

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS Y MEDIDAS DE EXPOSICIÓN ELECTROMAGNÉTICA A SERVICIOS DE RADIOFRECUENCIA

Alumna: López, Pérez, Leyre

Directora: Arrinda, Sanzberro, Amaia

Codirectora: Fernández, Andrés, Marta

Curso: 2017-2018

Fecha: Bilbao, 24 de julio de 2018

RESUMEN TRILINGÜE

El objetivo final de este trabajo fin de grado, que se expone en este documento, trata sobre el análisis y medidas de exposición electromagnética. Por tanto, para este proyecto se realizará en primer lugar, un análisis cualitativo de algunos estudios sobre exposición humana a campos electromagnéticos a nivel mundial. Tras el análisis, se obtendrán los parámetros necesarios para el diseño de una base de datos que mantenga las medidas analizadas de manera unificada, con el objetivo de obtener conclusiones sobre la exposición a CEM a nivel global. Además, en este proyecto se realizará un caso práctico de medidas con el fin de aportar los resultados al conjunto de estudios, que cada vez son más numerosos debido a la creciente preocupación de la sociedad sobre la exposición a campos electromagnéticos.

Palabras clave: Campos electromagnéticos, Base de datos, Contaminación electromagnética, Exposición humana a campos electromagnéticos.

Dokumentu honetan aurkezten den gradu amaierako lanaren helburua, esposizio elektromagnetikoaren azterketa da. Horregatik, proiektu honetarako, mundu osoko eremu elektromagnetikoen giza esposizioari buruzko zenbait azterketa kualitatibo egin dira lehenik. Azterketaren ondoren, bat datozen neurriak modu bateratuan aztertutako neurriak mantentzen dituen datu-basea diseinatzeko beharrezko parametroak lortuko dira, EEMen esposizio buruzko ondorioak lortzeko mundu mailan. Horrez gain, proiektu honek ikerketa-multzoa lortzen lagunduko duten neurriak aztertuko ditu, gero eta ugariagoak direnak, EEMen gizartearen kezka gero eta handiagoa delako.

Gako-hitzak: Eremu elektromagnetikoak, Datu-basea, Kutsadura elektromagnetikoa, Eremu elektromagnetikoen giza esposizioa.

The ultimate goal of the work that is presented in this document is about the analysis of electromagnetic exposure. Therefore, for this project, first a qualitative analysis of several studies on human exposure to electromagnetic fields worldwide will be carried out. After the analysis, the parameters needed for the design of a database that maintains the analyzed measurements in a unified way will be established, with the aim of obtaining conclusions on EMF exposure at a global level. In addition, in this Project a measurement campaign will be performed with the aim of contributing to the set of studies, which are becoming more numerous due to the growing public concern about EMF.

Key words: Electromagnetic fields, Database, Electromagnetic pollution, human exposure to electromagnetic field.

ÍNDICE

ÍNDICE	I
LISTA DE TABLAS.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	VII
DEFINICIONES	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. CONTEXTO	2
3. OBJETIVOS Y ALCANCE.....	3
3.1 Objetivos.....	3
3.2 Alcance.....	4
4. BENEFICIOS DEL PROYECTO	5
4.1 Beneficios técnicos.....	5
4.2 Beneficios sociales	5
5. ESTADO DEL ARTE	6
5.1 Red de monitorización y mapa radioeléctrico en Bilbao	6
5.2 Estudios de exposición humana a campos electromagnéticos	11
5.2.1 ESTUDIO 1: Review on Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Field.....	11
5.2.2 ESTUDIO 2: In-Situ experimental evaluation of LTE downlink signal levels in vicinity of base transceiver stations in urban área	13
5.2.3 ESTUDIO 3: Assessing electromagnetic radiation in our environment	15
5.2.4 ESTUDIO 4: Temporal 24 hour assesment of radiofrequency exposure in schools and homes.....	18
5.2.5 ESTUDIO 5: Spatial and Temporal RF Electromagnetic Field Exposure of Children and Adults in Indoor Micro Environments in Blegium and Greece	20
5.2.6 ESTUDIO 6: Extensive Frequency Selective Measurements of Radiofrequency Fields in Outdoor Environments Performed with a Novel Mobile Monitoring System	
5.3 Resumen sobre los estudios analizados	23

6.	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	27
6.1	Criterios de selección para los equipos de medidas	27
6.2	Criterios de selección para la base de datos	30
7.	ANÁLISIS DE RIESGOS	31
7.1	Riesgos	31
7.2	Medidas de contingencia	32
8.	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	33
8.1	Ubicación del emplazamiento bajo estudio	33
8.2	Estudio previo del entorno	34
8.3	Medidas previas.....	36
8.4	Campaña de medidas	39
8.5	Propuesta de diseño de la base de datos	45
9.	DESCRIPCIÓN DE TAREAS	47
9.1	Paquetes de trabajo	47
10.	DESCARGO DE GASTOS.....	49
10.1	Equipo de trabajo.....	49
10.2	Material amortizable	49
10.3	Resumen económico	50
11.	CONCLUSIONES	51
	BIBLIOGRAFÍA	52
	ANEXO I: NORMATIVA APLICABLE	55
	ICNIRP	55
	Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre – Normativa Española	60
	ANEXO II: CONSULTAS A LA BASE DE DATOS	61
	ANEXO III: RESULTADOS DE LAS MEDIDAS REALIZADAS SOBRE EL SERVICIO WiFi	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Lista de bandas de frecuencias de radio.	XI
Tabla 2. Fuentes de radiación no ionizante.	XII
Tabla 3. Valores de campo eléctrico medidos en diferentes zonas de Bilbao.	7
Tabla 4. Estaciones de telefonía móvil y bandas de frecuencia asignadas.	10
Tabla 5. Valores medidos de campo eléctrico en los puntos representados en la Figura 6.	12
Tabla 6. Valores de campo máximo medidos.	15
Tabla 7. Valores de campo eléctrico promediados en periodos de 6 minutos obtenidos en el exterior.	17
Tabla 8. Valores de campo eléctrico pico y promedio en las ubicaciones de la Figura 14.	17
Tabla 9. Valores de campo eléctrico máximo obtenidos.	19
Tabla 10. Valores de campo eléctrico obtenidos en Bélgica.	21
Tabla 11. Valores de campo eléctrico obtenidos en Grecia.	21
Tabla 12. Valores medios de densidad de potencia medidos.	22
Tabla 13. Características relevantes de los estudios especificados anteriormente.	24
Tabla 14. Ponderación de los equipos de medida según los criterios de selección.	29
Tabla 15. Características de diferentes sistemas gestores de bases de datos.	30
Tabla 16. Matriz probabilidad impacto.	32
Tabla 17. Distancias desde las estaciones base de telefonía cercanas al laboratorio de TSR.	35
Tabla 18. Características técnicas de BTS1.	35
Tabla 19. Características técnicas de BTS2.	35
Tabla 20. Características técnicas de BTS3.	35
Tabla 21. Características técnicas de BTS4.	36
Tabla 22. Resultados de campo eléctrico con el exposímetro EME SPY 200 promediados por 6 minutos.	37
Tabla 23. Resultados de campo eléctrico con el exposímetro EME SPY 200 sin promediar por 6 minutos.	38
Tabla 24. Configuración del analizador de espectros.	41
Tabla 25. Comparativa valores medidos promediados por 6 minutos en P4 con dos equipos de medida distintos.	43
Tabla 26. Valores de interés sobre los niveles de campo eléctrico medidos.	44
Tabla 27. Paquetes de trabajo y tareas.	47
Tabla 28. Costes en equipo de trabajo.	49
Tabla 29. Costes de material amortizable.	50
Tabla 30. Resumen económico.	50

Tabla 31. Cantidades físicas que especifican las restricciones básicas.	56
Tabla 32. Cantidades físicas que representan los niveles de referencia.	57
Tabla 33. RESTRICCIONES BÁSICAS para densidades de corriente, SAR de cuerpo promedio y SAR localizado para frecuencias entre 1Hz y 10 GHz para EXPOSICIÓN OCUPACIONAL.	57
Tabla 34. RESTRICCIONES BÁSICAS para densidades de corriente, SAR de cuerpo promedio y SAR localizado para frecuencias entre 1Hz y 10 GHz para el PÚBLICO EN GENERAL.	58
Tabla 35. RESTRICCIONES BÁSICAS para densidad de potencia para frecuencias entre 10 y 300 GHz.	58
Tabla 36. NIVELES DE REFERENCIA para EXPOSICIÓN OCUPACIONAL a campos eléctricos y magnéticos (valores rms).	59
Tabla 37. NIVELES DE REFERENCIA para EXPOSICIÓN del público en general a campos eléctricos y magnéticos (valores rms).	59
Tabla 38. Resultados de las medidas, 11 de julio.	65
Tabla 39. Resultados de las medidas, 12 de julio.	66
Tabla 40. Resultados de las medidas, 13 de julio.	66
Tabla 41. Resultados de las medidas, 16 de julio.	67
Tabla 42. Resultados de las medidas, 17 de julio.	68
Tabla 43. Resultados de las medidas, 18 de julio.	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espectro electromagnético [1].	X
Figura 2. Ubicación de los dispositivos de monitorización de CEM en Bilbao [4].	7
Figura 3. Dispositivo de medida de WAVECONTROL [5].	8
Figura 4. Gráfica de medidas GSM y UMTS en el Colegio IES Karmelo de Bilbao [4].	9
Figura 5. Estaciones de telefonía móvil en las inmediaciones del Colegio IES Karmelo [7].	9
Figura 6. Ejemplo de exposición a múltiples frecuencias [9].	12
Figura 7. Esquema de la vivienda bajo estudio [9].	13
Figura 8. Mapa de Prístina con puntos destacados donde se realizaron las mediciones [10].	14
Figura 9. Analizador de espectros SRM-3006 NARDA [11].	15
Figura 10. Medidor de campo Electrosmog ES 92 [13].	16
Figura 11. Ubicaciones de los puntos de medida en el exterior [12].	18
Figura 12. Sonda triaxial TS-EMF y analizador de espectros [15].	19
Figura 13. Exposímetro EME SPY 121 [17].	20
Figura 14. Exposímetro EME SPY 140 [18].	20
Figura 15. Medidor y sonda de Narda [20].	27
Figura 16. Exposímetro EME SPY 200 [21].	27
Figura 17. Antena omnidireccional y analizador de espectros [22].	28
Figura 18. Ubicación del emplazamiento bajo estudio [24].	33
Figura 19. Estaciones base de telefonía cercanas a la Universidad de Ingenieros de Bilbao [7].	34
Figura 20. Ubicación de los 4 puntos de medida (P1, P2, P3 y P4) sobre el plano en planta de TSR.	40
Figura 21. Equipamiento utilizado para las medidas.	41
Figura 22. Valores de campo eléctrico medido el 10 de julio.	43
Figura 23. Resumen de valores máximos y mínimos medidos.	44
Figura 24. Porcentaje de los valores máximos medidos con respecto a la normativa. .	44
Figura 25. Relaciones entre las tablas.	46
Figura 26. Diagrama de Gantt.	48
Figura 27. Resumen de los valores de NIVELES DE REFERENCIA para exposición ocupacional y de público en general.	60
Figura 28. Resultado de la CONSULTA 1.	61
Figura 29. Resultado de la CONSULTA 2.	62
Figura 30. Resultado de la CONSULTA 3.	62
Figura 31. Resultado de la CONSULTA 4.	63
Figura 32. Resultado de la CONSULTA 5.	64

