menores de 15 años. Mientras, el 0,74% de la población francesa está expuesta a niveles residenciales por encima de 0,1 μT [7]. En otros países europeos, los estudios demuestran que el porcentaje de niños expuestos a dicho nivel de CM-FEB es muy bajo [16]. En Bélgica, la prevalencia aproximada de niños expuestos a niveles de 0,4 μT procedentes de líneas de alta tensión y otras fuentes de CM-FEB es de 1,4-4% y

en Holanda la estimación es del 0,4%. La fracción atribuible poblacional, es decir, el número de casos de leucemia atribuibles a la exposición a CM-FEB, suponiendo que hubiera una relación causal en el 100% de los casos, sería aproximadamente de 1,38-3,85% para Bélgica y 0,4% para Holanda. Si suponemos que existe una relación causal (no demostrada) y considerando una incidencia anual de 3,8/100.000 (todas las leucemias infantiles) un 0,3-0,4% de estos casos serían atribuibles a la exposición de 0,4 μT.

Un estudio recientemente publicado, realizado en Francia [17], ha estimado la proporción de población general y menor de 5 años que está expuesta a campos magnéticos generados por líneas de alta tensión de alto y muy alto voltaje (≥63 kV). Consideraron diferentes escenarios de exposición dependiendo de la tensión de la línea y de la distancia de la vivienda a la misma, y de si la línea era aérea o subterránea. Los escenarios de exposición se obtuvieron utilizando un modelo lineal multinivel creado a partir de la base de datos publicada por la RTE (*Réseau de transport d'électricité*), el operador de la red francesa de transmisión de electricidad. Las estimaciones de este estudio apuntan a que un 0,11% (n = 67.893) de la población francesa y el 0,10% (n = 4.712) de los niños menores de cinco años residen en un área potencialmente expuesta a un campo magnético superior a 0,4 μT. Igualmente, las estimaciones sugieren que un 1,01% (n = 647.569) de la población francesa y el 1,03% (n = 46.950) de los niños menores de cinco años residen en un área potencialmente expuesta a un campo magnético superior a 0,1 μT. En conclusión, el estudio señala que la metodología propuesta puede ayudar a identificar posibles co-exposiciones cerca de líneas eléctricas de alto voltaje, al permitir estimar el número total de residentes, escuelas e instituciones de salud cerca de líneas eléctricas de alto voltaje. Esto ayudaría a esclarecer los resultados contradictorios de los estudios epidemiológicos.



Con el objetivo de disponer de información objetiva sobre los niveles de exposición de la población española que vive, transita o trabaja cerca de las instalaciones que emiten CM de FEB, se ha diseñado este estudio piloto

Situación nacional sobre los límites de exposición de la población a CM-FEB

En España no disponemos de estudios actualizados de los niveles de exposición ambientales en una muestra amplia y representativa en los ámbitos escolares, domésticos, laborales o del transporte. Los resultados de estos estudios permitirían delimitar el riesgo objetivo, facilitar la comunicación sobre los CM-FEB y reducir una percepción del riesgo distorsionada. Así, con el objetivo de disponer de información objetiva sobre los niveles de exposición de la población española que vive, transita o trabaja cerca de las instalaciones que emiten CM de FEB, se ha diseñado este estudio piloto como paso previo a un estudio más amplio que incluya a todas las Comunidades y Ciudades Autónomas que quieran replicar los resultados obtenidos.

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 [18], sólo afecta a las ondas electromagnéticas de radiofrecuencias utilizadas en las telecomunicaciones. Por lo tanto, los límites de emisión en el resto de frecuencias del espectro electromagnético, como ocurre con las líneas de alta tensión, carecen de una regulación específica. En la práctica, las compañías eléctricas tienden a aplicar los límites de la Recomendación 1999/519/CE, que adopta los criterios y límites fijados por la ICNIRP en 1998 y son reconocidos por la mayoría de los países de la Unión Europea [9], la OMS los recomienda y se aplican en nuestro país.



1. INTRODUCCIÓN

A través del 1er Programa de Actuación del Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente (PESMA) [19], se han incluido varias líneas de intervención para el periodo 2022-2023, entre las que destacan las siguientes:

1) Actualizar la legislación (RD1066/2001) a partir de las nuevas directrices de ICNIRP 2020 [20] relacionadas con las emisiones radioeléctricas, y elaborar una legislación específica sobre los niveles de exposición de la población a CM de FEB que respete las recomendaciones de la Unión Europea, la OMS e ICNIRP.

2) Realizar estudios sobre niveles de exposición a los CM de FEB y analizar la evolución de las tasas de incidencia y prevalencia de tumores el SNC y leucemias con datos desagregados por edad y sexo.

3) Elaborar una guía de evaluación del riesgo sobre CM de FEB que sea referencia para la emisión de informes en materia de salud ambiental sobre medición de niveles de exposición de la población.

4) Identificar los centros y unidades de investigación de nuestro país para contar con su experiencia y sus resultados. Las recomendaciones de prevención deben utilizar la información disponible sobre los niveles de exposición y sus efectos sobre la salud.

5) Realizar un estudio piloto de los niveles de exposición a CM-FEB como paso previo para realizar un estudio más amplio a nivel nacional sobre los niveles de exposición de la población española.

Estas cinco líneas de intervención se están aplicando de forma efectiva. La actuación número uno requiere actualizar el RD 1066/2001 y establecer una legislación específica sobre los niveles de exposición a campos magnéticos de bajas frecuencias. Esta medida debe llevarse a cabo en estrecha colaboración con las Comunidades y Ciudades Autónomas, las administraciones competentes y las partes implicadas.

La actuación número uno requiere actualizar el RD 1066/2001 y establecer una legislación específica sobre los niveles de exposición a campos magnéticos de bajas frecuencias

1. INTRODUCCIÓN

La vigilancia de las tendencias de las tasas de mortalidad de las leucemias, linfomas no Hodgkin y los tumores del Sistema Nervioso Central (SNC) es un indicador indirecto, que permite valorar si existe alguna asociación con el uso y exposición a los campos electromagnéticos (bajas frecuencias y radiofrecuencias). La clasificación de los CM FEB como cancerígenos tipo 2b por parte de la IARC fue a causa de su posible vinculación con la leucemia infantil, y no con el resto de cánceres; sin embargo, las evidencias que se han ido publicando no confirman que exista una relación causal.

La exposición a niveles de 0,3 - 0,4 μT de CM de bajas frecuencias se ha relacionado con tasas más elevadas de leucemias, principalmente en la infancia y adolescencia, y la exposición a radiofrecuencias, especialmente por el uso del teléfono móvil (radiofrecuencias), con un aumento de las tasas de incidencia de tumores del SNC. En cumplimiento de las responsabilidades sobre el control de la exposición a los CEM y de la línea 2 del PESMA, el Ministerio de Sanidad solicitó al Centro Nacional de Epidemiología (CNE), del Instituto de Salud Carlos III (ISCIII), la realización de un estudio que analizara la evolución de las tendencias de las tasas de mortalidad de las enfermedades que, algunos estudios observacionales, han asociado con la exposición CEM.



El CNE ha publicado su informe titulado *Mortalidad por leucemias, Linfomas no Hodgkin y tumores del Sistema Nervioso Central en España. 2001-2020*. El informe recoge la evolución de las tasas de mortalidad de estas enfermedades y de los tumores benignos y malignos del SNC en un periodo que abarca, prácticamente, todo el tiempo necesario para valorar el impacto de la exposición a campos magnéticos FEB y campos electromagnéticos de radiofrecuen-

cias. Para realizar el estudio, el CNE ha utilizado los datos de mortalidad facilitados por el Instituto Nacional de Estadística, y se han calculado las tasas estandarizadas de mortalidad en hombres y mujeres, en 4 grupos de edad y para cada Comunidad o Ciudad Autónoma. Las conclusiones del estudio, en términos globales, indican que la tendencia de la mortalidad por neoplasias hematológicas es descendente de manera estadísticamente significativa durante el periodo estudiado. Este descenso es un poco mayor en mujeres y, en términos relativos, en la población más joven [21].

En cumplimiento de las líneas de intervención 4 y 5, el Ministerio de Sanidad ha promovido la coordinación con centros y unidades de investigación que tienen experiencia en la evaluación y medición de exposición de los CEM. En el mes de febrero de 2022 se creó un Grupo de Trabajo cuyo objetivo fue elaborar un estudio piloto sobre medición de la exposición personal a campos magnéticos de FEB en España, para medir los niveles de exposición en lugares y ambientes que sean representativos. Después de casi dos años de trabajo se ha concluido el informe técnico recogido en las siguientes páginas. Las mediciones se han realizado por profesionales cualificados en CEM, con experiencia acreditada y con una metodología homogénea consensuada. Una vez finalizada la primera fase de este estudio piloto en las tres ciudades citadas se ha presentado la metodología y los resultados del informe técnico a las Comunidades y Ciudades Autónomas.



2. METODOLOGÍA

2.1. EQUIPOS DE MEDIDA Y ENSAYO DE INTERCOMPARACIÓN

La campaña de medidas se ha realizado empleando medidores de campo electromagnético SMP2 de WAVECONTROL, que permiten realizar mediciones de forma selectiva – hasta 400 kHz– y en banda ancha. Los sistemas iban equipados con la sonda WP400 (1 Hz - 400 kHz) y disponen de GPS para la georreferenciación de los niveles registrados. Además de la revisión y la calibración, se realizó un ensayo de intercalibración de los equipos en el laboratorio del Instituto de Magnetismo Aplicado de la Universidad Complutense de Madrid (IMA-UCM), tomando como referencia la guía G-ENAC-14 [22] sobre intercomparativos.

En la Figura 2 se muestra la fuente de alimentación Kepco BOP 2050 MG y las bobinas de Helmholtz empleadas para la generación de diversos niveles de campo magnético. Las bobinas se alimentaron con cuatro intensidades de corriente distinta – 0,1 A; 0,15 A; 0,2 A y 1 A–, realizándose además una medición del nivel de fondo de CM-FEB y otra en un emplazamiento exterior al laboratorio. Las medidas de exterior se tomaron en proximidad al cuadro eléctrico de una estación base de telefonía, tal y como muestra la Figura 3. Los sistemas

Figura 2. Fuente de alimentación Kepco BOP 2050 MG (izqda.) y bobinas de Helmholtz (drcha.) empleadas en la intercomparación de los medidores de campo electromagnético en el laboratorio del Instituto de Magnetismo Aplicado de la UCM.



de monitorización se dispusieron para medir en el rango de frecuencias 10 Hz a 400 kHz y se registraron los niveles de campo magnético durante seis minutos. Los resultados obtenidos en cada configuración de las bobinas por cada uno de los equipos de medida se recogen en la Tabla 2.

La campaña de medidas se ha realizado empleando medidores de campo electromagnético SMP2 de WAVECONTROL, que permiten realizar mediciones de forma selectiva – hasta 400 kHz– y en banda ancha

Figura 3. Equipo SMP2 (izqda.) y NF–5035 (drcha.) midiendo junto al cuadro eléctrico de una estación base de telefonía móvil, situada frente al Instituto de Magnetismo Aplicado de la UCM.





Los sistemas de medida se identifican por las siglas de las instituciones implicadas: la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), la Universidad de Extremadura (UEX), el Centro Nacional de Sanidad Ambiental (CNSA) del Instituto de Salud Carlos III (ISCIII) y el Instituto de Magnetismo Aplicado (IMA) de la Universidad Complutense de Madrid (UCM). El sistema de monitorización disponible en el IMA, el SPECTRAN NF -5035, fue incorporado en el ensayo de intercomparación para analizar su adecuación para la campaña de medidas.

2. METODOLOGÍA

En general, los registros de campo magnético son bastante similares, a excepción del equipo SPECTRAN NF-5035, y la ausencia de datos en exteriores con dos de los equipos es consecuencia de las condiciones meteorológicas desfavorables que impidieron completar la ronda de medidas. Para evaluar las diferencias entre los equipos, de acuerdo con la guía G-ENAC-14 [22], se ha empleado el parámetro adimensional z-score, definido como:

$$z = \frac{x - x_a}{\sigma_p}$$

donde x es la medida de cada equipo, x_a es la media de los resultados obtenidos por los diferentes equipos y σ_p es la desviación estándar diana o adecuada al fin pretendido. Dado que el objetivo de este proyecto es la medida de campos magnéticos ambientales, tomaremos como σp el promedio de las desviaciones estándar relativas de las medidas realizadas en el exterior. Este valor fue del 12.3 %. En la Tabla 3 se muestran los valores de z obtenidos. Teniendo en cuenta que los resultados de la inter-comparación son satisfactorios cuando $|z| < 2$, como puede observarse, los equipos SMP2 presentan valores adecuados mientras que el equipo SPECTRAN, con un z-score fuera del rango considerado como satisfactorio en la mayor parte de las mediciones, resultó finalmente descartado para la toma de medidas en el proyecto.

Tabla 2. Resultados del campo magnético B (μT) medidos con cada equipo en las distintas condiciones: fondo de laboratorio (1); inyección de corriente en bobinas I = 0,10 A (2); I = 0,15 A (3); I = 0,2 A (4); I =1,0 A (5); y en exterior (6), junto al cuadro eléctrico de una estación base de telefonía móvil.