Figura 33. Valores de campo eléctrico medido, 11 de julio.	65
Figura 34. Valores de campo eléctrico medido, 12 de julio	65
Figura 35. Valores de campo eléctrico medido, 13 de julio.	66
Figura 36. Valores de campo eléctrico medido, 16 de julio.	67
Figura 37. Valores de campo eléctrico medido, 17 de julio.	67
Figura 38. Valores de campo eléctrico medido, 18 de julio.	68

LISTA DE ACRÓNIMOS

BTS	Base Transceiver Station
CEM	Campo Electromagnético
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DL	Downlink
DVB-T	Digital Video Broadcasting-Terrestrial
EEM	Eremu Elektromagnetikoa
ELF	Extremely Low Frequency
EMF	Electromagnetic Field
FM	Frecuencia Modulada
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
HF	High Frequency
HSPA	High Speed Packet Access
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IRPA	Asociación Internacional de Protección contra las Radiaciones
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LF	Low Frequency
LOS	Line Of Sight
LTE	Long Term Evolution
NLOS	Non Line Of Sight
OIT	Organización Internacional del Trabajo
OMS	Organización Mundial de la Salud
PIRE	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
PMR	Personal Mobile Radio
POI	Point Of Interest
RBW	Resolution Bandwidth

RF	Radio Frequency
SAR	Specific Absorption Rate
SGBD	Sistema Gestor de Base de Datos
SQL	Structured Query Language
SWT	Sweep Time
T-DAB	Terrestrial-Digital Audio Broadcasting
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
TSR	Tratamiento de la Señal y Radiocomunicaciones
UE	Unión Europea
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UPV/EHU	Universidad Pública Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea
VBW	Video Bandwidth
VPN	Virtual Private Network
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network

DEFINICIONES

- **Campo eléctrico**

Se produce por la presencia de cargas eléctricas. Tiene su origen en la diferencia de voltaje, o tensión, cuanto más alto sea el voltaje, más fuerte será el campo resultante. La intensidad del campo eléctrico (E) se mide en Voltio/metro (V/m). Existe un campo eléctrico, aunque no haya corriente.

- **Campo magnético**

Tiene origen en las corrientes eléctricas y se produce cuando las cargas eléctricas están en movimiento. La intensidad del campo magnético (H) se mide en Amperio/metro (A/m). En las investigaciones sobre los campos electromagnéticos, se utiliza una magnitud relacionada; Densidad de flujo magnético (B) que se mide en teslas (T).

- **Campo electromagnético**

Son áreas de energía que rodean a los dispositivos eléctricos y se originan por el movimiento de cargas eléctricas. Son una combinación de ondas eléctricas y magnéticas que se desplazan simultáneamente y se propagan a la velocidad de la luz a través del espacio, es decir, no necesitan de un medio material para propagarse. Las principales magnitudes que caracterizan a un campo electromagnético (CEM) es su frecuencia y la longitud de onda.

Los campos magnéticos y eléctricos de una onda electromagnética son perpendiculares entre sí y a la dirección de la onda.

Los parámetros que caracterizan a una onda son los siguientes:

- **Periodo (T):** Es el tiempo que tarda la onda en ir de un punto de máxima amplitud al siguiente. Se mide en segundos (s).
- **Amplitud (A):** Es la distancia en vertical entre una cresta y el punto medio de la onda. La amplitud puede ser variable con el paso del tiempo. En una onda electromagnética la amplitud está relacionada con la raíz cuadrada de la intensidad radiante y resulta estar relacionada con el campo eléctrico, luego su unidad de medida es en voltios por metro (V/m).

- **Frecuencia (f):** Es el número de veces que es repetida dicha vibración por unidad de tiempo. Se mide en hercios (Hz).

$$f = \frac{1}{T}$$

- **Longitud de onda (λ):** Es la distancia que hay entre el mismo punto de dos ondulaciones consecutivas, o la distancia entre dos crestas consecutivas. Se mide en metros (m).
- **Velocidad de propagación (v):** Es la velocidad a la que se propaga el movimiento ondulatorio. Su valor es el cociente de la longitud de onda y su periodo. Se mide en metros/ segundo (m/s).

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

- **Espectro electromagnético**

Es la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. En lo relacionado a un objeto, se denomina espectro electromagnético a la radiación electromagnética que emite o absorbe una sustancia. El espectro comprende desde la radiación de energía baja y frecuencia baja que se desplaza en ondas largas (como las ondas de radio y las microondas) hasta la radiación de energía alta y frecuencia alta que se desplaza en ondas cortas (como los rayos X y los rayos gamma).

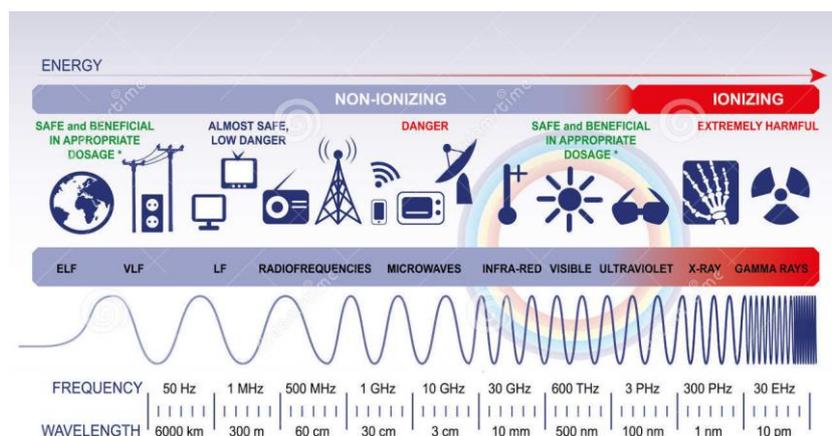


Figura 1. Espectro electromagnético [1].

- **Bandas de frecuencia**

Son intervalos de frecuencias del espectro electromagnético asignados a diferentes usos dentro de las radiocomunicaciones. Su uso está regulado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y puede variar según el lugar.

Lista de bandas de radio UIT:

Tabla 1. Lista de bandas de frecuencias de radio.

Número de banda	Símbolo	Rango de frecuencias	Rango de longitud de onda
4	VLF	3 a 30 kHz	10 a 100 km
5	LF	30 a 300 kHz	1 a 10 km
6	MF	300 a 3000 kHz	100 a 1000 m
7	HF	3 a 30 MHz	10 a 100 m
8	VHF	30 a 300 MHz	1 a 10 m
9	UHF	300 a 3000 MHz	10 a 100 cm
10	SHF	3 a 30 GHz	1 a 10 cm
11	EHF	30 a 300 GHz	1 a 10 mm
12	THF	300 a 3000 GHz	0.1 a 1 mm

- **Radiación**

Es la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio o de algún material, o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material. En este estudio se va a tratar la radiación electromagnética, es decir, la radiación propagada en forma de ondas electromagnéticas.

Como cualquier otro fenómeno ondulatorio, la radiación electromagnética se caracteriza por su frecuencia y por su longitud de onda. Según la energía que transporta la onda, la radiación electromagnética se clasifica en dos grandes grupos: radiaciones ionizantes y no ionizantes.

Las **radiaciones ionizantes** son aquellas que al interactuar con un medio material provocan directa o indirectamente ionización, alteración e incluso rotura de las moléculas, originando cambios en sus propiedades químicas. Son las ondas electromagnéticas más energéticas. En el espectro, van desde las partes más altas de la radiación ultravioleta hasta la radiación gamma.

Las **radiaciones no ionizantes** ocupan la parte del espectro electromagnético que va desde las frecuencias extremadamente bajas hasta la radiación ultravioleta (de 0 Hz

hasta 30.000 THz). Son de baja energía, es decir, no son capaces de ionizar la materia con la que interaccionan.

Dentro del grupo de las radiaciones no ionizantes, se distinguen dos subgrupos:

- Los campos electromagnéticos de 0 Hz hasta 300 GHz. (ELF, RF, Microondas, Infrarrojos).
- Las radiaciones ópticas de 300 GHz a 30.000 THz. (Visibles, Ultravioletas).

Tabla 2. Fuentes de radiación no ionizante.

Principales fuentes de radiación no ionizante	
Tipo de onda	Fuentes
ELF	Líneas de alto voltaje, tratamiento térmico de metales.
LF	Radiocomunicación, tratamiento térmico de metales.
RF	Radiocomunicación, televisión, radar, alarmas, sensores, fisioterapia, soldadura eléctrica.
Microondas	Telecomunicación, transmisores, radar, fisioterapia.
Ultrasonidos	Soldadura de plástico, limpieza de piezas, aceleración de procesos.
Radiación infrarroja	Cuerpos incandescentes y muy calientes
Radiación visible	Lámparas incandescentes de alta intensidad, arco de soldadura, tubos de neón, fluorescentes, antorchas de plasma.
Radiación ultravioleta	Lámparas: germicidas, de luz negra, de fototerapia.
Láser	Aparatos de generación de rayos láser.

- **Tasa de absorción específica (SAR)**

El SAR es la tasa en la cual la energía se absorbe en tejidos del cuerpo, en vatios por kilogramo (W/kg). El SAR es una medida dosimétrica y en función de la frecuencia, la dosimetría se mide con diferentes cantidades dosimétricas.

El SAR queda definido en el rango de frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, por lo que se encuentra en la zona del espectro de radiación no ionizante, las emisiones no alteran la composición molecular del cuerpo, sino que la energía absorbida por los tejidos se transforma en energía térmica del siguiente modo:

$$SAR = C_i \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

Donde:

C_i es la capacidad de calentamiento del tejido del cuerpo en (J/kg °K)

ΔT es el incremento de temperatura (°K)

Δt es el incremento de tiempo (s)

Por lo tanto, el SAR es el coeficiente o medida de la cantidad de energía de RF que es absorbida por los tejidos en el cuerpo humano al utilizar un equipo que emita radiofrecuencias, por ejemplo, un teléfono. Se mide en vatios por kilogramo (W/kg), es decir, cantidad de energía que absorbe el cuerpo humano por cada kilogramo de masa corporal.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de este documento se presenta la memoria de un trabajo fin de grado, el cual, consiste principalmente en el análisis de varios estudios de exposición electromagnética a nivel global, en la realización de una campaña de medidas y en la creación de una base de datos para la unificación de los resultados.

En primer lugar, se lleva a cabo un análisis de 8 estudios realizados por distintos autores en diferentes lugares como Brasil, Kosovo, Corea del Sur, Bélgica, Grecia, Suecia y Bilbao. En dicho análisis se detallan los datos más relevantes de los estudios, así como los valores obtenidos de campo eléctrico o densidad de potencia y se comparan con la normativa aplicable en cada servicio.

Una vez analizados los distintos estudios, se lleva a cabo una campaña de medidas. En primer lugar, se realizan unas medidas iniciales con un exposímetro para medir señales de 20 servicios distintos. En segundo lugar, dado que en el grupo de investigación de Tratamiento de la Señal y Radiocomunicaciones (TSR) de la Universidad Pública Vasca/ Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU) se está llevando a cabo un estudio sobre la exposición electromagnética a señales WiFi, se realizan unas medidas durante 1 semana sobre dicho servicio en la banda de frecuencias de 2,4 GHz con una antena omnidireccional y un analizador de espectros.

Tras el análisis y las medidas, el proyecto continúa con la determinación de los parámetros más relevantes, el diseño y la población de la base de datos realizada con el gestor de base de datos Access que contiene de manera unificada las distintas medidas obtenidas en los dos anteriores apartados comentados. En este punto se proponen algunas consultas de interés.

Por último, se detalla la planificación temporal de las diferentes tareas llevadas a cabo en el proyecto y un resumen económico del mismo.

2. CONTEXTO

La exposición a campos electromagnéticos, no es un fenómeno nuevo; sin embargo, en el siglo XX la exposición ambiental ha aumentado de forma continua conforme la creciente demanda de electricidad, el constante avance de las tecnologías y los cambios en los hábitos sociales han generado un mayor número de fuentes artificiales de CEM.

El extensivo uso de los servicios de radiocomunicaciones en los últimos años ha generado alarma entre cierta parte de la población. De ahí que se hayan realizado numerosas medidas en diferentes escenarios y diferentes zonas del mundo con el objeto de caracterizar el nivel de exposición humana existente. Sin embargo, siendo muy diversos los equipos empleados para las medidas, así como la configuración empleada en ellos, las medidas son difícilmente comparables para poder extraer conclusiones a nivel global. Muchas medidas han sido publicadas en revistas científicas que están al alcance de los investigadores, pero los resultados requieren de un análisis o pre procesado para poder unificarlas o compararlas adecuadamente.

En este aspecto, cabe destacar el Proyecto Internacional CEM [2] que está llevando a cabo la Organización Mundial de la Salud (OMS). El objetivo principal de dicho proyecto es iniciar y coordinar investigaciones en todo el mundo destinadas a obtener una respuesta bien fundamentada a las preocupaciones de la sociedad. En el proyecto participan diversos países y entidades de la región africana, la europea, la mediterránea oriental, la del pacífico oriental, la del sudeste asiático y la de américa. Dentro del proyecto se ha llevado a cabo la creación de una base de datos de investigaciones sobre CEM [3]. La base de datos sólo incluye estudios relativos a efectos biológicos y sobre la salud de las personas. Para campos de radiofrecuencia (RF), sólo se han incluido estudios que utilizan exposiciones no térmicas.

3. OBJETIVOS Y ALCANCE

En este apartado se resumen los objetivos y el alcance de este trabajo. En este estudio se pueden distinguir dos partes, por un lado, el diseño de la base de datos y por otro, la campaña de medidas, cuyos resultados se incluirán en la base de datos.

3.1 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es diseñar una plataforma que permita analizar y comparar de manera sencilla y clara tanto los datos de las medidas realizadas en este proyecto como los obtenidos en el análisis bibliográfico de otros autores, incluyendo la comparativa con los límites establecidos. La inclusión en dicha plataforma de valores de otros autores o campañas de medidas será intuitiva permitiendo ampliar los datos disponibles de manera que sea una base de datos global.

En particular se destacan los siguientes objetivos parciales:

1. Búsqueda bibliográfica de estudios referentes a la exposición a campos electromagnéticos de servicios de RF.
2. Análisis en profundidad de los estudios con el fin de obtener los parámetros necesarios para analizar y comparar los datos obtenidos en diferentes campañas de medidas.
3. Diseño de una base de datos con los parámetros adecuados para la unificación de las medidas y así poder obtener conclusiones globales.
4. Realización de una campaña de medidas para evaluar la exposición a campos electromagnéticos. Los resultados de estas medidas se incluirán en la base de datos y supondrán una aportación al análisis de la exposición electromagnética.

3.2 Alcance

El alcance de este proyecto es obtener una base de datos que permita disponer tanto de los datos de las medidas realizadas en este proyecto como de los obtenidos de la búsqueda bibliográfica de otros autores de manera **unificada**. De esta manera, la base de datos va a permitir obtener los resultados de interés filtrando por frecuencia, por lugar de realización, autores, el equipamiento utilizado o incluso el porcentaje del nivel de exposición medido sobre el valor de referencia límite establecido en la normativa entre otros.

4. BENEFICIOS DEL PROYECTO

En este apartado se tratarán los beneficios que aporta este proyecto. Estos beneficios se clasifican entre beneficios técnicos y sociales.

4.1 Beneficios técnicos

Tras la realización del proyecto, se va a disponer de una plataforma que permita analizar y comparar de manera sencilla y clara tanto los datos de las medidas realizadas en este proyecto como los obtenidos en el análisis bibliográfico de otros autores.

De esta manera, el acceso a los estudios y la obtención de conclusiones se puede llevar a cabo de una forma más rápida y fácil. Se dispondrá de los parámetros de interés para caracterizar los estudios de exposición electromagnética, que podrán ser utilizados en otras aplicaciones. Además, los valores de niveles de exposición electromagnética obtenidos en la campaña de medidas realizada en este proyecto, contribuyen a la caracterización de este tipo de emisiones, lo cual es relevante para poder tener en cuenta las emisiones radioeléctricas en el diseño y despliegue de redes.

Por otro lado, en el caso de que en un futuro la normativa aplicable fuera diferente, pasando a tener restricciones básicas y niveles de referencia más estrictos, la validación de los emplazamientos sería más sencillo, minimizando así las labores de comprobación.

4.2 Beneficios sociales

La sociedad en general tendría acceso a dichos datos unificados y así obtendrían respuestas a sus preocupaciones sobre la exposición a los CEM.

En el caso de los investigadores, una plataforma con los datos unificados junto con la normativa aplicable actualizada, les proveería de facilidad de búsqueda de datos de otras investigaciones que puedan complementar la que actualmente estén llevando a cabo y así obtener una respuesta mejor fundamentada.

5. ESTADO DEL ARTE

Como ya se ha mencionado en el Contexto, se han realizado abundantes estudios sobre la exposición a las radiaciones sobre los campos electromagnéticos, para dar respuesta a la creciente preocupación de la sociedad. En todos los estudios se comprueba que los valores de las medidas realizadas en el emplazamiento bajo estudio, sean inferiores a los límites recomendados en las directrices sobre CEM de la Comisión Internacional de Protección contra Radiaciones no ionizantes (ICNIRP), como se especifica en el ANEXO I de Normativa en este documento.

En relación a los estudios, cabe destacar el proyecto del Ayuntamiento de Bilbao dentro del área municipal de Movilidad y Sostenibilidad referente al electromagnetismo en la plataforma GeoBilbao. Disponen de una **red de monitorización de radiofrecuencias** y **un mapa de medidas de ambiente radioeléctrico**.

En este apartado se va a analizar, por un lado, algunos de los estudios relacionados con la exposición humana a los campos electromagnéticos y, por otro lado, los proyectos del Ayuntamiento de Bilbao mencionados.

5.1 Red de monitorización y mapa radioeléctrico en Bilbao

La **red de monitorización de frecuencias [4]** se está llevando a cabo en los siguientes 8 emplazamientos:

- Azkuna Zentroa – Fernández del Campo Kalea
- Colegio IES Karmelo – Solokoetxe
- Colegio público Deusto – Kalea Blas de Otero
- Irala – Ugalde Kalea
- San Agustin – San Agustin Estrata
- Txurdinaga – Etorbidea Gaiarre Julian
- Zankoeta – Egia Jeneralaren Kalea
- Zorroza – Kalea Fray Juan.

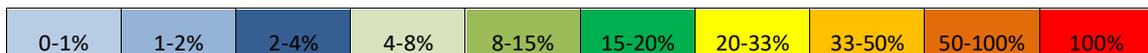


Figura 2. Ubicación de los dispositivos de monitorización de CEM en Bilbao [4].