Medida / Equipo	Fondo	Configuración bobinas				Exteriores
	1	2	3	4	5	6
SMP2 - UCLM	0,013	1,545	11,16	40,99	200,6	0,925
SMP2 - UEX	0,009	1,566	11,23	40,81	202,8	0,974
SMP2 - CNSA 1	0,008	1,362	9,752	35,62	204,3	
SMP2 - CNSA 2	0,008	1,353	9,619	35,19	170,9	
SMP2 - CNSA 3	0,006	1,353	9,667	34,93	172,0	1,005
SPECTRAN - IMA	0,011	0,776	5,402	19,315	51,184	0,946

Tabla 3. Resultados y criterios z-score para las medidas: fondo de laboratorio (1); inyección de corriente en bobinas I = 0,10 A (2); I = 0,15 A (3); I = 0,2 A (4); I =1,0 A (5); y en exterior (6), junto al cuadro eléctrico de una estación base de telefonía móvil.

z-score	Fondo	Configuración bobinas				Exteriores
	1	2	3	4	5	6
SMP2 - UCLM	**3.4**	**1.3**	**1.4**	**1.5**	**1.6**	**-0.3**
SMP2 - UEX	**-0.1**	**1.5**	**1.5**	**1.5**	**1.7**	**0.1**
SMP2 - CNSA 1	**-1.0**	**0.2**	**0.2**	**0.3**	**1.8**	
SMP2 - CNSA 2	**-1.0**	**0.2**	**0.1**	**0.2**	**0.2**	
SMP2 - CNSA 3	**-2.8**	**0.2**	**0.2**	**0.1**	**0.2**	**0.4**
SPECTRAN - IMA	**1.6**	**-3.4**	**-3.5**	**-3.6**	**-5.6**	**-0.1**

|z|<2 Satisfactorio

2≤|z|<3 Cuestionable

|z|≥3 No satisfactorio

2.2. LOCALIZACIÓN DE LOS EMPLAZAMIENTOS DE MEDIDA

Las mediciones de campo magnético de este proyecto piloto se han llevado a cabo en tres provincias: Albacete, Cáceres y Madrid, seleccionando ubicaciones concretas dentro de dos grupos posibles, denominados espacios públicos (A) y fuentes de emisión (B). Así, por un lado, hablaremos de niveles de inmisión en espacios públicos, considerando los siguientes entornos:

A.1) calles de núcleos urbanos,

A.2) zonas residenciales unifamiliares,

A.3) parques y jardines,

A.4) interior e inmediaciones de edificios públicos,

A.5) estaciones de transporte público e

A.6) interior de medios de transporte electrificados.

Y, por otro, de niveles de emisión en proximidad a focos de CM-FEB, susceptibles de presentar valores de campo magnético más elevados, entre los que consideraremos los siguientes:

B.1) líneas de alta tensión (LAT) áreas de 400 kV.

B.2) LAT de 220 kV,

B.3) LAT de 220 kV soterradas,

B.4) alrededores de subestaciones eléctricas,

B.5) centros de transformación (CT),

B.6) acometidas eléctricas de edificios,

B.7) instalaciones de paneles solares fotovoltaicos y

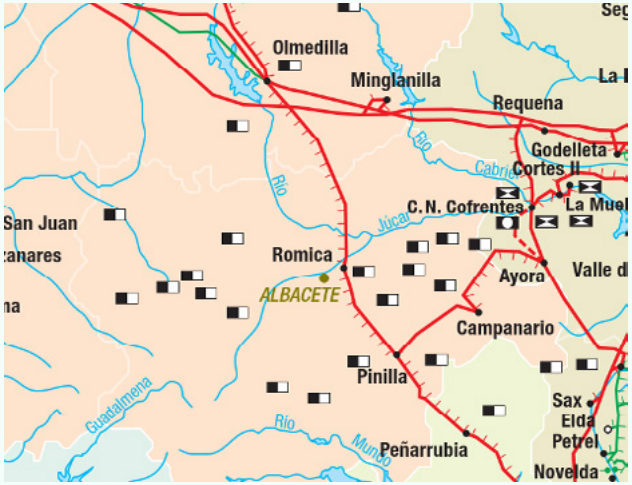
B.8) puntos de recarga de vehículos eléctricos.

Con ayuda de la información proporcionada por Red Eléctrica, se realizó una selección previa in situ de las áreas y puntos de medida en las distintas provincias, atendiendo a la localización de las fuentes de emisión relacionada con infraestructura de CM-FEB (LAT, LAT soterradas, subestaciones eléctricas, entre otros) y su distribución, como muestran los mapas de la Figura 4.

Las mediciones de campo magnético de este proyecto piloto se han llevado a cabo en tres provincias: Albacete, Cáceres y Madrid, seleccionando ubicaciones concretas dentro de dos grupos posibles, denominados espacios públicos (A) y fuentes de emisión (B)

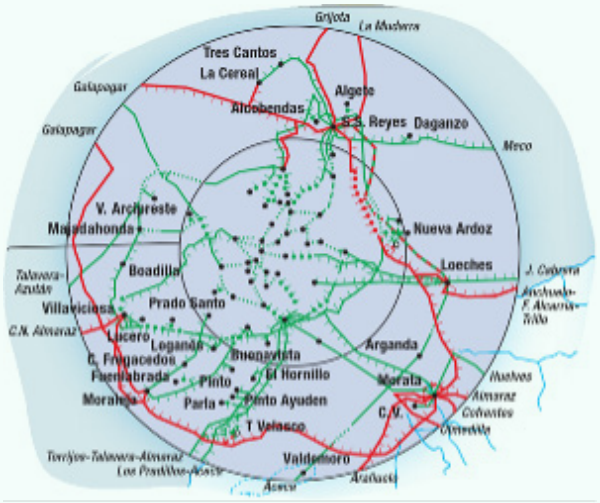


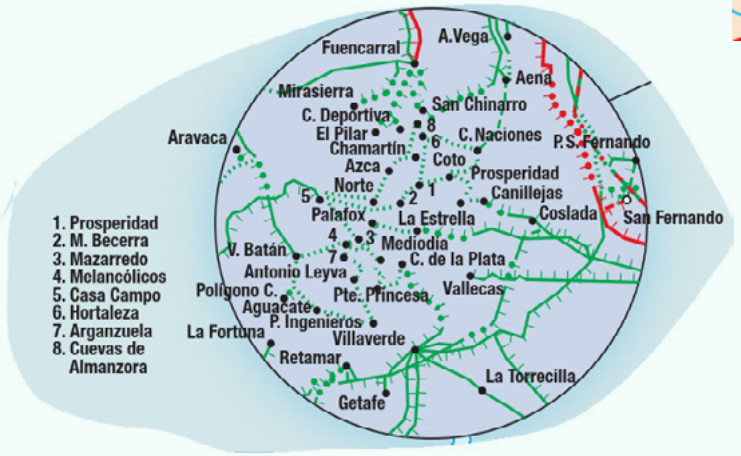
Figura 4. Mapas facilitados por Red Eléctrica para localización de infraestructura eléctrica en cada una de las provincias implicadas en el estudio piloto: Albacete, Cáceres y Madrid.

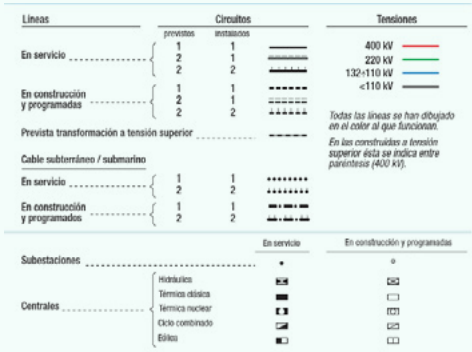












2. METODOLOGÍA

A continuación, se presentan tabuladas las localizaciones donde se han realizado las medidas en las tres provincias, empezando por la cuidad de Albacete, seguida de las provincias de Cáceres y de Madrid.

Tabla 4. Clasificación y localización de los entornos medidos en Albacete.

Tipo	Entorno	Localización
A.1	Núcleos urbanos y zonas residenciales unifamiliares	Centro de Albacete - Plaza Altozano
A.1	Núcleos urbanos y zonas residenciales unifamiliares	Zona universitaria cerca de viviendas
A.3	Inmediaciones de edificios públicos	Colegio Antonio Machado
A.3	Inmediaciones de edificios públicos	Residencia San Antón
A.3	Inmediaciones de edificios públicos	La zona-cerca de Centros comerciales
A.3	Inmediaciones de edificios públicos	ESII-UCLM-Albacete; CA-UNED-Albacete
A.4	Interior edificios públicos	ESII-UCLM-Albacete
A.4	Interior edificios públicos	Hospital General de Albacete
A.4	Interior edificios públicos	Centro de salud No. 8
A.5	Estaciones de transporte público	Estación de tren Albacete, Estación de Autobuses Albacete
B.1	Subestaciones eléctricas (perímetro)	Subestación Romica, Pinilla (3), Centro Comercial Los Llanos, Santanas, Parque aeronáutico, Club Albacetense Tiro de Precisión
B.2/3	Líneas de alta tensión de 400 kV y Líneas de alta tensión de 220 kV	Decatlón-Polígono (220 kV), Romica (400 kV), Pinilla (400 kV)
B.5	Centros de transformación	ESII-UCLM, Calle imperial, cerca del Corte Inglés, cerca Pista de Atletismo, Calle Cristobal Lozano
B.6	Acometidas eléctricas de edificios	Cerca de entrada lateral de la ESII-UCLM

Tabla 5. Clasificación y localización de los entornos medidos en Cáceres.

Tipo	Entorno	Localización
A.1	Núcleos urbanos y zonas residenciales unifamiliares	Malpartida de Cáceres: Plaza y Barrio de la Nora, Iglesia y Plaza Mayor. Villar de Plasencia: Iglesia, Plaza de España y calles adyacentes
A.1	Núcleos urbanos y zonas residenciales unifamiliares	Malpartida de Cáceres: Residencial Las Arenas
A.2	Parques y jardines	Malpartida de Cáceres: Parque Municipal. Villar de Plasencia: áreas de juego
A.3	Inmediaciones de edificios públicos	Malpartida de Cáceres: Polígono Industrial Las Arenas
A.3	Inmediaciones de edificios públicos	Malpartida de Cáceres: Centro de Educación Preescolar, Colegio Los Arcos, IESO Los Barruecos
A.3	Inmediaciones de edificios públicos	Malpartida de Cáceres: Residencia de mayores. Villar de Plasencia: Centro social
A.3	Inmediaciones de edificios públicos	Cáceres. Campus UEx, Escuela Politécnica
A.3	Inmediaciones de edificios públicos	Malpartida de Cáceres: Parking centro comercial, Residencial Las Arenas
A.3	Inmediaciones de edificios públicos	Centros de salud de Malpartida de Cáceres y de Villar de Plasencia
A.4	Interior edificios públicos	Cáceres. Campus UEx, Escuela Politécnica. Edificios de Telecomunicaciones, Ingeniería Civil, Edificación, Informática y Servicios Centrales
A.5	Estaciones de transporte público	Estaciones de FFCC de Cáceres y Plasencia
B.1	Subestaciones eléctricas (perímetro)	Subestaciones eléctricas: ST Arañuelo (400 kV), Cáceres, Plasencia y Trujillo (220 kV) y campus universitario de Cáceres (< 220 kV)
B.2/3	Líneas de alta tensión de 400 kV y Líneas de alta tensión de 220 kV	Líneas eléctricas aéreas de 400 kV en Salvatierra de Santiago y Ruanes-Santa Ana; de 220 kV en Cáceres y Ruanes-Santa Ana, de <220 kV en Villar de Plasencia y línea soterrada (220 kV) en Plasencia
B.5	Centros de transformación	Malpartida de Cáceres: Urbanización las Arenas 1, Urbanización las Arenas 2, Hotel Peña Cruz y Guardería. Villar de Plasencia: Entrada a población y Restaurante El Avión
B.6	Acometidas eléctricas de edificios	Malpartida de Cáceres: Calles Cruz, Puerta Villa y Llano, y en la intersección de la calle Puerta Villa con Santa Catalina
B.7	Instalaciones de paneles solares fotovoltaicos	Cáceres: Vivienda con paneles solares
B.8	Puntos de recarga de vehículos eléctricos	Malpartida de Cáceres: Punto de carga de la estación y puerto de carga del vehículo eléctrico

2. METODOLOGÍA

Tabla 6. Clasificación y localización de los entornos medidos en Madrid.