La escala de colores de la Figura 2 representa el tanto por ciento de los valores de campo eléctrico medidos en tiempo real con respecto a la norma aplicable.

A continuación, en la Tabla 3 se recogen los valores máximos, mínimos y el valor medio de campo eléctrico medido en el periodo comprendido del 25 de mayo al 31 de mayo de 2018.

Tabla 3. Valores de campo eléctrico medidos en diferentes zonas de Bilbao.

Emplazamiento	$E_{\text{máx}}$ (V/m)	$E_{\text{mín}}$ (V/m)	E_{medio} (V/m)	Servicios
Azkuna Zentroa	2,25	1,14	1,69	GSM y UMTS
Colegio IES Karmelo	2,52	1,47	1,85	GSM y UMTS
Colegio público Deusto	1,12	0,43	0,72	GSM y UMTS
Irala	0,99	0,69	0,84	GSM y UMTS
San Agustín	1,51	0,5	0,67	GSM y UMTS
Txurdinaga	2,1	0,98	1,33	GSM y UMTS
Zankoeta	0,52	0,26	0,37	GSM y UMTS
Zorroza	0,9	0,51	0,71	GSM y UMTS

Los valores medidos se corresponden con los servicios de GSM y UMTS y son medidos con el siguiente dispositivo MoniEM de WAVECONTROL [5].



Figura 3. Dispositivo de medida de WAVECONTROL [5].

Se trata de un sistema de monitoreo permanente que permite medir los niveles de emisión de cualquier fuente de radiación electromagnética mediante un sensor isotrópico RMS con 3 ejes. La sonda es intercambiable de 10 Hz a 40 GHz. Lleva a cabo un muestreo en frecuencia de 500 ms en un tiempo promedio de 6 minutos (como se indica en la normativa). Dispone de la comunicación inalámbrica GPRS y alarmas programables en situaciones de batería baja o nivel de campo superior a la norma entre otros.

Como se puede ver en la Figura 2, según la escala de colores, los valores obtenidos se corresponden entre el 1% y 8% del valor de referencia establecido por la normativa. Es decir, todos los emplazamientos se encuentran muy por debajo de la norma, pero cabe destacar, que el sitio con mayor campo eléctrico medido es en el colegio de IES Karmelo en Solokoetxe.

En este caso, el valor de referencia de la norma para los servicios medidos es [6]:

$$1,375 * (800)^{0,5} = 38,89 \text{ V/m}$$

Como se muestra en la Figura 4, los valores de campo eléctrico máximo se dan entre las 10 de la mañana hasta el mediodía y desde la media tarde hasta las 11 de la noche. De lo contrario, desde las 12 de la noche hasta las 7 de la mañana se dan los valores mínimos.

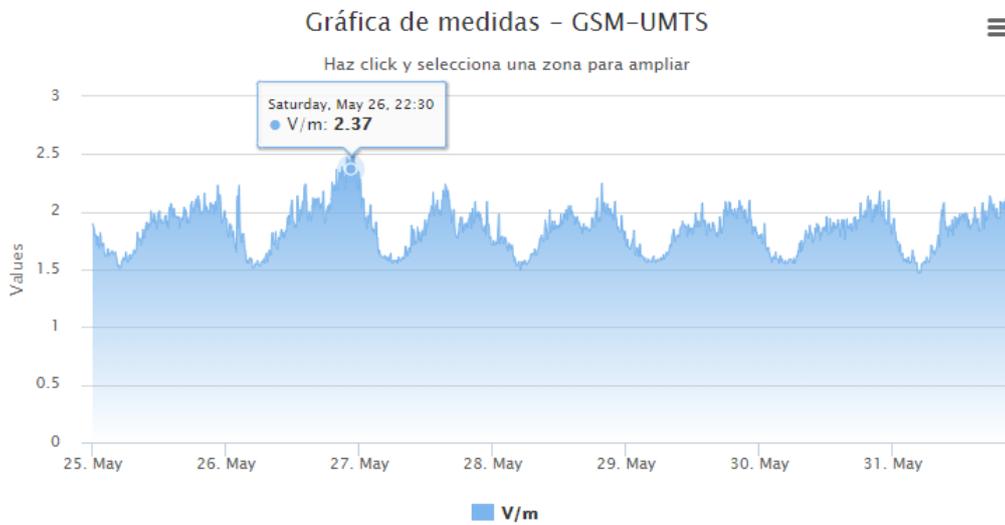


Figura 4. Gráfica de medidas GSM y UMTS en el Colegio IES Karmelo de Bilbao [4].

Una de las razones por las que el Colegio IES Karmelo sea el emplazamiento con mayor nivel de campo eléctrico, aunque esté muy por debajo de la norma, puede ser debido a la proximidad de 4 estaciones de telefonía móvil, correspondientes a VODAFONE ESPAÑA, TELEFÓNICA MÓVILES ESPAÑA y ORANGE ESPAGNE, que se encuentran a apenas 73 metros del Colegio.

En la Figura 5 se muestra un mapa de la zona del Colegio, disponible en el portal de Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital del Gobierno de España [7].



Figura 5. Estaciones de telefonía móvil en las inmediaciones del Colegio IES Karmelo [7].

Tabla 4. Estaciones de telefonía móvil y bandas de frecuencia asignadas.

Operador	Bandas asignadas (MHz)
VODAFONE ESPAÑA	1905 – 1910; 2140 – 2155
	949,9 – 959
TELEFONICA MÓVILES ESPAÑA	1910 – 1915; 2155 – 2170
	935,1 – 949,9
	939,7 – 944,7
	852 – 862
ORANGE ESPAGNE	1900 – 1905; 2125 – 2140
	925,1 – 935,1
	1859,9 – 1879,9

En cuanto a las **medidas de exposición electromagnética ambiental**, el Ayuntamiento de Bilbao, presentó en 2011 un mapa con los registros de las emisiones radioeléctricas de telefonía móvil, radio y televisión [8]. Fue un proyecto pionero con la colaboración de un equipo de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la UPV/EHU durante dos años.

En él se han realizado mediciones de emisiones radioeléctricas en 1.325 puntos, de los que el 90% de valores de la intensidad del campo eléctrico están muy por debajo de los mínimos recomendados. En 1.190 de las localizaciones fueron inferior a 3 V/m, es decir, apenas un 10,71% del valor de referencia establecido en la Normativa, que es 28 V/m.

Por el contrario, los niveles más elevados se detectaron en las inmediaciones de las estaciones emisoras de radio de FM y de televisión, emplazadas en Artxanda, Banderas y Ganeta. Al acercarse a la base de las antenas de las estaciones emisoras se captó un aumento de la radiación emitida hasta los 10 V/m, valor que no sobrepasa la normativa.

5.2 Estudios de exposición humana a campos electromagnéticos

En este apartado se van a tratar 6 estudios de exposición humana a campos electromagnéticos seleccionados tras una búsqueda bibliográfica en la literatura científica.

Se han elegido estos estudios por la diversidad de servicios sobre los que se hacen las medidas, así como los diferentes entornos en los que se llevan a cabo y los diferentes equipos utilizados.

5.2.1 ESTUDIO 1: Review on Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Field

Este trabajo llevado a cabo en Brasil por Linhares et al. [9] presenta una breve reseña sobre la exposición humana a CEM, haciendo hincapié en la caracterización del entorno electromagnético teniendo en cuenta las estaciones de radiocomunicaciones, así como en los posibles efectos sobre la salud y en los límites de protección.

En el documento se tienen en cuenta unas consideraciones previas, donde se diferencia la exposición humana a los campos electromagnéticos en alta frecuencia (HF) y en baja frecuencia (LF). Esta separación se asocia con la interacción de los campos electromagnéticos con el cuerpo humano y las unidades dosimétricas aplicables. Las señales LF son señales oscilantes hasta 100 kHz, donde las unidades dosimétricas están relacionadas con la corriente eléctrica inducida en el cuerpo. Para las señales HF, la medida dosimétrica principal que se adopta es la Tasa de Absorción Específica, conocida como SAR, especificada en detalle en el apartado de Definiciones de este documento.

En el estudio se presentan ejemplos de escenarios de evaluación de exposición electromagnética al aire libre y en el interior de una vivienda.

En la Figura 6 se representa el escenario de medida al aire libre. En ella se representa a una persona que está expuesta a múltiples campos. Hay una estación de radiodifusión FM (fuente 1) que opera a 100.1 MHz y una estación base multibanda que opera a 900 MHz y 1800 MHz (fuentes 2 y 3 respectivamente).

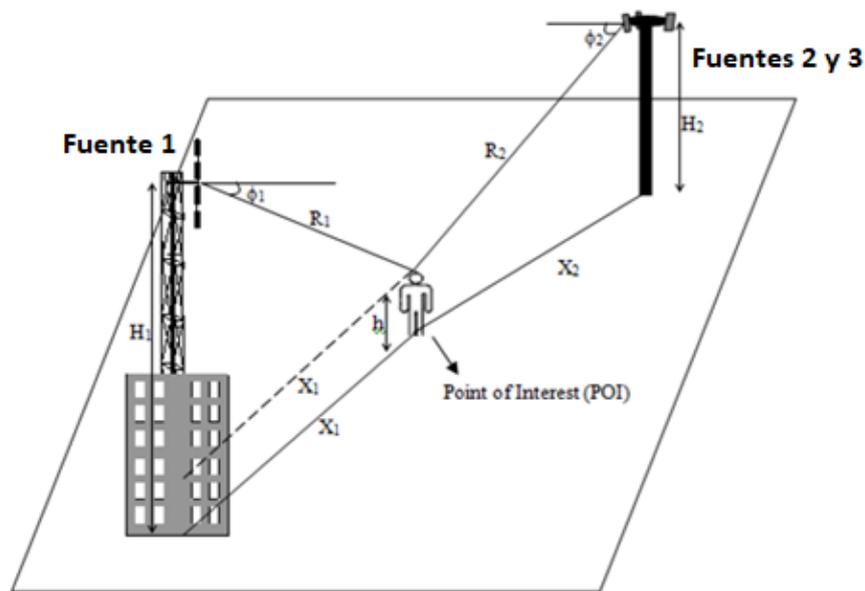


Figura 6. Ejemplo de exposición a múltiples frecuencias [9].