Tipo	Entorno	Localización
A.1	Núcleos urbanos	Estadio Rayo Vallecano (Madrid), calle Playa de la Concha y calle Playa Riazor (Majadahonda), calle Carretera de Pozuelo (Majadahonda), Avenida Rey Juan Carlos I, calle Cañada de la Carrera (Pozuelo), plaza de España (Las Rozas)
A.2	Parques y jardines	Parque de Valdebernardo (Vallecas)
A.3	Inmediaciones de edificios públicos	Instalaciones ISCIII (Majadahonda), CEIP Agustín Rodríguez E IES María Rodrigo (Vallecas), Hospital Puerta de Hierro (Majadahonda), Hospital Infanta Leonor (Vallecas), CC El Pinar (Las Rozas, IES García Nieto y Centro Artes (Las Rozas)
A.4	Interior edificios públicos	Facultad Ciencias Físicas (UCM) (Ciudad Universitaria – Madrid)
A.5	Estaciones de transporte público	Estación de Atocha (Madrid), Estación de Cercanías de Majadahonda
A.6	Interior de transporte público	Metro de Madrid
B.1	Subestaciones eléctricas (perímetro)	Subestación eléctrica Vallecas (junto Hospital Infanta Leonor), Subestación eléctrica IBERDROLA (Majadahonda, junto M-516), Subestación eléctrica IBERDROLA (calle Cañada de la Carrera, Pozuelo) y Subestación eléctrica El Tejar (Las Rozas)
B.2	Líneas de Alta Tensión (220 kV)	Campus UCM Somosaguas (Pozuelo), Ronda de Valdecarrizo (Tres Cantos) y Avda. Guadarrama (Boadilla del Monte)
B.3	Líneas de Alta Tensión (400 kV)	Calle Cercado Redondo (Galapagar), El Molar, La Berzosa y Estación de San Yago (Galapagar)
B.6	Acometidas eléctricas de edificios	Varias localizaciones
B.7	Instalaciones de paneles solares fotovoltaicos	Paneles solares parking ISCIII (Majadahonda) y paneles solares carga bicicletas Campus Moncloa UCM (Madrid)
B.8	Puntos de recarga de vehículos eléctricos	Centro Comercial El Pinar (Las Rozas)



2.3. PROTOCOLO DE MEDIDA

Los parámetros generales de configuración empleados en los equipos SPM2, para la toma de medidas del proyecto, fueron los siguientes (Tabla 7):

Tabla 7. Parámetros de configuración equipos SPM2 de WAVECONTROL.

Unidad de medida:	microteslas (μT)
Filtro aplicado (High Pass Filter):	10 Hz
Rango de medida:	10 Hz a 400 kHz
Duración de medidas (en movimiento):	sin límite
Duración de medidas (estáticas):	1 minuto
Frecuencia de muestreo:	0,5 segundos
Post-procesado señal:	No aplicado
Sonda (modelo):	WP400
GPS:	Activado
Software del sistema (versión):	SPM2 2.5.5



El protocolo seguido se estableció de acuerdo con la normativa internacional y nacional relativa a la medida de campos magnéticos a frecuencia industrial en relación con la exposición humana -IEC 62110:2009 [23], IEC 61786-2:2014 [24], UNE 215001:2004 [25]-, además del documento técnico TR 170 de ARPANSA (*Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency*) [26].

A continuación, se describen los distintos protocolos seguidos, para cada uno de los emplazamientos estudiados:

El protocolo seguido se estableció de acuerdo con la normativa internacional y nacional relativa a la medida de campos magnéticos a frecuencia industrial en relación con la exposición humana

LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN

- De forma general, realizar las medidas a 1 m de altura, georreferenciadas, durante 1 minuto.
- Localizar y registrar el valor máximo de campo magnético $B_{máx}$, justo bajo de la línea aérea midiendo el perfil longitudinal, o a lo largo del camino que se considere perpendicular a la línea subterránea, con intervalos apropiados para encontrar el nivel máximo en el área de interés.
- Realizar medidas longitudinales y transversales suficientes para determinar el perfil del campo con la distancia.

LÍNEAS AÉREAS

PERFIL LONGITUDINAL (L.A.)	PERFIL TRANSVERSAL (L.A)
• Seguir el eje de la línea eléctrica y de apoyo en apoyo, en el vano y bajo cada una de las líneas laterales. Si LAT tiene tres líneas, **descartar la central**. • A partir del punto donde se registra **$B_{máx}$**, o el punto más bajo de la línea, realizar medidas en al menos en 5 puntos equidistantes.	• Hacer una medida adicional en el centro del vano de la línea, aunque no sea un máximo • A partir del punto **$B_{máx}$**, en dirección normal y hacia el exterior de cada una de las dos líneas laterales, registrar B en los intervalos mínimos recomendados: 0 m – 5 m – 10 m – 15 m – 20 m – 30 m

LÍNEAS SOTERRADAS

PERFIL LONGITUDINAL (L.A.)	PERFIL TRANSVERSAL (L.A)
• En línea con el eje de la línea eléctrica, conocido el recorrido de los cables. • El campo **B** es normalmente constante a lo largo de dicho recorrido, excepto en cámaras de empalme, juntas o cambios de profundidad • A partir del punto donde se registra **$B_{máx}$**, realizar medidas a tres alturas, por ser el campo B no uniforme: 0.5 m – 1 m – 1.5 m El promedio del nivel de exposición es la media aritmética de las tres medidas. • A partir de **$B_{máx}$**, se recomienda realizar 5 medidas, en los siguientes intervalos: (-10 m) – (-5 m) – **$B_{máx}$** – 5 m – 10 m O, en todo caso, las medidas necesarias para asegurar la caracterización de la línea en el tramo de interés.	• Medidas en dirección normal a la línea, a partir del punto de máximo campo encontrado, a ambos lados de la línea • Intervalos de distancia mínima recomendadas: 0 m – 50 cm – 1 m – 2 m – 3 m – 4 m – 5 m

SUBESTACIONES

- De forma general, realizar las medidas a 1 m de altura, georreferenciadas, durante 1 minuto.

- Localizar el punto de máximo nivel de campo magnético $B_{máx}$, recorriendo el perímetro de la instalación con el medidor a 1 m de altura. En ese punto, a una distancia d = 0.2 m frente a la pared limítrofe de la subestación, encontrar el nivel promedio de exposición al campo B no uniforme, realizando mediciones a las siguientes alturas:

  0.5 m – 1 m – 1.5 m

- A partir del punto **$B_{máx}$**, registrar los niveles de B, a 1 metro de altura, a los intervalos de distancia de la pared recomendados: 1 m – 5 m –10 m – 20 m.



VÍA PÚBLICA

- De forma general, realizar las medidas a 1 m de altura, georreferenciadas, registrando los niveles durante el tiempo que dure el recorrido de la vía pública, habiendo variado en este estudio entre 6 y 20 minutos.

- Antes de comenzar la medida en movimiento, registrar estáticamente durante un minuto el valor del campo B en el punto de partida. Los valores de registro estático, al inicio y al final del recorrido, serán valores de referencia para dar validez al registro dinámico.

- Se realizará la medición en movimiento, desde un extremo a otro de la calle, situados en el centro de la acera, evitando movimientos bruscos con el equipo de medida y manteniéndolo siempre a la misma altura.

- Identificar y anotar los posibles picos de campo B que aparezcan durante el recorrido (número de ellos, magnitud y localización) para su posterior análisis.

- Finalizado el recorrido y parado el registro de la medida, realizar otro registro estático del nivel de campo B durante un minuto en el punto de llegada.

3. RESULTADOS

Previo a desglosar los resultados del estudio piloto, se representan a continuación de modo gráfico, y a partir del total de los datos en cada uno de los enclaves analizados, los niveles medios ambientales de CM-FEB obtenidos tanto en espacios públicos -niveles de inmisión-, como en proximidad a las fuentes generadoras de campo seleccionadas -niveles de emisión-.

En espacios públicos se han llevado a cabo medidas en 39 emplazamientos distintos entre la ciudad de Albacete y las provincias de Cáceres y Madrid, mientras que para focos de emisión se han considerado 46 emplazamientos repartidos entre las tres provincias. El tiempo medio de toma de datos en cada ubicación ronda los 20 minutos, lo que supone un promedio de aproximadamente 2.400 registros de campo magnético por enclave.

En la Figura 5 se representan todos los niveles medios de exposición a CM-FEB sobre un mapa de un posible núcleo poblacional, apareciendo estos mismos datos recogidos de manera comparativa en un diagrama de barras en la Figura 6, indicando en cada una de ellas el valor límite de referencia para CM-FEB indicado por ICNIRP 2010 [11].

Figura 5. Identificación de los valores medios obtenidos del total de registros de campo magnético FEB ambiental tanto en espacios públicos como en inmediaciones de focos de emisión (Cáceres, Albacete y Comunidad de Madrid).

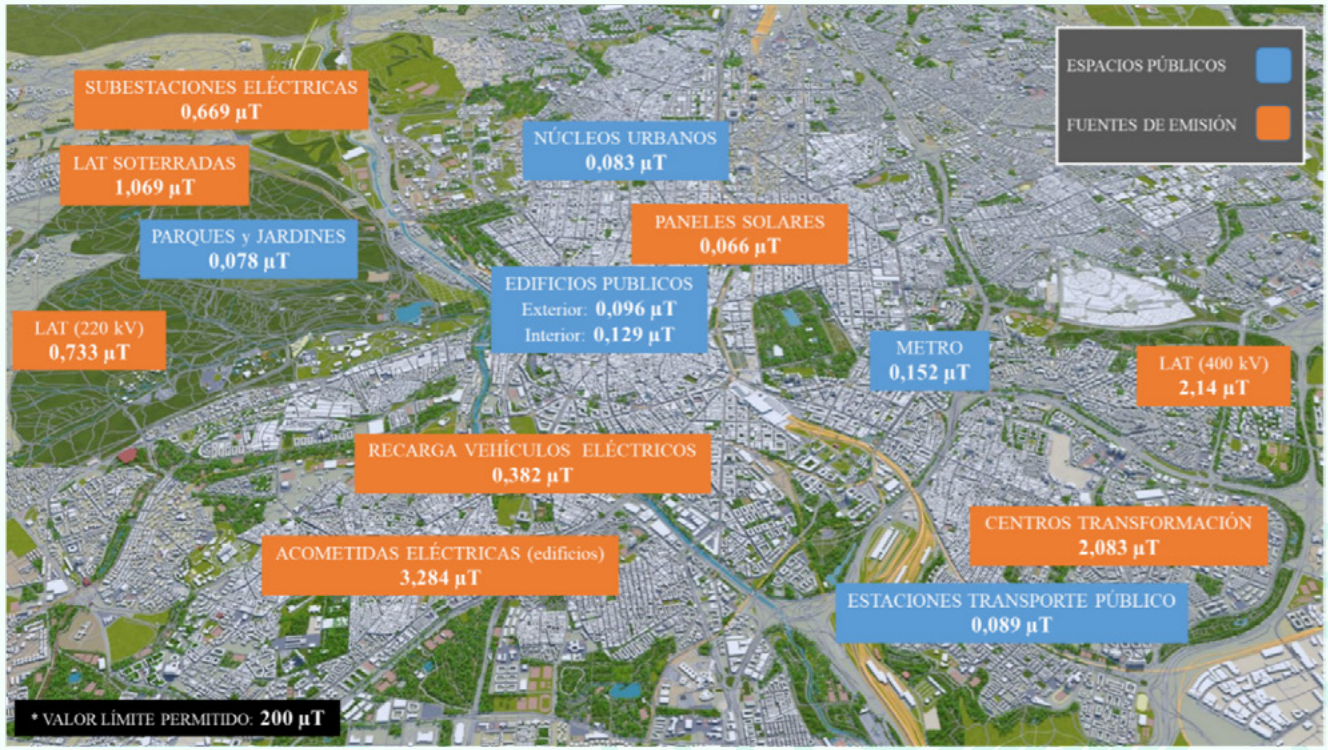
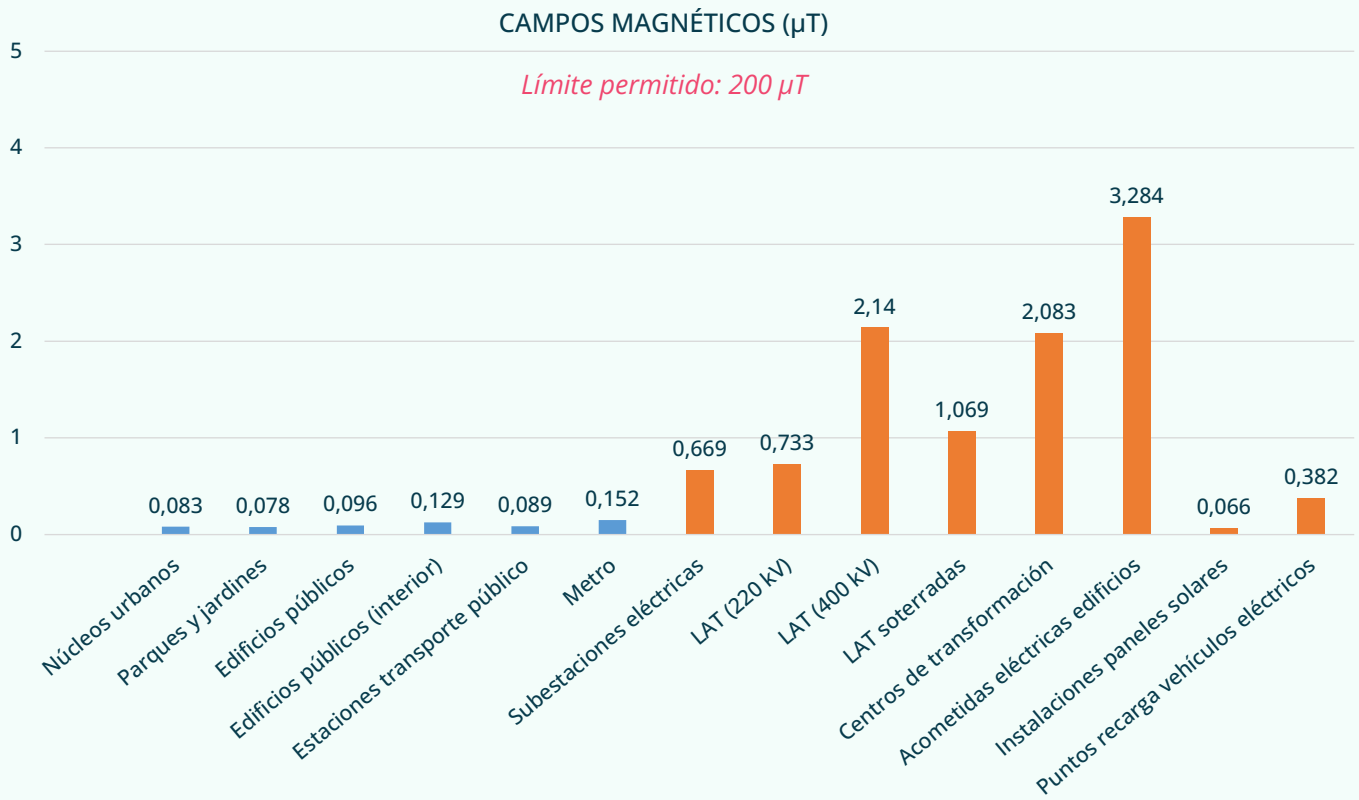