Los parámetros a tener en cuenta para analizar el escenario de medida son los siguientes: la altura de la antena de radiodifusión es $H_1 = 101,7\text{m}$; la altura de la antena de la estación base es $H_2 = 31,7\text{ m}$; la altura de una persona de referencia es $h = 1,7\text{ m}$; la distancia horizontal entre la base de la antena de radiodifusión y el punto de interés (POI) es $X_1 = 100\text{ m}$; la distancia horizontal entre la base de la antena de la estación base y el POI es $X_2 = 50\text{ m}$; Φ_1 y Φ_2 son los ángulos entre la línea del horizonte y el POI en el plano vertical.

En el punto de interés los resultados de campo eléctrico medido son los representados en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores medidos de campo eléctrico en los puntos representados en la Figura 6.

Punto de medida	E (V/m)
E1	2,88
E2	1,15
E3	1,94

Se obtiene el campo eléctrico total, E_T , de la siguiente forma:

$$E_T = \sqrt{(E_1^2 + E_2^2 + E_3^2)} = \sqrt{(2,88^2 + 1,15^2 + 1,94)^2} = 3,66 \text{ V/m}$$

En cuanto a la exposición en interiores, la Figura 7 muestra un ejemplo de exposición en un entorno interior, asociada a una estación base cercana con las siguientes características: $h = 33 \text{ m}$, $D = 25 \text{ m}$, $x = 2 \text{ m}$, $d = 2 \text{ m}$, $f = 1813 \text{ MHz}$ y potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) = 1 kW, para una antena de patrón de radiación típica.

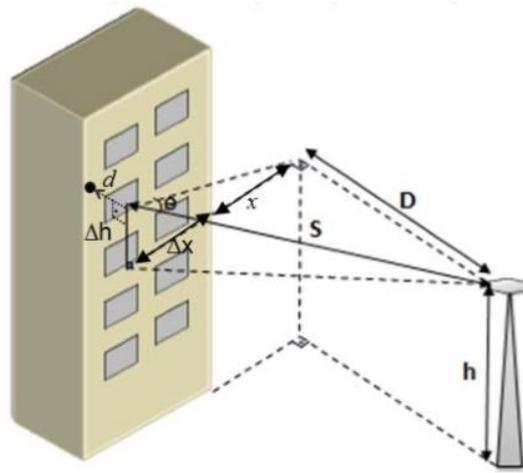


Figura 7. Esquema de la vivienda bajo estudio [9].

El campo eléctrico medido es de 2,272 V/m, mientras que, manteniendo los valores de los parámetros previamente descritos, y aumentado la distancia entre el punto de medida y la estación a 100 m, el campo eléctrico es de 0,7566 V/m, es decir, se reduce en un 66,7%.

5.2.2 ESTUDIO 2: In-Situ experimental evaluation of LTE downlink signal levels in vicinity of base transceiver stations in urban area

En este estudio realizado por Ibrani et al. [10] en Pristina, se presentan los resultados de la evaluación in situ de los niveles de señal LTE en las proximidades de los transmisores de estación base en áreas urbanas. Las mediciones se han realizado en áreas exteriores e interiores, así como en posiciones donde hay visión directa, LOS (Line Of Sight), y donde no la hay, NLOS (Non Line Of Sight).

Las mediciones en este estudio se realizaron en diferentes áreas urbanas de la capital de Kosovo, Pristina. Las ubicaciones se seleccionaron aleatoriamente, pero específicamente en la proximidad de varias estaciones base LTE. Los entornos interiores

se corresponden con áreas donde las personas pasan la mayor parte del día, tales como oficinas, casas o bibliotecas. Se consideran áreas abiertas, los patios traseros de casas, patios de escuelas, de facultades y de algunos edificios administrativos en Pristina, plaza principal de la ciudad, y algunas cafeterías al aire libre.

Las ubicaciones de medición se presentan en la Figura 8, donde los puntos verdes marcan las estaciones base, mientras que los lugares donde se realizaron las mediciones se presentan en color rojo.

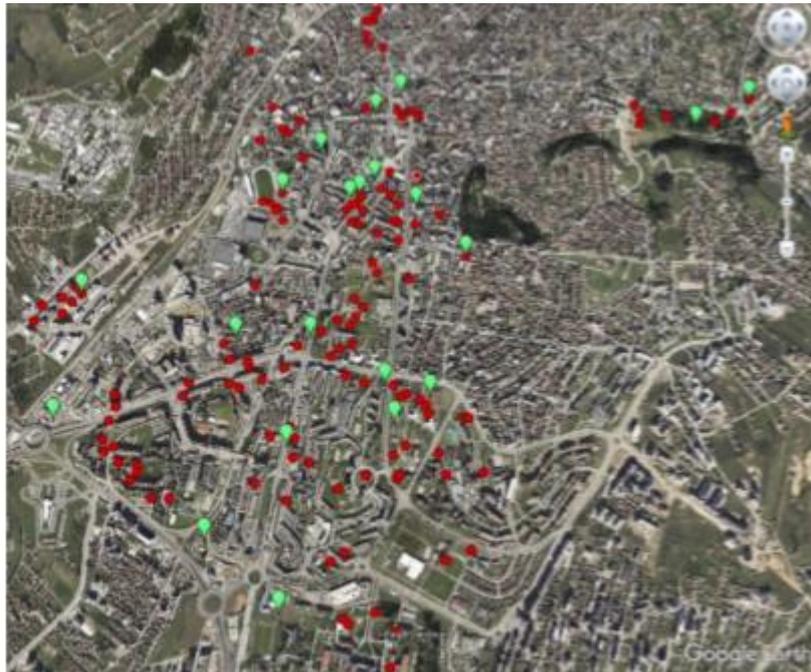


Figura 8. Mapa de Pristina con puntos destacados donde se realizaron las mediciones [10].

En total se midieron 73 posiciones al aire libre y 74 en ubicaciones interiores. De las 147 totales, 27 se eligieron para ser LOS y 120 para NLOS. Las mediciones se realizaron para 21 estaciones base LTE, lo cual se corresponde con más del 51% de las estaciones base del operador en el área. Para cada estación base, las mediciones se realizaron en 7 ubicaciones cercanas a dicha estación. Para cada medición, la señal se capturó durante 6 minutos. La campaña duró 100 días y todas las muestras se recolectaron entre las 09:00 y las 14:00 horas.

Las mediciones se llevaron a cabo utilizando el analizador de espectros SRM-3006 NARDA con la sonda a 1,5 m sobre el suelo. Se trata de un dispositivo de medida selectivo de frecuencias para mediciones ambientales en el rango de frecuencia de 9 kHz a 6 GHz.



Figura 9. Analizador de espectros SRM-3006 NARDA [11].

Los valores máximos de campo eléctrico registrados en los diferentes puntos cercanos a las 21 estaciones base son las siguientes:

Tabla 6. Valores de campo máximo medidos.

Estación base	E_{\max} (V/m)	Estación base	E_{\max} (V/m)
BTS1	0,4	BTS12	0,10
BTS2	1	BTS13	0,35
BTS3	3,5	BTS14	0,4
BTS4	0,15	BTS15	2,1
BTS5	0,5	BTS16	0,8
BTS6	0,8	BTS17	0,8
BTS7	1,3	BTS18	0,2
BTS8	6,04	BTS19	0,3
BTS9	0,6	BTS20	3,5
BTS10	1,7	BTS21	1,2
BTS11	0,4		

También se llevaron a cabo mediciones en interior, obteniendo el mínimo valor de 9,3 mV/m y el valor máximo de 3,1 V/m. En el exterior el valor mínimo medido fue de 19,3 mV/m, mientras que el valor máximo fue 6,04 V/m.

5.2.3 ESTUDIO 3: Assessing electromagnetic radiation in our environment

En este estudio realizado por Amaral et al. [12], se examinaron los niveles de radiación electromagnética, primero dentro de una residencia universitaria y luego en un destino turístico visitado con frecuencia. Todo esto con el objetivo de calcular la cantidad de

radiación en términos de campo eléctrico causada por los dispositivos transmisores dentro de un cierto rango de frecuencias en Corea del Sur.

Este estudio se ha enfocado particularmente en los rangos de frecuencia utilizados por los transmisores de redes de telefonía móvil y por los dispositivos que funcionan en la banda industrial, científica y médica (ISM), puesto que hay una gran cantidad de estaciones base que utilizan estas frecuencias desplegadas al aire libre. Además, la banda ISM es importante porque la mayor parte de la comunicación sin licencia tiene lugar en esa banda, como, por ejemplo, las redes IEEE 802.11 (WiFi).

Para las pruebas en el interior se utilizó el medidor Electrosmog TES 92, que mide el campo eléctrico dentro del rango de frecuencias de 50 MHz a 3,5 GHz. Este equipo se utilizó junto con una sonda triaxial, útil para mediciones isotrópicas de campos electromagnéticos. Dispone de un rango dinámico de 75 dB.



Figura 10. Medidor de campo Electrosmog ES 92 [13].

Una parte de las mediciones se llevaron a cabo en el interior del edificio del Campus de Ciencias Naturales de la Universidad de Sungkyunkwan. El edificio consta de 14 pisos, una planta baja y dos sótanos. Las mediciones en el interior se llevaron a cabo en primer lugar en el vestíbulo del ascensor de la cuarta planta en pasos de aproximadamente 1 m y, en segundo lugar, en el sótano del edificio. Durante las mediciones en ambas situaciones que se realizaron el mismo día, el medidor se colocó a 1,5 m del suelo y el valor final obtenido es el promedio realizado a lo largo de 6 minutos de duración. Además, el medidor se configuró para registrar valores máximos en el rango de frecuencias especificado.

En la siguiente tabla se muestran los valores promediados de campo eléctrico obtenidos en ambas situaciones y en función de la distancia con la antena transmisora.

Tabla 7. Valores de campo eléctrico promediados en periodos de 6 minutos obtenidos en el exterior.