Figura 6. Histograma de los niveles medios ambientales de campo magnético FEB identificados en el estudio, tanto en espacios públicos (azul) como en inmediaciones de focos de emisión (naranja), a partir de los datos de Cáceres, Albacete y Madrid.



Comparativamente con las revisiones internacionales en relación con los niveles de exposición de la población a campos magnéticos de FEB, a partir del conjunto de datos disponible hasta el momento a nivel nacional, podríamos decir que los niveles ambientales de CM-FEB en espacios públicos en España se encuentran igualmente dentro del rango de 0,05 a 0,2 µT. Como era esperable, los valores más elevados se hallan en proximidad a los focos de emisión, entre los que el valor de CM-FEB más elevado se ha encontrado al lado de las acometidas eléctricas de los edificios y que, en todo caso, supone un 1,65% de los 200 microT fijados como nivel de referencia por ICNIRP.

3.1. ESPACIOS PÚBLICOS (A)

A continuación, se resume el análisis de los registros de CM-FEB llevados a cabo en cada uno de los espacios de uso público en núcleos poblacionales, agrupados por calles de núcleos urbanos y de zonas residenciales unifamiliares (A.1), parques y jardines (A.2), inmediaciones de edificios públicos (A.3) y su interior (A.4), estaciones de transporte público (A.5) e interior de medios de transporte electrificado (A.6).

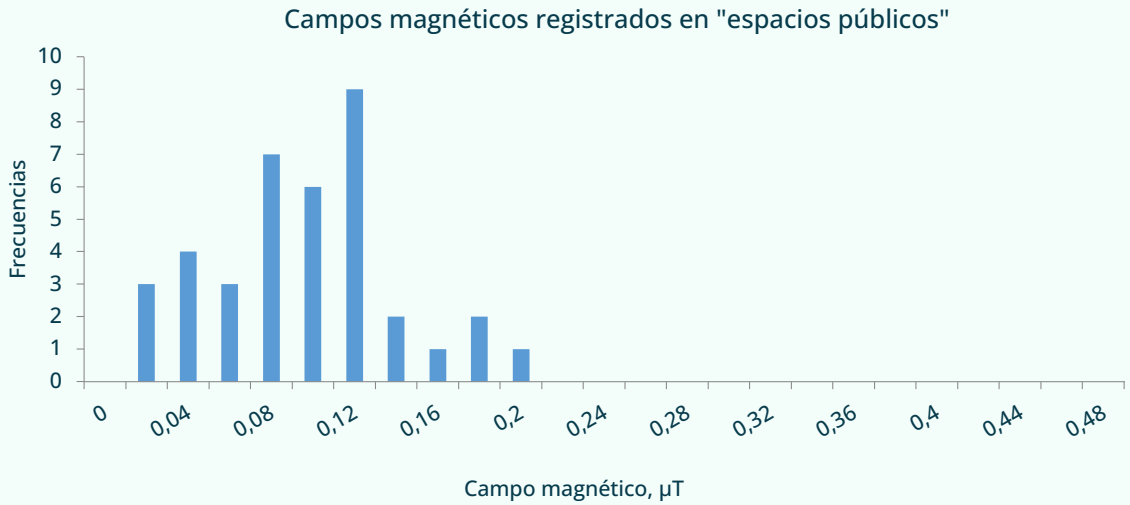
I. RESULTADOS TOTALES

Los valores medios de todos los registros llevados a cabo en los espacios públicos de las distintas localizaciones, junto con el histograma, se muestran a continuación. Como recoge la Tabla 8, el valor medio de campo B obtenido es de 0,095 µT, con una mediana de 0,068 µT, que es un indicador mucho más apropiado de los niveles de exposición ambiental, ya que limita la influencia de los valores extremos en los registros. De hecho, la mediana de 0,068 µT es aproximadamente un 30% inferior al valor de la media en espacios públicos (Figura 7).

Tabla 8. Valores CM-FEB medidas realizadas en espacios públicos, en un total de 39 emplazamientos distintos (Cáceres, Albacete y Comunidad de Madrid).

Estadístico	B (µT)
Media	0,095
Mediana	0,068
% respecto al valor límite (200 µT)	0,048

Figura 7. Histograma de valores medios de campo magnético en espacios públicos (Cáceres, Albacete y Comunidad de Madrid).



II. DESGLOSE DE RESULTADOS

A.1 Núcleos urbanos y zonas residenciales unifamiliares

A partir de las mediciones en diez localizaciones distintas en zonas urbanas y semiurbanas, se han obtenido niveles medios de 0.08 µT y una mediana de 0.06 µT, tal y como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores de CM-FEB a partir de los datos obtenidos en núcleos urbanos y zonas residenciales en base a las medidas realizadas en 10 emplazamientos distintos.

Estadístico	B (µT)
Media	0,083
Mediana	0,062
Mínimo	0,01
Máximo	1,43
% respecto al valor límite (200 µT)	0,042

Si separamos los datos registrados en calles de núcleos urbanos de los registrados en zonas residenciales con viviendas unifamiliares (Tabla 10), encontramos que los valores del núcleo urbano son cerca de un 25% superiores.



Tabla 10. Valores de CM-FEB obtenidos para núcleos urbanos(izqda.) y zonas residenciales(drcha.) a partir de las medidas realizadas en 6 y 3 emplazamientos distintos, respectivamente.

Núcleo urbano

Estadístico	B (µT)
Media	0,094
Mediana	0,077
Mínimo	0,010
Máximo	1,431
% respecto al valor límite (200 µT)	0,047

Zona residencial unifamiliar

Estadístico	B (µT)
Media	0,067
Mediana	0,039
Mínimo	0,010
Máximo	1,301
% respecto al valor límite (200 µT)	0,033



A.2 Parques y jardines

En zonas de recreo infantil y jardines se han tomado dos mediciones, a partir de las que se ha obtenido un nivel medio de 0.08 μT, con una mediana de 0.06 μT, tal y como se extrae de la Tabla 11.

Tabla 11. Valores de CM-FEB obtenidos a partir de las medidas en parques y jardines, realizadas en 2 emplazamientos distintos.

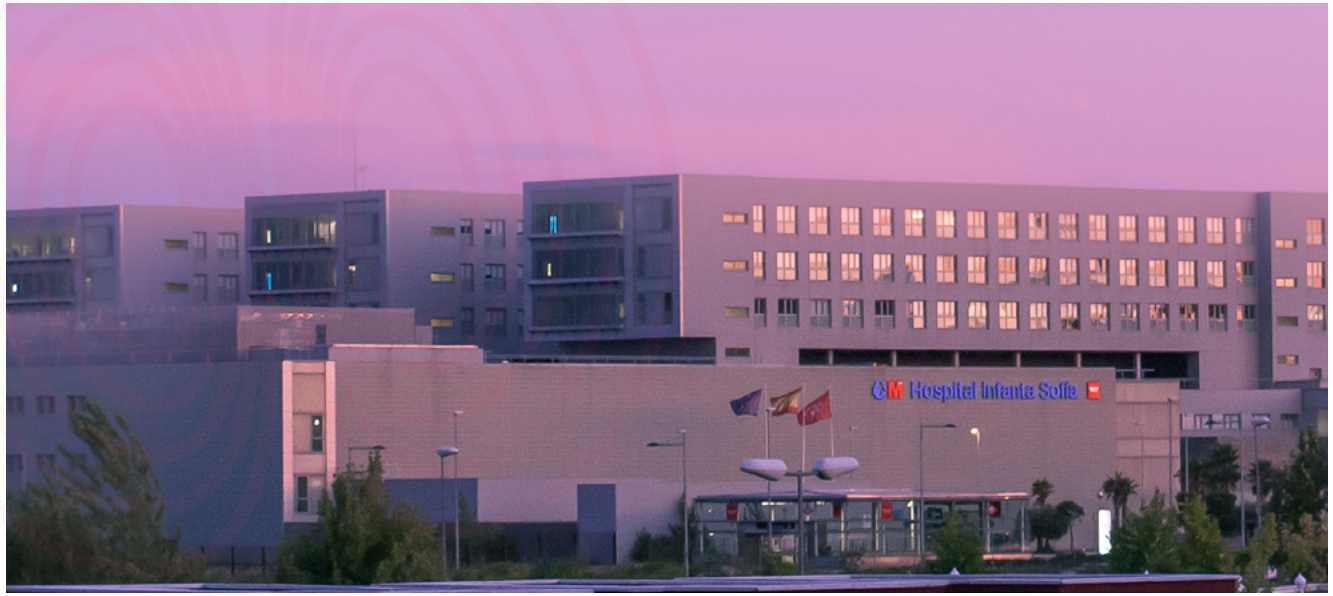
Estadístico	B (μT)
Media	0,078
Mediana	0,058
Mínimo	0,012
Máximo	0,906
% respecto al valor límite (200 μT)	0,039

A.3 Inmediaciones de edificios públicos

Los valores resultantes de las medidas tomadas en los alrededores de varios edificios públicos, entre los que hay hospitales, centros de salud, universidades, colegios (CEIP) e institutos (IES), residencias tercera edad, centros culturales, centros comerciales y centros de investigación, muestran un valor medio de 0.1 µT y una mediana de 0.06 µT (Tabla 12).

Tabla 12. Valores de CM-FEB obtenidos en las inmediaciones de edificios públicos a partir de las medidas realizadas en 17 emplazamientos distintos.

Estadístico	B (µT)
Media	0,096
Mediana	0,065
Mínimo	0,001
Máximo	11,7
% respecto al valor límite (200 µT)	0,048



A.4 Interior edificios públicos

El registro en interiores se ha realizado únicamente en centros universitarios, hospitales y centros de salud. Los niveles de CM-FEB registrados a partir de cinco mediciones en distintos emplazamientos resultan en un valor medio de 0.13 µT y una mediana de 0.07 µT (Tabla 13).

Tabla 13. Valores de CM-FEB obtenidos en interiores de edificios públicos, a partir de las medidas realizadas en 5 emplazamientos distintos.

Estadístico	B (µT)
Media	0,129
Mediana	0,086
Mínimo	0,011
Máximo	0,87
% respecto al valor límite (200 µT)	0,065

A.5 Estaciones de transporte público

Alrededor de las estaciones de transporte público, a partir de la toma de medidas en cinco emplazamientos distintos, el nivel ambiental de CM-FEB encontrado es de 0.09 µT, con una mediana de 0.07µT, tal y como recoge la Tabla 14.

Tabla 14. Valores de CM-FEB obtenidos en las inmediaciones de estaciones de transporte, a partir de las medidas realizadas en 5 emplazamientos distintos.

Estadístico	B (µT)
Media	0,089
Mediana	0,071
Mínimo	0,001
Máximo	0,46
% respecto al valor límite (200 µT)	0,044

A.6 Interior de transporte público (Metro de Madrid)

En este caso, los valores obtenidos de campo magnético provienen de tres viajes realizados en el Metro de Madrid, registrando el campo *B* desde la entrada hasta la salida de las estaciones, junto con los trayectos en los vagones (Tabla 15).

Tabla 15. Valores de CM-FEB obtenidos durante el empleo del metro de Madrid, en tres desplazamientos distintos.