Distancia a la antena (m)	E (V/m) en 4º planta	E (V/m) en el sótano
0	2,8	2,2
1	2,6	1,1
2	1,4	1
3	1,3	0,6
4	1,2	0,55
5	0,8	0,5

Se observa que el valor máximo obtenido se da en la posición más cercana a la antena en la 4º planta del edificio, donde se registró con un valor de 2,8 V/m, muy por debajo del límite en ese rango de frecuencias como se especifica en el ANEXO I, que entre 400 y 2000 MHz es $1.375f^{0.5}$ V/m y de 2 a 300 GHz es 61 V/m.

Las medidas en el exterior se llevaron a cabo en la Torre Namsan, destino popular en Seúl. La Torre fue seleccionada en parte porque permanece abarrotada durante todo el año y, debido a su altura, alberga una serie de antenas para fines de radiodifusión y comunicación.

Las mediciones se realizaron en las tres ubicaciones que son visitadas con mayor frecuencia. La primera ubicación, designada por L1, es un lugar de descanso bajo la Torre. Se denota la plataforma de observación inferior como L2 y L3 es la plataforma de observación en la parte superior como se observa en la Figura 11.

Los valores de campo eléctrico promedio y pico registrados en L1, L2 y L3 se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores de campo eléctrico pico y promedio en las ubicaciones de la Figura 14.

Valores	E (V/m)		
	L1	L2	L3
Promedio	16	30	18
Pico	20	32	23

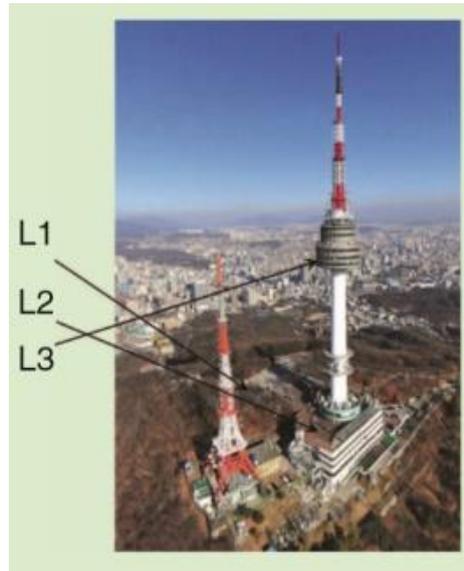


Figura 11. Ubicaciones de los puntos de medida en el exterior [12].

5.2.4 ESTUDIO 4: Temporal 24 hour assesment of radiofrequency exposure in schools and homes

Este estudio se ha llevado a cabo Bélgica por Verloock et al. [14] en el periodo comprendido entre octubre de 2012 y abril de 2013. En él se han llevado a cabo mediciones de todas las señales de RF presentes, durante 24 horas.

Para ello se eligieron 10 escenarios, 5 escuelas y 5 hogares. En todos ellos, las medidas ocurrieron en interiores y en entornos urbanos. Las escuelas se seleccionaron en función de la presencia de fuentes RF internas y el uso de dispositivos inalámbricos de red de área local (WLAN). En cada escuela, el WiFi se usa como tecnología en redes WLAN para las tablets con fin educativo. En cuanto a las casas, también se seleccionaron aquellas en las que residían niños y en las que el WiFi estaba presente.

Como equipo de medida, fue utilizada la sonda triaxial R&S TS-EMF en combinación con el analizador de espectros R&S FSL6, como se muestra en la Figura 12.



Figura 12. Sonda triaxial TS-EMF y analizador de espectros [15].

Los valores obtenidos se muestran a continuación en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores de campo eléctrico máximo obtenidos.

Ambiente	Fuente RF	$E_{m\acute{a}x}$ (V/m)
Colegio	Broadcasting ¹	0,16
	Telecomunicaciones ²	1,13
	DECT	3,10
	WiFi 2,4 GHz	1,70
Hogares	Broadcasting	0,23
	Telecomunicaciones	0,12
	DECT	0,16
	WiFi 2,4 GHz	0,68

El valor máximo medido, se da en los colegios para DECT, con un valor de 3,10 V/m. Ese valor satisface la normativa, ya que en este caso el valor límite se encuentra en:

$$1,375 * (1800)^{0,5} = 58,33 \text{ V/m}$$

En general los valores medidos en los colegios son superiores a los de los hogares y eso es debido a que en los colegios hay más personas simultáneamente y, por lo tanto, ocurre un mayor uso de las fuentes de emisiones radioeléctricas.

¹ En broadcasting se consideran las señales FM, T-DAB y DVB-T.

² Las telecomunicaciones incluyen GSM900, GSM1800, UMTS/HSPA, TETRA y LTE

5.2.5 ESTUDIO 5: Spatial and Temporal RF Electromagnetic Field Exposure of Children and Adults in Indoor Micro Environments in Belgium and Greece

En este trabajo realizado por Vermeeren et al. [16], se evaluó la exposición a señales de RF teniendo en cuenta la variabilidad temporal y espacial de las señales en escuelas, guarderías, oficinas y hogares belgas y griegos. Los diferentes entornos de medida se clasificaron como rural, suburbano, urbano y urbano denso en función de la densidad de población.

En Bélgica, las mediciones se realizaron en 29 lugares cerrados (10 escuelas, 11 guarderías, 3 oficinas y 5 hogares) y en Grecia en 26 ubicaciones interiores (5 escuelas, 10 hogares con bebés y niños de edad preescolar, 5 oficinas y 6 hogares).

En Grecia, las medidas se llevaron a cabo con el exposímetro EME SPY 140 y en Bélgica con dos exposímetros: EME SPY 140 y EME SPY 121 en todas sus bandas de frecuencia, con el objetivo de obtener la evolución temporal de las diferentes señales de RF.



Figura 13. Exposímetro EME SPY 121 [17].



Figura 14. Exposímetro EME SPY 140 [18].

Los resultados de campo eléctrico máximo se presentan en las siguientes dos tablas. En Grecia no se midieron en los servicios de DAB, TETRA, PMR y TV (excepto en las oficinas).

Tabla 10. Valores de campo eléctrico obtenidos en Bélgica.

Señal RF	Colegios	Guarderías	Oficinas	Hogares
	E_{max} (V/m)			
FM	1,31	0,68	0,45	0,32
DAB	0,84	0,31	0,20	0,18
TETRA	0,17	0,09	0,03	0,04
PMR	0,01	0,05	0,00	0,01
TV	0,12	0,07	3,48	0,12
GSM 900 DL	1,59	1,11	0,96	0,37
GSM 1800 DL	0,19	0,26	0,55	0,20
DECT	0,15	0,53	0,43	0,70
UMTS DL	0,14	0,19	0,15	0,10
WiFi	0,24	0,77	0,44	0,32

Tabla 11. Valores de campo eléctrico obtenidos en Grecia.

Señal RF	Colegios	Guarderías	Oficinas	Hogares
	E_{max} (V/m)			
FM	0,18	1,48	0,44	0,18
DAB	-	-	-	-
TETRA	-	-	-	-
PMR	-	-	-	-
TV	-	-	0,77	-
GSM 900 DL	0,24	0,96	0,85	0,15
GSM 1800 DL	1,57	0,35	0,47	0,14
DECT	0,31	0,38	0,15	2,06
UMTS DL	0,44	0,32	0,80	0,15
WiFi	0,20	0,19	0,07	0,31

En Bélgica el valor más alto se midió en las oficinas con 3,48 V/m y principalmente es debido a que en dicho lugar hay línea de visión directa con un transmisor de TV cercano. En Grecia, el mayor valor se dio en los hogares para DECT, con un valor de 2,06 V/m. En ambos casos, se satisfacen los niveles de referencia de la normativa.

5.2.6 ESTUDIO 6: Extensive Frequency Selective Measurements of Radiofrequency Fields in Outdoor Environments Performed with a Novel Mobile Monitoring System

En este estudio se presenta un sistema de medición desarrollado por la Autoridad de Seguridad Radiológica de Suecia, en concreto Estenberg et al. [19], el cual utiliza un coche para estimar la exposición en exteriores del público en general a campos de radiofrecuencia que cubren el rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz.

Las medidas se llevaron a cabo en 2012 durante el día de 8 de la mañana a 18:30 de la tarde en áreas rurales, y urbanas de la ciudad de Suecia. Todas las medidas se tomaron desde un coche a una velocidad de 6 m/s con un recorrido total de 115 km. Como equipos de medida se utilizaron el analizador de espectros FSL 6 de Rohde and Schwarz y una antena triaxial apropiada para las bandas de 30 MHz – 3 GHz, también de Rohde and Schwarz. Durante las medidas, la antena estaba situada a 2,4 m del nivel del suelo en un soporte de madera no conductor fijado en una caja de techo abierta, conectada a analizador de espectros mediante un cable coaxial. La parte inferior de la caja estaba llena de absorbentes de RF para evitar la interferencia causada por los reflejos de las señales de RF en el techo del automóvil. Para las medidas de densidad de potencia que se presentan en la Tabla 12, se utilizaron barridos individuales del analizador de espectro con detector RMS. El ancho de banda de resolución se estableció en 1 MHz y el ancho de banda de vídeo de 10 MHz. Los valores de la tabla se corresponden con la media.

Tabla 12. Valores medios de densidad de potencia medidos.

Servicio	Rural	Urbano	Capital	Ciudad
S ($\mu W/m^2$)				
FM	1,1	47	13	9,3
DAB y DVB-T	8,1	30	53	8,4
TETRA	3	5,4	6	7,6
LTE	39	270	1300	600
GSM y UMTS UL	0,23	0,78	1,1	0,27
GSM y UMTS DL	200	1200	5400	2400
DECT	0,0053	0,13	0,13	0,035
WLAN	0,0097	0,72	0,19	0,068

En este estudio, a diferencia de los vistos hasta ahora, se proporcionan los resultados de la densidad de potencia de los 8 diferentes servicios indicados. Los servicios de LTE y GSM y UMTS en el enlace descendente son los más destacados, en concreto, las emisiones son más notables en la capital, como cabía esperar, debido a la alta densidad de población y, por consiguiente, mayor uso de las diferentes tecnologías. Para las tecnologías mencionadas, el límite de exposición según el servicio es el que se indica a continuación, teniendo en cuenta los valores máximos permitidos del ANEXO I sobre normativa.