Estadístico	B (µT)
Media	0,152
Mediana	0,096
Mínimo	0,041
Máximo	3,514
% respecto al valor límite (200 µT)	0,076



3.2. FUENTES DE EMISIÓN DE CAMPOS MAGNÉTICOS FEB (B)

En este apartado se presentan las medidas realizadas para identificar los niveles de emisión de campos magnéticos de FEB en entornos susceptibles de presentar valores más elevados que en espacios públicos por la proximidad a distintos focos. Como se ha comentado anteriormente, se ha tenido en cuenta la infraestructura relacionada con el transporte y la distribución de la energía eléctrica, tales como las líneas de alta tensión (LAT) de 220 kV y 400 kV, LAT soterradas de 220 kV, inmediaciones de subestaciones eléctricas, centros de transformación, acometidas eléctricas de edificios, además de instalaciones de paneles solares fotovoltaicos y puntos de recarga de vehículos eléctricos.

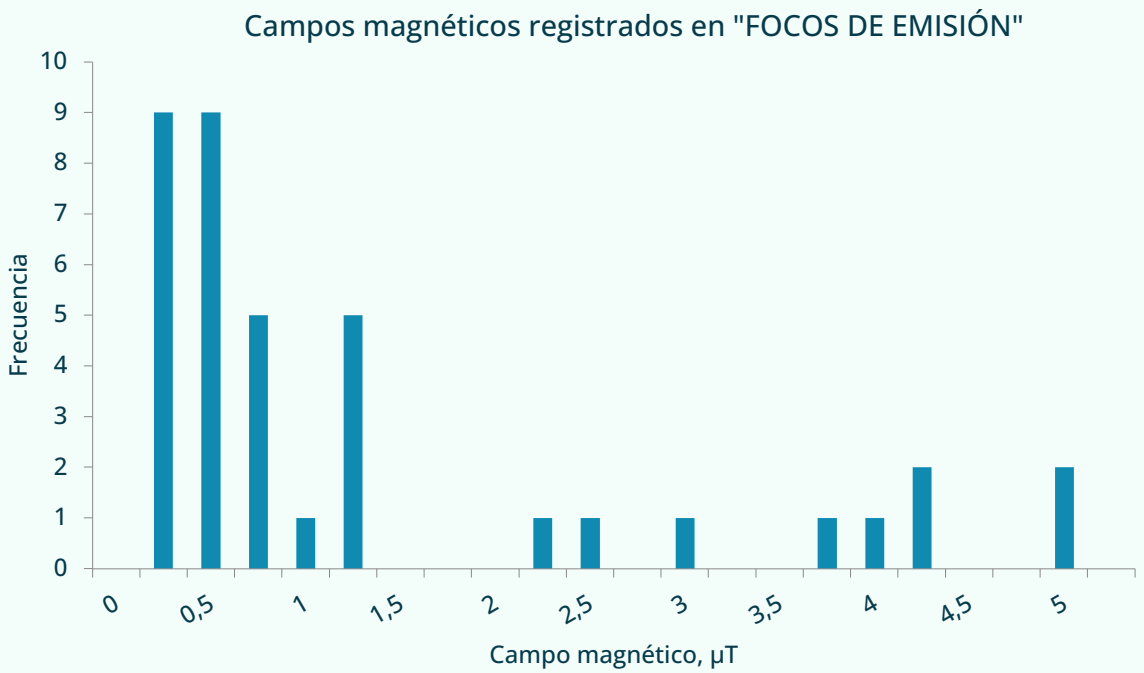
I. RESULTADOS TOTALES

Los valores medios del CM-FEB en proximidad a los denominados focos de emisión, considerando todos los registros en las distintas localizaciones analizadas en el estudio se muestran en la Tabla 16, seguidos del histograma correspondiente en la Figura 8.

Tabla 16. Valores obtenidos a partir de las medidas realizadas en 46 emplazamientos distintos, en las inmediaciones de focos de emisión de campos magnéticos de FEB (Cáceres, Albacete y Comunidad de Madrid).

Estadístico	B (μT)
Media	1,303
Mediana	1,154
% respecto al valor límite (200 μT)	0,652

Figura 8. Histograma de los valores medios de campo magnético registrados en los 46 emplazamientos en torno a focos de emisión de campos magnéticos de FEB (Cáceres, Albacete y Comunidad de Madrid).



II. DESGLOSE DE RESULTADOS

B.1 Subestaciones eléctricas (perímetro)

Se han registrado los niveles de campo B alrededor de trece subestaciones eléctricas en distintos emplazamientos, de las que resulta un valor medio de 0,67 µT y una mediana de 0,52 µT (Tabla 17).

Tabla 17. Valores de CM-FEB obtenidos a partir de las medidas en las inmediaciones de 13 subestaciones eléctricas distintas.

Estadístico	B (µT)
Media	0,669
Mediana	0,522
Mínimo	0,019
Máximo	8,995
% respecto al valor límite (200 µT)	0,335

B.2 Líneas de alta tensión de 220 kV

Los valores mostrados en tabla 18 se han obtenido a partir de los datos registrados durante la caracterización de las LAT, siguiendo el perfil longitudinal –bajo el eje de la línea eléctrica– y el perfil transversal, de acuerdo con el protocolo indicado en el apartado 2.4 (Tabla 18).

Tabla 18. Valores de CM-FEB obtenidos a partir de las medidas de caracterización de 5 LAT de 220 kV.

Estadístico	B (µT)
Media	0,733
Mediana	0,674
Mínimo	0,065
Máximo	3,334
% respecto al valor límite (200 µT)	0,366

B.3 Líneas de alta tensión de 400 kV

En relación con los niveles de emisión de las LAT de 400 kV, se han registrado valores en proximidad a seis líneas, resultando un valor medio de 2,1 µT y una mediana de 2,3 µT a partir de las medidas tomadas bajo el eje longitudinal y transversal de las LAT (Tabla 19).

Tabla 19. Valores de CM-FEB obtenidos a partir de las medidas de caracterización de 6 LAT de 400 kV.

Estadístico	B (µT)
Media	2,14
Mediana	2,298
Mínimo	0,13
Máximo	6,7
% respecto al valor límite (200 µT)	1,070



B.4 Líneas de alta tensión soterradas

En este estudio piloto sólo se ha caracterizado una LAT soterrada (220 kV), por lo que sería necesario realizar más medidas en proximidad a este tipo de infraestructura para poder sacar conclusiones al respecto de los niveles de emisión en las inmediaciones de este foco (Tabla 20).

Tabla 20. Valores de CM-FEB obtenidos a partir de las medidas de caracterización de 1 LAT subterránea.

Estadístico	B (μT)
Media	1,069
Mediana	0,954
Mínimo	0,245
Máximo	2,751
% respecto al valor límite (200 μT)	0,535



B.5 Centros de transformación

A continuación, se muestran los descriptivos correspondientes a las medias de CM-FEB registrados en proximidad a 11 centros de transformación, a partir de los que ha resultado un valor medio de 2,08 μT, con una mediana de 1,3 μT (Tabla 21).

Tabla 21. Valores de CM-FEB obtenidos en las inmediaciones de 11 centros de transformación.

Estadístico	B (μT)
Media	2,083
Mediana	1,294
Mínimo	0,001
Máximo	13,452
% respecto al valor límite (200 μT)	1,042

B.6 Acometidas eléctricas de edificios

La Tabla 22 muestra el análisis de los valores medidos en distintas acometidas de edificios, a nivel de calle, con los resultados de media y mediana más elevados de entre los focos de emisión estudiados, con valores de 3,3 μT y 3.1 μT, respectivamente.

Tabla 22. Valores de CM-FEB obtenidos a partir de las medidas en las inmediaciones de 5 acometidas eléctricas.

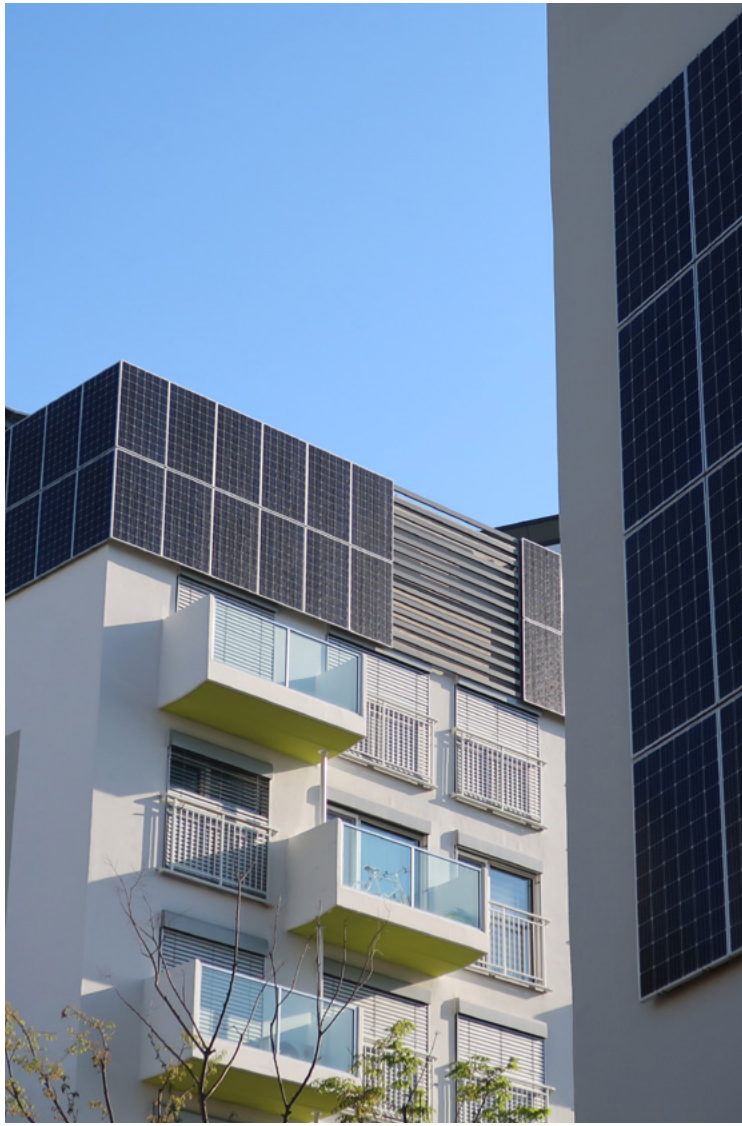
Estadístico	B (μT)
Media	3,284
Mediana	3,097
Mínimo	0,104
Máximo	6,54
% respecto al valor límite (200 μT)	1,642

B.7 Instalaciones de paneles solares fotovoltaicos

En torno a instalaciones de paneles solares, tanto privadas como integradas en infraestructuras de uso público, como puntos de recarga de bicicletas, existe un transformador de corriente continua a alterna que ha de contribuir a la emisión de CM-FEB. Se han encontrado niveles de campo tan bajos como 0,07 μT y 0,06 μT de media y mediana, respectivamente (Tabla 23).

Tabla 23. Valores de CM-FEB obtenidos a partir de las medidas en las inmediaciones de 3 instalaciones de paneles solares.

Estadístico	B (μT)
Media	0,066
Mediana	0,060
Mínimo	0,042
Máximo	0,18
% respecto al valor límite (200 μT)	0,033



B.8 Puntos de recarga de vehículos eléctricos

En una primera aproximación para estimar los niveles de CM-FEB generados alrededor de los puntos de recarga de vehículos eléctricos, se han realizado mediciones en dos instalaciones, registrando un valor de 0,38 µT de media y de 0,33 µT como mediana (Tabla 24).

Tabla 24. Valores de CM-FEB obtenidos a partir de las medidas en las inmediaciones de 2 instalaciones para recarga de vehículos eléctricos.