LTE (791 – 821, 832 – 861 MHz):

$$\frac{f}{200} = \frac{826}{200} = 4,13 \text{ W/m}^2$$

GSM y UMTS DL (921 – 960, 1805 – 1880, 2110 – 2170):

$$\frac{f}{200} = \frac{1880}{200} = 9,4 \text{ W/m}^2$$

En ambos casos se cumple con la normativa, así como en el resto de servicios analizados en el estudio.

5.3 Resumen sobre los estudios analizados

En forma de resumen, en la Tabla 13, se especifican todos los datos relevantes de los estudios mencionados en los puntos 5.1 y 5.2, para su posterior diseño de la base de datos. El resultado de las medidas excepto en el estudio 6 que se expresan en densidad de potencia ($\mu \text{ W/m}^2$), se muestran en unidades de campo eléctrico (V/m). Los estudios 1,2 y 3 se han llevado a cabo en interiores y exteriores, el 4 y 5 únicamente en interiores y el 6 en el exterior. En todos los estudios se han medido varios servicios, excepto en el segundo que está centrado en LTE.

Tabla 13. Características relevantes de los estudios especificados anteriormente.

	Título del proyecto	Autores	Emplazamiento bajo estudio	Año de realización	Frecuencias de operación/ Servicios	Equipo de medida	Valores medidos	Observaciones
ESTUDIO 1	Review on Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Field	Agostinho Linhares	Brasil	2017	100,1 MHz 900 MHz 1800 MHz	-	Outdoor: $E_T = 3,66 \text{ V/m}$ Indoor: $E(d=25\text{m}) = 2,272 \text{ V/m}$ $E(d=100\text{m}) = 0,7566 \text{ V/m}$	Todos los valores obtenidos cumplen con la normativa y se aprecia en especial, el efecto de la distancia del transmisor a punto de medida.
ESTUDIO 2	In-Situ experimental evaluation of LTE downlink signal levels in vicinity of base transceiver stations in urban area	Mimoza Ibrani, Enver Hamiti, Luan Ahma, Rreze Halili y Jeta Dobruna	Kosovo	2018	1817 MHz	Analizador de espectros SRM-3006 NARDA	Resultados obtenidos sobre las 21 estaciones base en la Tabla 6.	Todos los valores cumplen con la normativa, destacando que el valor máximo medido es el 10,3% con respecto a la normativa
ESTUDIO 3	Assessing electromagnetic radiation in our environment	Thiago Amaral Teixeira y Syed Faraz Hasan	Corea del Sur	2016	806 MHz 2010 MHz 2110 MHz 2450 MHz	Electros-mog TES 92	Resultados en interior de la Universidad de Sungkyunkwan en la Tabla 7 de este documento y los resultados en exterior de la Torre Namsan en la Tabla 8.	Los valores medidos en el exterior como cabe esperar, disminuyen a mayor distancia del transmisor.

ESTUDIO 4

Temporal 24-hour assessment of Radio Frequency exposure in schools and homes

Leen Verloock, Wout Joseph, Francis Goeminne, Luc Martens, Mart Verlaek y Kim Constandt

Bélgica

Octubre 2012-abril 2013

GSM900
GSM1800
UMTS/HSPA
TETRA
LTE
FM
T-DAB
DVB-T
WiFi
DECT

Sonda triaxial R&S TS-EMF y analizador de espectros R&S FSL6

Los resultados de los colegios y hogares se resumen en la Tabla 9.

Los valores medios en colegios son superiores a los hogares, destacando el servicio DECT debido en gran parte a mayor presencia que en hogares.

ESTUDIO 5

Spatial and temporal RF electromagnetic field exposure of children and adults in indoor micro environments in Belgium and Greece

Gunter Vermeeren, Ioannis Markakis, Francis Goeminne, Theodoros Samaras, Luc Martens y Wout Joseph

Bélgica y Grecia

Julio 2013

FM
DAB
TETRA
PMR
TV
GSM 900 DL
GSM 1800 DL
DECT
UMTS DL
WiFi

En Grecia el exposímetro EME SPY 140 y en Bélgica los exposímetros EME SPY 140 y EME SPY 121

Resultados de ambos emplazamientos en las Tablas 10 y 11 respectivamente.

No se aprecia gran diferencia en las medidas de los diferentes ambientes de ambas ciudades. En Bélgica los servicios con mayores valores medidos fueron FM y GSM 900 DL y en Grecia GSM 1800 DL y DECT.

ESTUDIO 6	Extensive frequency selective measurements of radiofrequency fields in outdoor environments performed with a novel mobile monitoring system	Jimmy Estenberg y Torsten Augustsson	Suecia	En 2012 de 08:00 a 18:30	FM DAB DVB-T TETRA LTE GSM y UMTS UL GSM y UMTS DL DECT WLAN	Analizador de espectros FSL6 R&S y antena triaxial en las bandas de 30 MHz – 3 GHz de R&S	Especificados en diferentes ambientes (rural, urbano, capital de ciudad y ciudad) en la Tabla 12.	Los valores de densidad de potencia medidos, son mayores en capital de ciudad. Aunque todos ellos están muy por debajo de los niveles de referencia.
ESTUDIO 7	Red de monitorización de frecuencias	Ayuntamiento de Bilbao	Bilbao	Monitoreación continua en 8 emplazamientos	GSM UMTS	MoniEM de WaveControl	Resultados de campo medido en los 8 emplazamientos en la Tabla 3.	En el Colegio IES Karmelo se dan los valores mayores, debido a la proximidad de hasta 4 estaciones de telefonía móvil.
ESTUDIO 8	Mapa de medidas de ambiente radioeléctrico	Ayuntamiento de Bilbao con la colaboración de la UPV/EHU	Bilbao	2011	GSM FM TV	-	Resultados disponibles en [8].	Los niveles más elevados se detectaron en las inmediaciones de las estaciones emisoras de radio de FM y de televisión, emplazadas en Artxanda, Banderas y Ganeta.

6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

En este apartado se van a definir, por un lado, las alternativas técnicas que pueden dar solución a la realización de las medidas y, por otro lado, las alternativas gestoras de bases de datos para el almacenaje de las medidas realizadas.

Para realizar la comparación va a ser necesario definir los criterios de selección de las alternativas y su ponderación (de 0 a 10) en función de su importancia.

6.1 Criterios de selección para los equipos de medidas

En primer lugar, se ha investigado sobre los posibles equipos para llevar a cabo las medidas de campo y se distinguen los 3 siguientes representados en las Figuras 15, 16 y 17.

Medidor NBM 550 y Sonda NBM E-Field 0391



Figura 15. Medidor y sonda de Narda [20].

Exposímetro EME SPY 200



Figura 16. Exposímetro EME SPY 200 [21].

Antena Omnidireccional bibanda y analizador de espectros R&S FSC3

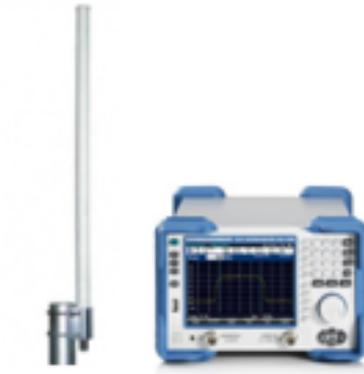


Figura 17. Antena omnidireccional y analizador de espectros [22].

Se tendrán en cuenta los siguientes criterios para elegir el más adecuado para este proyecto.

- **Disponibilidad**

Para la elección uno de los tres equipos mencionados, es importante que esté disponible durante el periodo completo de la campaña y que éste se encuentre calibrado.

- **Portabilidad**

El equipo a utilizar tiene que ser fácil de manejar en cuanto a las dimensiones o el peso para facilitar el transporte y la utilización.

- **Características técnicas**

Se tendrán en cuenta diferentes características de los equipos como el rango de frecuencias, las características de las sondas, las condiciones de operación y la posibilidad de configuración. En ésta última, se considerará el mejor caso aquel que permite seleccionar el tipo de detector, el ancho de banda o el modo de traza entre otros.

Tabla 14. Ponderación de los equipos de medida según los criterios de selección.

Criterios de selección	Equipos		
	Medidor NBM 550 y sonda NBM 0391	Exposímetro EME Spy 200	Antena bibanda y analizador de espectros
Disponibilidad	0	10	10
Portabilidad	5 (550 g medidor + 90 g sonda)	10 (440 g)	4 (400 g antena + 4,5 kg analizador)
Características técnicas			
Rango de frecuencias	7 (100 kHz – 3 GHz)	9 (87 MHz – 6 GHz)	5 (2,4 GHz y 5 GHz)
Características de las sondas	6 (isotrópica)	8 (triaxial)	8 (omnidireccional)
Condiciones de operación	5 (0°C a 50°C)	7 (-10°C a 50°C)	8 (-30°C a 80°C)
Posibilidad de configuración	5	5	10
VALORACIÓN TOTAL	28	44	45

En este proyecto se va a utilizar por un lado el exposímetro EME SPY 200 por su característica de medir en las 20 bandas, para unas medidas iniciales que permitan la evaluación y variabilidad de las emisiones de diferentes servicios. Posteriormente se va a realizar la campaña de medidas centrada en el servicio de WiFi de 2,4 GHz con la antena omnidireccional y el analizador de espectros.

6.2 Criterios de selección para la base de datos

En este apartado, se van a definir las diferencias entre los principales sistemas gestores de bases de datos (SGBD).

Tabla 15. Características de diferentes sistemas gestores de bases de datos.

SGBD	Características	Ventajas	Desventajas	Ponderación
Access	Pertenece a Microsoft. Muy gráfico con métodos simples y directos, formularios para trabajar la información.	Asequible para personas con poco manejo con las bases de datos. Crea varias vistas para una misma información.	No es multiplataforma. No funciona con bases de datos grandes, tanto para registros como para usuarios.	8
MySQL	Sistema de gestión de base de datos relacional perteneciente a Oracle, bajo licencia dual (licencia pública general/Licencia comercial).	Agrupación de transacciones. Distintos motores de almacenamiento.	No tiene soporte y la capacidad es limitada.	6
Oracle	Dispone de su propio lenguaje PL/SQL. Soporta bases de datos de gran tamaño.	Es el más usado a nivel mundial. Multiplataforma, intuitiva y fácil de manejar.	Precio de licencias y coste de la información elevado.	7

En este proyecto, la unificación de los estudios se va a llevar a cabo con el gestor de base de datos Access debido a las características y ventajas mencionadas en la Tabla 15, pero principalmente porque no requiere de una gestión o control extra a las bases de registros de cliente o de un servidor.