Estadístico	B (µT)
Media	0,382
Mediana	0,331
Mínimo	0,207
Máximo	0,615
% respecto al valor límite (200 µT)	0,191



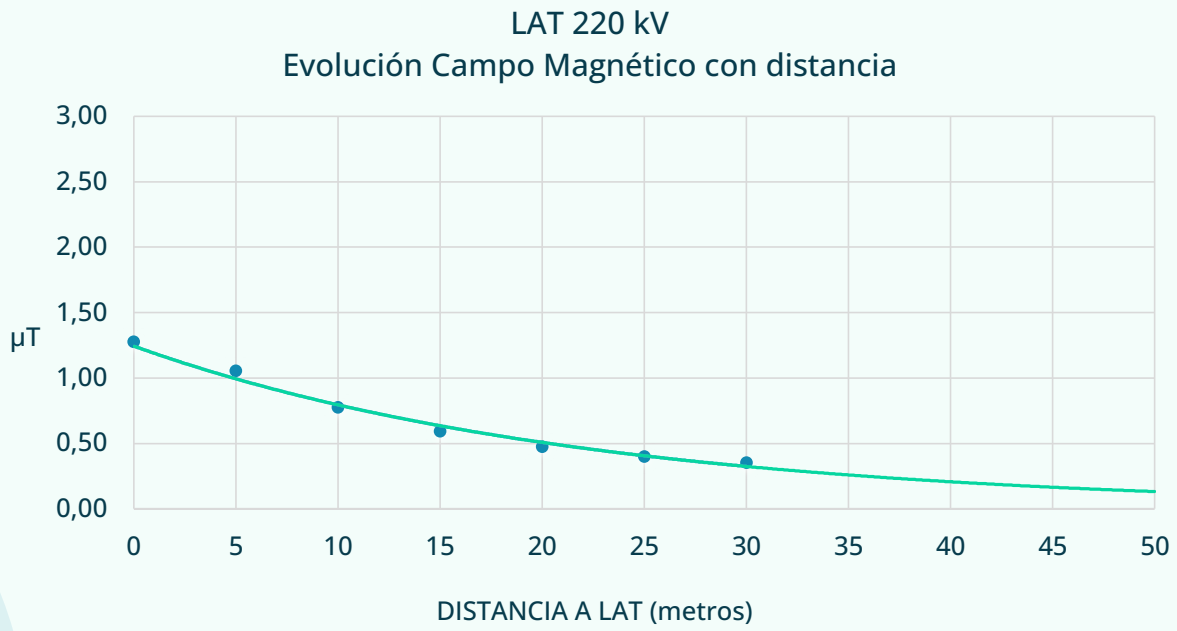
La Tabla 22 muestra el análisis de los valores medidos en distintas acometidas de edificios, a nivel de calle, con los resultados de media y mediana más elevados de entre los focos de emisión estudiados, con valores de 3,3 µT y 3.1 µT, respectivamente

4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. ESTUDIO DEL CAMPO MAGNÉTICO EN TORNO A LAT

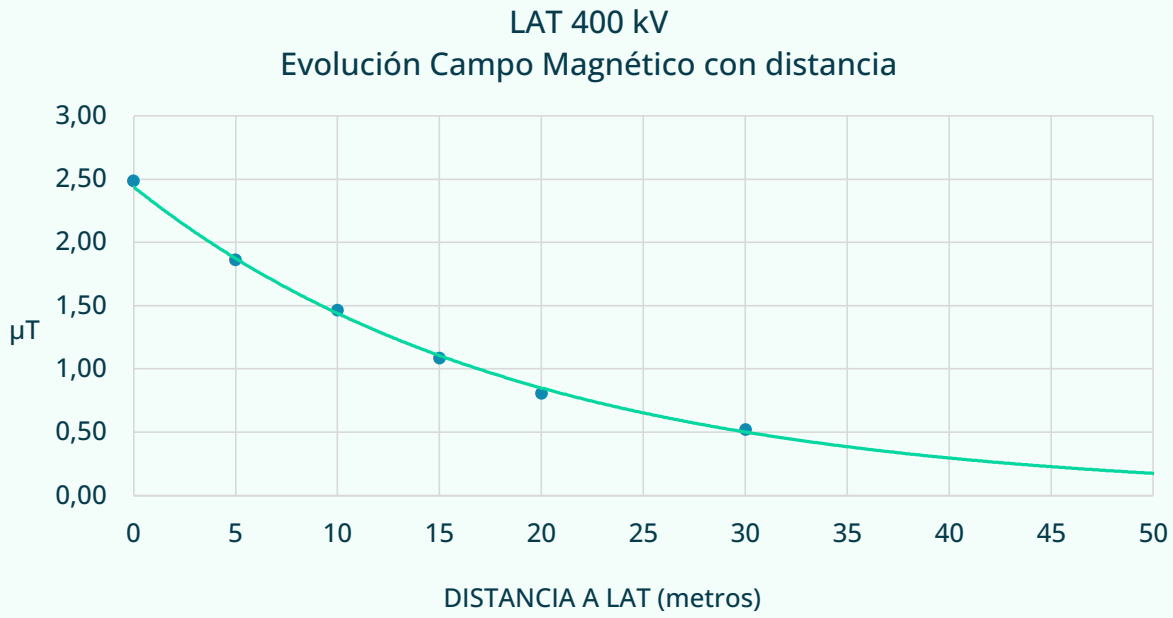
Los resultados registrados durante las medidas de caracterización de las LAT (ver protocolo de medida de las LAT aéreas), dibujan el perfil transversal de decaimiento del campo magnético con la distancia al centro de la línea, que muestran las Figuras 9 y 10 para los voltajes 220 kV y 400 kV, respectivamente. Extrapolando los valores obtenidos, tal y como puede observarse a partir de las líneas continuas en ambas gráficas, **los valores de campo magnético a 50 metros de distancia de las LAT son similares a los valores medios CM-FEB en cualquiera de los espacios públicos del escenario urbano**, próximos a 0,1 µT.

Figura 9. Representación del perfil transversal del campo magnético con la distancia al eje de la línea, resultante de los valores promedios registrados en LAT de 220 kV en este estudio piloto (puntos), y los valores obtenidos mediante extrapolación (línea).



4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Figura 10. Representación del perfil transversal del campo magnético con la distancia al eje de la línea, resultante de los valores promedios registrados en LAT de 400 kV en este estudio piloto (puntos), y los valores obtenidos mediante extrapolación (línea).



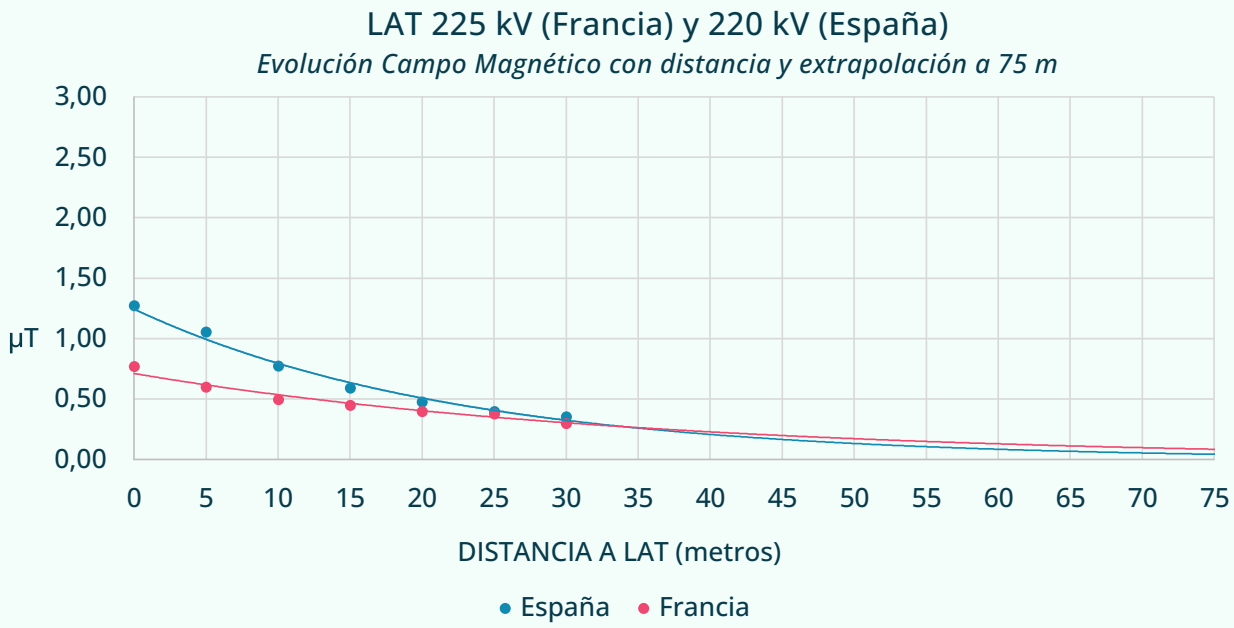


4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El trabajo francés recientemente publicado de *Deshayes-Pinçon et al* [17], ya comentado en la introducción, evalúa la exposición de la población francesa a los CM-FEB provenientes de LAT, sigue un protocolo similar para la medida del campo B, y analiza los registros de medidas en torno a 731 LAT de 225 kV y 306 LAT de 400 kV, caracterizadas longitudinal y transversalmente. A pesar de las diferencias del tamaño muestral, considerando las semejanzas con el presente proyecto, se ha realizado una comparativa entre los resultados de ambos trabajos. Las gráficas de las Figuras 11 y 12, recogen los niveles de CM-FEB en el eje transversal de las LAT tanto en Francia como en España

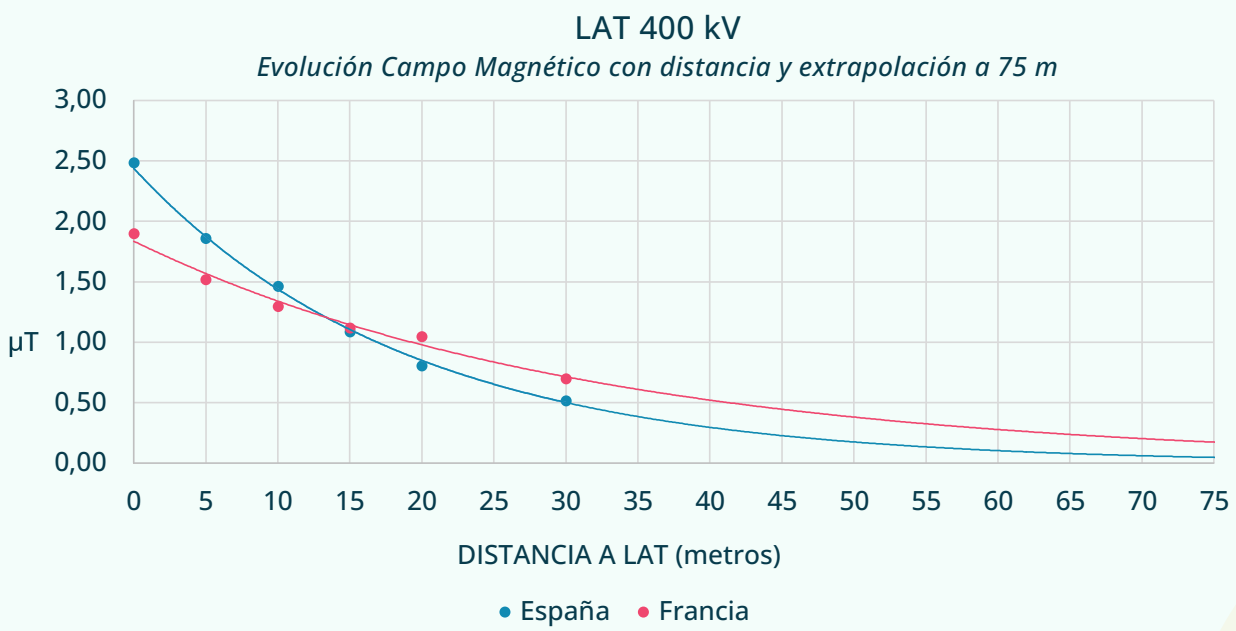
Observamos que los niveles de campo magnético a 75 m siguen siendo similares a los valores medidos en un entorno urbano habitual, próximos al 0,1 μT encontrado en cualquiera de los espacios públicos analizados

Figura 11. Comparativa del perfil transversal del CM-FEB obtenido en proximidad a LAT de 225 kV y 220 kV en Francia y España, respectivamente, junto con la resultante de la extrapolación en cada caso.



4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Figura 12. Comparativa del perfil transversal del CM-FEB obtenido en proximidad a LAT de 400 kV en Francia y España, junto con la resultante de la extrapolación en cada caso.



Se observan pequeñas diferencias entre ambos estudios, con valores algo superiores en el caso de nuestro país, que pueden atribuirse a una mayor carga en las líneas de alta tensión en el momento de toma de medidas o ser consecuencia del tamaño de la muestra, significativamente menor en este estudio. A partir de la extrapolación de valores hasta los 75 metros de distancia y desde el centro del vano de la línea, observamos que los niveles de campo magnético a 75 m siguen siendo similares a los valores medidos en un entorno urbano habitual, próximos al 0,1 µT encontrado en cualquiera de los espacios públicos analizados.

4.2. ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Con el fin de extraer algunas conclusiones importantes acerca de los resultados de este informe técnico, se han realizado diversos análisis estadísticos que se presentan seguidamente, tales como el contraste de hipótesis para la comparación entre grupos, el cálculo de percentiles, el análisis de la variabilidad de los registros o el cálculo de intervalos de confianza.

4.2.1. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA ENTRE GRUPOS

A partir de los dos grupos principales de valores de campo magnético estudiados, como son los denominados ***espacios públicos*** y las ***fuentes de emisión***, considerando que ambos grupos de datos siguen una distribución Normal y que presentan valores de varianza distintos (varianza espacios públicos = 0,002 y varianza fuentes emisión = 2,22), en primer lugar, se plantean las siguientes hipótesis para llevar a cabo la comparativa:

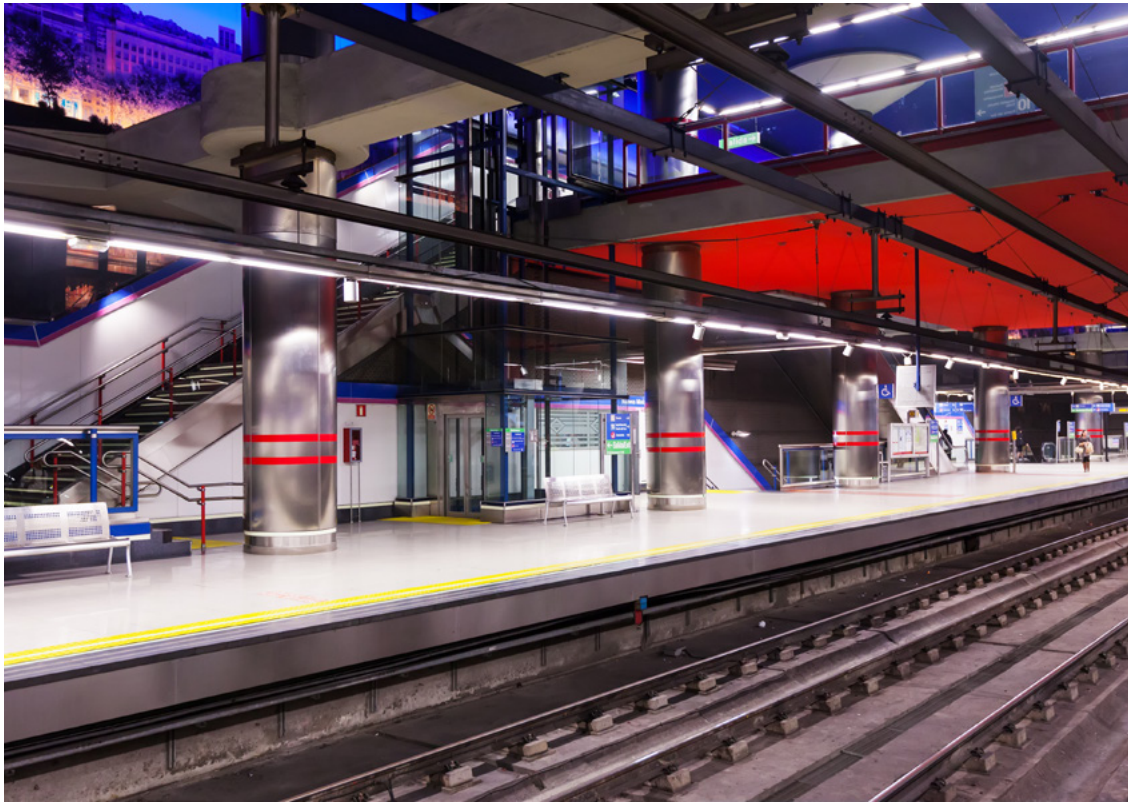
- Hipótesis nula (H0): ambos grupos de datos pueden considerarse similares, es decir, no hay diferencias estadísticamente significativas entre ellos.
- Hipótesis alternativa (H1): ambos grupos de datos NO pueden considerarse similares, por lo que se afirma que SÍ hay diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

Con n = 38 valores por grupo (38 registros de campo magnético en cada uno de los dos grupos), se realiza una Prueba t para dos muestras con varianzas desiguales, con un α = 5%, y se obtiene un valor de probabilidad p para el contraste de hipótesis de 1,81 x 10-5. Por tanto, puede rechazarse la hipótesis nula, y afirmar que ambos grupos de valores son estadísticamente distintos, siendo superiores los valores de campo en el grupo denominado fuentes de emisión, con un valor medio de campo en espacios públicos de 0,095 μT, frente a 1,303 μT en proximidad a fuentes de emisión de CM-FEB.

En cualquier caso, como ya se ha indicado, el ***valor medio de campo B resultante de la emisión de las fuentes, presenta los valores más elevados, y representa un porcentaje del 0,65% del valor límite los de 200 μT recomendado***.



El valor medio de campo B resultante de la emisión de las fuentes, presenta los valores más elevados, y representa un porcentaje del 0,65% del valor límite los de 200 µT recomendado



4.2.2. CÁLCULO DE PERCENTILES

Por definición, el percentil es una medida de posición usada en estadística que indica el valor de la variable por debajo del cual, una vez ordenados los datos de menor a mayor, se encuentra un porcentaje dado de observaciones en un conjunto de datos. Los percentiles más relevantes de ambos grupos -espacios públicos y fuentes de emisión-, con un total de 38 valores en cada uno, se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25. Percentiles obtenidos en los espacios públicos y en las fuentes de emisión.

Espacios públicos		Fuentes de emisión	
Percentil 50	0,07µT	Percentil 50	1,15 µT
Percentil 75	0,10 µT	Percentil 75	2,10 µT
Percentil 90	0,13 µT	Percentil 90	3,8 µT
Percentil 95	0,17 µT	Percentil 95	4,12 µT

Cabe destacar que el 95% de los valores registrados están por debajo de 0,17 µT, en espacios públicos y de 4,12 µT para fuentes de emisión; siendo 4,12 µT tan solo el 2% del valor límite recomendado de 200 µT.

4.2.3. VARIABILIDAD DE LOS DATOS REGISTRADOS

La variabilidad de los niveles de campos medidos se describe a partir de la desviación estándar σ calculada para ambos grupos, siendo para espacios públicos σ_{EP} = 0,043 y, para fuentes de emisión, σ_{FE} = 1,49. Por tanto, es evidente que hay una mayor dispersión de valores entre los registros de CM-FEB en el grupo de fuentes de emisión, estando mucho menos agrupados en torno a la media que los valores correspondientes al grupo espacios públicos.

En este sentido, un factor clave de esta mayor variabilidad de los valores de CM en proximidad a las fuentes de emisión es el descenso exponencial que se registra de su intensidad a medida que nos alejamos del foco, tal y como ocurre desde el centro de una LAT.

4.2.4. INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LAS MEDIAS

El *intervalo de confianza* (IC) para la media nos da un valor máximo y un valor mínimo entre los cuales se estima que se encuentra el valor de la media de una población con un determinado margen de error. El *intervalo confianza* calculado al 95%, para cada uno de los dos grupos de datos - espacios públicos y fuentes de emisión-, resulta ser IC_{EP} = [0,072 , 0,10] e IC_{FE} = [0,73 , 1,71], respectivamente. Como era de esperar, debido a la mayor dispersión de los datos recogidos en torno a las fuentes de emisión, el rango de valores para la media de este grupo es significativamente mayor.

No habría diferencias significativas entre los valores de campo medidos en espacios públicos y los valores de campo registrados en proximidad a fuentes de emisión





4.2.5. ANÁLISIS CENTRADO EN LOS FOCOS DE EMISIÓN

Al clasificar los datos en espacios públicos y fuentes de emisión, se consideraba que las fuentes de CM-FEB se encontraban siempre alejadas de los denominados espacios públicos. Considerando ahora que tres de las fuentes de emisión –centros de transformación, acometidas eléctricas de edificios y puntos de recarga de coches eléctricos– podemos encontrarlas en los espacios públicos, se han reagrupado los datos incluyendo en espacios públicos estos tres focos, eliminándolos de fuentes de emisión, para realizar nuevamente un estudio comparativo entre los dos nuevos grupos.

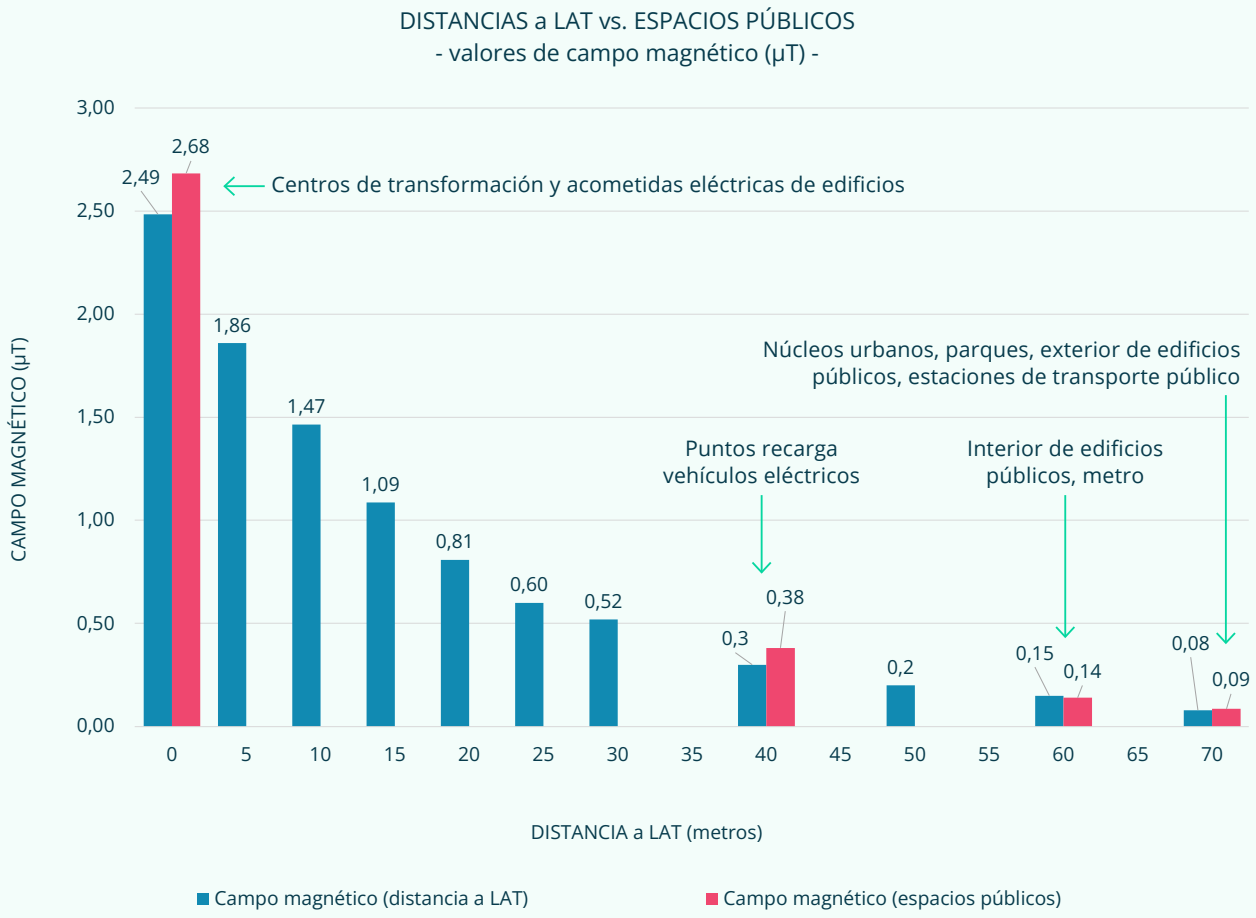
Considerando que ambos grupos de datos siguen una distribución *Normal*, se comprueba si las varianzas son iguales o no a través de una prueba *F de Snedecor*. Al obtener en la misma una p = 0,67, muy superior a 0,05, puede afirmarse que ambas varianzas son iguales. Se plantean nuevamente las dos hipótesis previas, siendo la hipótesis nula (H0) que ambos grupos de datos pueden considerarse similares y la hipótesis alternativa (H1), que ambos grupos de datos NO pueden considerarse similares.

Con n_{EP} = 48 valores en el grupo de espacios públicos -incluyendo centros de transformación, acometidas eléctricas de edificios y puntos de recarga coches eléctricos-, y n_{FE} = 28 valores en el grupo de fuentes de emisión -sin los citados 3 grupos-, la *Prueba t* para dos muestras con varianzas iguales (α = 5%) proporciona un valor de probabilidad p para el contraste de hipótesis de p = 0,06. Es decir, siendo p > 0,05 puede ***aceptarse la Hipótesis nula*** y afirmar que ***ambos grupos de valores son estadísticamente iguales***. Por tanto, en este caso, no habría diferencias significativas entre los valores de campo medidos en espacios públicos y los valores de campo registrados en proximidad a fuentes de emisión.

4.2.6. COMPARATIVA ENTRE VALORES EN PERFIL TRANSVERSAL (LAT) Y VALORES EN ESPACIOS PÚBLICOS

Para hacer un análisis comparativo entre los valores de campo magnético registrados en el entorno de LAT (400 kV) y los valores medidos en los denominados espacios públicos, se han representado los valores medios en la Figura 13. Como puede apreciarse, por un lado, el valor de campo medido en centros de transformación y acometidas eléctricas de edificios (2,68 µT) es del orden del medido justo debajo de las LAT de 400 kV (2,49 µT). Por otro lado, el valor en puntos recarga de vehículos eléctricos de 0,38 µT es equivalente al registrado a una distancia de 40 metros (0,30 µT) de la línea central de la LAT. Asimismo, tanto en el interior de edificios públicos como en el transporte en Metro se presentan valores de 0,14 µT, del orden de los medidos a una distancia de 60 metros de la LAT (0,15 µT). Por último, a 70 metros de las LAT se dan valores de 0,08 µT, similares a los registrados en espacios públicos habituales, con niveles de 0,09 µT (núcleos urbanos, parques, exteriores de edificios públicos, estaciones transporte público, entre otros).

Figura 13. Valores medios de CEM registrados en LAT y espacios públicos.



4.2.7. COMPARATIVA CON EL ESTUDIO FRANCÉS

Con el objetivo de determinar si las medidas registradas en el presente estudio coinciden o no con el citado estudio francés [17], a partir de las 7 LAT de 400 kV medidas en España, y tomando una muestra aleatoria de 20 LAT de 400 kV medidas en el estudio francés, se procedió a llevar a cabo un análisis de contraste de hipótesis, teniendo presente la diferencia del espacio muestral entre ambos grupos.



En primer lugar, se aplicó una *Prueba F de Snedecor* entre ambos grupos de datos, con el fin de determinar la igualdad de las varianzas, el valor de *p* obtenido ($p = 0{,}25 > 0{,}05$), indica que las varianzas de los dos grupos no son distintas, por lo que seguidamente se procedió a implementar una Prueba t para dos muestras con varianzas iguales ($\alpha = 5\%$), planteando como hipótesis nula (H0) que ambos grupos de datos, españoles y franceses, pueden considerarse similares, y como alternativa (H1) lo contrario. Obteniendo un valor de probabilidad para el contraste de hipótesis de $p = 0{,}26$, que es claramente superior a 0,05, no puede rechazarse la hipótesis nula planteada. Consecuentemente, se concluye que no hay diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos y que, por tanto, los niveles medios de CM-FEB registrados en España son similares a las obtenidos en Francia para LAT de 400 kV.

5. CONCLUSIONES

A partir de los datos de CM-FEB registrados en los distintos emplazamientos situados en Albacete, Cáceres y Madrid, con más de 85 registros llevados a cabo y más de 28 horas de medida en total, puede concluirse, en primer lugar, que todos los valores de campo magnético medidos están muy por debajo del límite de 200 μT recomendado por ICNIRP. Entre todas las muestras tomadas, el mayor valor registrado ha sido 11,69 μT (Centro Comercial, Albacete), tan solo un 5,8% de dicho valor límite. En segundo lugar, considerando los grupos estudiados de espacios públicos y fuentes de emisión, concluimos que el 95% de los valores ambientales de CM-FEB registrados en espacios públicos está por debajo de 0,17 μT, mientras que en proximidad a los focos el 95% de los niveles de emisión medidos son inferiores a 4,12 μT, lo que representa un 2% del valor límite recomendado.

Específicamente, en relación con los niveles de inmisión de CM-FEB en espacios públicos, el valor de la mediana de 0,068 μT es en torno a un 30% inferior al valor de la media de este mismo grupo. Siendo la mediana un valor mucho más robusto a los valores extremos que la media, podemos considerar que este valor de 0,068 μT refleja mucho mejor el nivel de campo magnético ambiental en espacio públicos. Además, comparando los registros de CM-FEB en calles de núcleos urbanos más densos con los realizados en calles de zonas residenciales -viviendas unifamiliares-, vemos que el valor medio de campo en zonas residenciales menos densas es del orden de un 25% inferior. Otro aspecto a destacar es la diferencia encontrada entre los niveles de campo en las inmediaciones de los edificios públicos y los niveles en su interior, siendo éstos aproximadamente un 26% superiores (0,096 μT vs. 0,129 μT). Este resultado posiblemente se deba, entre otras causas, a la importante contribución a los niveles de campo de instalaciones eléctricas en el interior de los inmuebles, especialmente de los hospitales. Por ello, sería recomendable considerar separadamente cada uno de los edificios en función de su dedicación para conseguir datos más objetivos.



5. CONCLUSIONES



En cuanto a las denominadas fuentes de emisión, por un lado, hay tres subgrupos que presentan los valores promedios de campo más altos: las líneas de alta tensión de 400 kV, con 2,14 µT, los centros de transformación, con 2,08 µT y las acometidas eléctricas de edificios, con un valor promedio de 3,28 µT. A partir de estos resultados, resulta relevante que los niveles de emisión más altos provengan de las acometidas eléctricas de edificios. Por otro lado, a través del estudio del perfil transversal de campo magnético en líneas de alta tensión se ha comprobado el significativo descenso de campo magnético con la distancia a la línea central de las mismas. Extrapolando los niveles registrados, se observa que los valores de campo magnético a 50 metros de distancia de las LAT son similares a los valores medidos en un entorno urbano habitual (espacios públicos), próximo a los 0,1 µT.

Comparando estadísticamente, mediante contraste de hipótesis, espacios públicos y fuentes de emisión o, lo que podríamos llamar, niveles de inmisión y niveles de emisión, se ha observado que el valor medio de CM registrado en espacios públicos (0,095 µT) es significativamente menor que el valor medio obtenido en las denominadas fuentes emisión (1,303 µT). No obs-

5. CONCLUSIONES

tante, si consideramos que algunas de estas fuentes de emisión pueden estar dentro de los espacios públicos, contribuyendo a los niveles de inmisión, se ha realizado también el análisis incluyendo centros de transformación, acometidas eléctricas de edificios y puntos de recarga coches eléctricos en el grupo de contribuciones a los niveles de exposición en espacios públicos. La conclusión, en este caso, es que no habría diferencias significativas entre los valores ambientales de CM-FEB en espacios públicos y en proximidad a focos de emisión.

Finalmente, la principal conclusión del análisis comparativo realizado con el trabajo francés de *Deshayes-Pinçon et al.* [17], en relación con la exposición a CM-FEB de LAT, es que los resultados obtenidos en ambos estudios son muy similares, a pesar del tamaño significativamente menor del espacio muestral del presente estudio. Debido a ello, entre otras posibles causas, se explica que los niveles de campo a distancias inferiores a 15 m de la LAT sean hasta un 25% superiores en este trabajo piloto, aunque una mayor carga en las líneas en el momento de la medida podría ser otra de las razones de las diferencias. Realizando un contraste de hipótesis con los datos registrados sobre los CM-FEB de LAT de 400 kV y algunos de los datos disponibles equivalentes del territorio francés, se deriva que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los resultados españoles y franceses, por lo que podría decirse que los niveles de emisión de CM-FEB en España y Francia son similares para LAT de 400 kV.

Los valores de campo magnético a 50 metros de distancia de las LAT son similares a los valores medidos en un entorno urbano habitual (espacios públicos), próximo a los 0,1 μT



6. FUTUROS TRABAJOS

Considerando los resultados y las principales conclusiones del presente estudio piloto, sería relevante incrementar, en la medida de lo posible, el tamaño de la muestra e incorporar registros de otras localizaciones dentro del territorio nacional. Así, se dispondría de datos suficientes para conocer la exposición de la población a niveles ambientales de CM-FEB en toda en la geografía española. Ante posibles nuevos abordajes de la evaluación ambiental de campos magnéticos, habrá de tenerse en cuenta la importante contribución de algunos focos de emisión, como las acometidas eléctricas de edificios y los centros de transformación, a los niveles de exposición CM-FEB de la población en espacios públicos.

Aunque este estudio se ha realizado mayoritariamente en ambientes exteriores, es necesario obtener más datos de exposición a CM-FEB en ambientes de interior, como en edificios y medios de transporte públicos, pero sobre todo en viviendas y domicilios particulares donde la población pasa la mayor parte del tiempo.

Es necesario obtener más datos de exposición a CM-FEB en ambientes de interior, como en edificios y medios de transporte públicos, pero sobre todo en viviendas y domicilios particulares donde la población pasa la mayor parte del tiempo



7. REFERENCIAS

1. Organización Mundial de la Salud. (2007). Campos electromagnéticos y salud pública. Exposición a campos de frecuencia extremadamente baja. Nota descriptiva N°322. Recuperado 23 de noviembre de 2023, de: https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/radiation-and-health/non-ionizing/exposure-to-extremely-low-frequency-field

2. Comité Científico para la Indentificación de Riesgos para la Salud Nuevos y Emergentes, SCENIHR. (2015). Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). Comisión Europea. Disponible en: https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_041.pdf

3. Campos-Sánchez E., Vicente-Dueñas C., Rodríguez-Hernández G., Capstick M., Kuster N., Dasenbrock C., Isidro Sánchez-García I., Cobaleda C. (2019). Novel ETV6-RUNX1 Mouse Model to Study the Role of ELF-MF in Childhood B-Acute Lymphoblastic Leukemia: a Pilot Study. Bioelectromagnetics40(5). doi: 10.1002/bem.22193

4. Consejo Científico sobre Campos electromagnéticos. (2014). 2014:16 Recent research on EMF and Health Risk. Ninth report from SSM´s Scientific Council on Electromagnetic Fields. Disponible en: https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/en/publications/reports/radiation-protection/2014/201416/

5. Consejo Científico sobre Campos electromagnéticos. (2016). 2016:15 Recent research on EMF and Health Risk. Eleventh report from SSM´s Scientific Council on Electromagnetic Fields. Disponible en: https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/en/publications/reports/radiation-protection/2016/201615/

6. Consejo Científico sobre Campos electromagnéticos. (2021). 2022:16 Recent research on EMF and Health Risk. Sixteenth report from SSM´s Scientific Council on Electromagnetic Fields. Disponible en: https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/e031f45648ed4b438a0535e350863707/2022-16-recent-research-on-emf-and-health-risk.pdf

7. Effets sanitaires liés à l'exposition aux champs électromagnétiques basses fréquences. (2019). Rapport d'expertise collective. Agence Nationale de Securtité Sanitaire, Alimentation, Environnement, Travail (Anses). Disponible en: https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2013SA0038Ra.pdf

8. Amoon, A., Swanson, J., Magnani, C., Johansen, C., Kheifets, L. (2022). Pooled analysis of recent studies of magnetic fields and childhood leukemia. Environmental research, 204. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34481821/

9. ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)(1998). Health Physics 74 (4):494-522. https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf

10. Recomendación del Consejo, de 12 de julio de 1999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz), 1999/519/CE. Disponible en: https://op.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/9509b04f-1df0-4221-bfa2-c7af77975556

7, REFERENCIAS

11. ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz) 2010. Health Physics 99(6). Disponible en: https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPLFgdl.pdf

12. Organización Mundial de la Salud (2002). Estableciendo un diálogo sobre los riesgos de los campos electromagnéticos. Disponible en inglés en: https://www.who.int/publications/i/item/9241545712

13. Comparison of international policies on electromagnetic fields (power frequency and radiofrequency fields). (2018). National Institute for Public Health and the Environment. The Netherlands. Disponible en: https://www.rivm.nl/en/comparison-of-international-policies-on-electromagnetic-fields-2018

14. Agencia Australiana de Seguridad Nuclear y Proteción Radiológica. Extremely low frequency electric and magnetic fields. Recuperado 21 de noviembre de 2023, de https://www.arpansa.gov.au/understanding-radiation/what-is-radiation/non-ionising-radiation/low-frequency-electric-magnetic-fields

15. National Grid. A guide to the debate on electric and magnetic fields and health. Recuperado 21 de noviembre de 2023, de http://www.emfs.info/

16. Consejo de Salud de Países Bajos. (2012). Childhood leukemia and environmental factors. Publication no.2012/33. ISBN: 978-90-5549-926-7. Disponible en: https://www.healthcouncil.nl/documents/advisory-reports/2012/12/06/childhood-leukaemia-and-environmental-factors

17. Deshayes-Pinçon, F., Morlais, F., Roth-Delgado, O., Merckel, O., Lacour, B., Launoy, G., Launay, L., Dejardin, O. (2023). Estimation of the general population and children under five years of age in France exposed to magnetic field from high or very high voltage power line using geographic information system and extrapolated field data. Environmental research, 232. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116425

18. España, Ministerio de la Presidencia.(2001). 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-A-2001- 234, 36217-36227. Disponible en: https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/09/28/1066

19. Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente 2022-2026, PESMA. Ministerio de Sanidad, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Disponible en: https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/medioAmbiente/PESMA.htm

20. ICNIRP. (2020). Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). Health Phys 118 (5):483-524. doi: 10.1097/HP.0000000000001210. PMID: 32167495.

21. González Recio, P., Echave Heras, N., Fernández Navarro, P., Talaván González, C., Fernández de Larrea Baz, N., Pérez-Gómez, B. (2023). Mortality due to leukemias, non-Hodgkin's lymphomas and Central Nervous System tumors in Spain. 2001-2020. Revista Española de Salud Pública, 97.

7, REFERENCIAS

22. Entidad Nacional de Acreditación. (2008). Guía sobre la participación en programas de intercomparaciones. (G-ENAC-14, rev.1).

23. International Electrotecnic Comission. (2009). Corrigendum 1 - Electric and magnetic field levels generated by AC power systems - Measurement procedures with regard to public exposure. (IEC 62110:2009/COR1:2015).

24. International Electrotecnic Comissión. (2014). Measurement of DC magnetic, AC magnetic and AC electric fields from 1 Hz to 100 kHz with regard to exposure of human beings - Part 2: Basic standard for measurements. (IEC 61786-2:2014).

25. Asociación Española de Normalización. (2004). Procedimientos normalizados para la medida de los campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial producidos por las líneas eléctricas de alta tensión. (UNE 215001:2004).

26. Karipidis, K., Tjong, L., Urban, D. (2014). Measurement of Extremly Low Frequency Electric and Magnetic Fields Asasociated with Electricity Supply and Distribution Infrastructure. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. (TRS 170)



8. ANEXOS

Fotografías de la toma de medidas

ALBACETE













8. ANEXOS

CÁCERES











COMUNIDAD DE MADRID










GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
DE SANIDAD