7. ANÁLISIS DE RIESGOS

Al igual que en todos los proyectos, este trabajo también presenta algunos riesgos que pueden afectar en la realización del mismo. Aunque el trabajo está finalizado, al principio fue necesario hacer una previsión de los posibles imprevistos y las posibles soluciones que los minimizaran. Estos riesgos se clasifican en función del impacto que pueden causar, así como la probabilidad de que pueda ocurrir dicho riesgo.

7.1 Riesgos

En este proyecto se identifican los siguientes riesgos internos:

- **Avería del equipo de medida (A):**

Este es uno de los riesgos con mayor impacto, ya que impediría la realización de las medidas en el plazo destinado para ello con el consiguiente desajuste de planificación.

Impacto: Alto

Probabilidad: Medio

- **Pérdida de información (B):**

Es otro de los riesgos de mayor impacto, ya que la pérdida de información o trabajo realizado hasta el momento por avería o mala gestión de dispositivo, implicarían la vuelta al comienzo del proyecto.

Impacto: Alto

Probabilidad: Medio

- **Error en las medidas (C):**

Posibles errores en las medidas realizadas al ser la primera vez que se utiliza el equipamiento HW y el SW para la gestión de los datos.

Impacto: Bajo

Probabilidad: Alto

Una vez designados el tipo de impacto y la probabilidad de que ocurran los distintos riesgos, se han incluido en la matriz de probabilidad – impacto con el objetivo de obtener un análisis cualitativo y así priorizar de manera muy visual los riesgos existentes para prestar más atención y establecer medidas de respuesta antes de que estos ocurran para intentar minimizar las repercusiones que puedan tener, como se especifica en el siguiente punto.

Tabla 16. Matriz probabilidad impacto.

		IMPACTO		
		Bajo	Medio	Alto
PROBABILIDAD	Bajo			
	Medio			A, B
	Alto	C		

7.2 Medidas de contingencia

En este apartado se exponen las medidas que habría que tomar para disminuir, transferir, aceptar o evitar los riesgos expuestos en el apartado anterior.

- Avería del equipo de medida (A):**
 Es probable que surja un fallo de algún componente interno imposible de prevenir y, en ese caso es un riesgo a aceptar. Como solución, se podría realizar la campaña de medidas con otro de los equipos especificados en el análisis de alternativas.
- Pérdida de información (B):**
 En este riesgo, para evitar que su impacto sea alto, habría que hacer copias de seguridad cada cierto tiempo de la evolución del proyecto en distintos dispositivos de almacenaje de información.
- Error en las medidas (C):**
 Para disminuir la probabilidad de que ocurran errores en las medidas, sería conveniente realizar medidas de prueba previas para tener un mejor control y manejo del equipo.

8. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

En este punto se van a tratar el tercero y cuarto de los objetivos parciales de este proyecto. Para ello, en primer lugar, se va a definir la ubicación donde se van a realizar las medidas, así como al entorno al que pertenece. En segundo lugar, se va a llevar a cabo un estudio previo del entorno, para ver la influencia que podrían tener las estaciones base cercanas en los resultados de las medidas. Finalmente se van a llevar a cabo las medidas de campo eléctrico para su posterior comprobación con los valores límite especificados en la normativa y unificación en la base de datos a diseñar junto con los datos de los estudios previamente analizados.

8.1 Ubicación del emplazamiento bajo estudio

Las medidas de exposición electromagnética se van a llevar a cabo en el laboratorio de TSR [23] situado en la cuarta planta de la Universidad de Ingenieros de Bilbao de la UPV/EHU en un entorno urbano debido a que la densidad poblacional es alta (8.295,91 habitantes/km²).

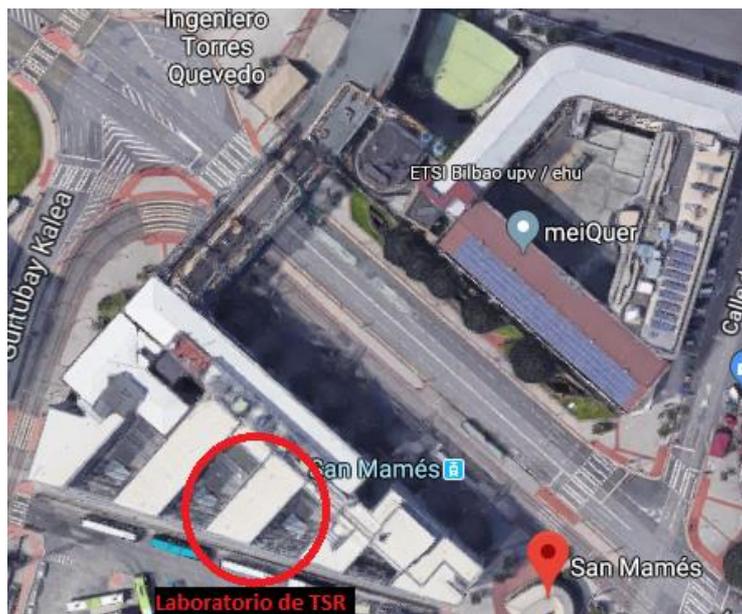


Figura 18. Ubicación del emplazamiento bajo estudio [24].

Cabe destacar, que en el interior de la Universidad hay dispuestos puntos de acceso a WiFi que dan cobertura total a todas las dependencias y que el periodo de tiempo con mayor afluencia tanto de profesores, alumnos como otro personal es de 08:00 de la mañana a 18:00 de la tarde.

8.2 Estudio previo del entorno

Para el estudio del entorno se ha utilizado el servicio disponible en la página web del Gobierno de España del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda digital [7]. En ella, se pueden ver las estaciones de telefonía móvil filtrando por provincias, municipios hasta calles.

En el entorno de la Universidad se pueden ver las estaciones base de telefonía móvil identificadas de color azul en la Figura 19, donde se han seleccionado las 4 más cercanas.



Figura 19. Estaciones base de telefonía cercanas a la Universidad de Ingenieros de Bilbao [7].

Las distancias desde el laboratorio de TSR a cada estación base son las que se especifican en la Tabla 17. A continuación, en las Tablas 18, 19, 20 y 21 se especifican las características técnicas de las 4 estaciones base seleccionadas, con las bandas asignadas y el servicio al que se corresponden.

Tabla 17. Distancias desde las estaciones base de telefonía cercanas al laboratorio de TSR.

	BTS	Distancia
Origen: Laboratorio de TSR	BTS1	66,75 m
	BTS2	101,18 m
	BTS3	253,27 m
	BTS4	200,85 m

Tabla 18. Características técnicas de BTS1.

	Operador	Banda asignada (MHz)	Servicio
BTS1	VODAFONE ESPAÑA, S.A.	842 – 852	LTE UL (2 bloques de 5 MHz)
	VODAFONE ESPAÑA, S.A.	949,90 – 959,90	GSM DL (1 bloque de 10 MHz)

Tabla 19. Características técnicas de BTS2.

	Operador	Banda asignada (MHz)	Servicio
BTS2	TELEFONICA MOVILES ESPAÑA, S.A.U.	935,10 – 949,90	GSM DL (3 bloques de 5 MHz)
	TELEFONICA MOVILES ESPAÑA, S.A.U.	1910 – 1915 2155 – 2170	3G UL y DL (1 bloque de 5 MHz) 3G DL (1 bloque de 15 MHz)

Tabla 20. Características técnicas de BTS3.

	Operador	Banda asignada (MHz)	Servicio
BTS3	VODAFONE ESPAÑA, S.A.	949,90 – 959,90	GSM DL (1 bloque de 10 MHz)
	VODAFONE ESPAÑA, S.A.	1825,10 – 1845,10	LTE DL ³ (1 bloque de 20 MHz)
	VODAFONE ESPAÑA, S.A.	1905 – 1910	3G UL y DL (1 bloque de 5 MHz)
	VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2140 – 2155	3G DL (1 bloque de 15 MHz)
	VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2660 – 2680	LTE DL ⁴ (4 bloques de 5MHz)

³ Banda utilizada originalmente por la tecnología GSM, desde Julio de 2013 se utiliza también para telefonía de cuarta generación.

⁴ Banda utilizada en aquellos lugares donde la banda de 1800 no es suficiente por estar muy saturada (lugares con gran afluencia de público, por lo general).

Tabla 21. Características técnicas de BTS4.

	Operador	Banda asignada (MHz)	Servicio
BTS4	ORANGE ESPAGNE, SAU	1900 – 1905	3G UL y DL (1 bloque de 5 MHz)
		2125 – 2140	3G DL (1 bloque de 15 MHz)
	ORANGE ESPAGNE, SAU	925,10 – 935,10	GSM DL (2 bloques de 5 MHz)
	ORANGE ESPAGNE, SAU	1859,90 – 1879,90	LTE DL ¹ (1 bloque de 20 MHz)

8.3 Medidas previas

Tras el estudio del entorno se ha procedido a la realización de unas primeras medidas sobre 20 servicios distintos con el exposímetro EME SPY 200 especificado en el análisis de alternativas, con el objetivo de ver de manera global el campo eléctrico medido.

Las medidas se realizaron entre las 17:30 de la tarde a 21:00 de la noche los días 19 y 20 de junio de 2018 con un periodo de muestreo de 10 s. El exposímetro se situó en el centro del laboratorio a una distancia del suelo de 1,20 m.

Los valores de las medidas se tomaron durante cuatro horas y media de manera seguida, pero para el cumplimiento de la normativa, los resultados se promediaron en periodos de 6 minutos. Para ello, se han procesado el total de medidas en Matlab de la siguiente manera (por cada 6 minutos se corresponden 36 muestras):

$$E_{promedio\ 6\ minutos} = \frac{\sum_{i=1}^{36} E_i}{36}$$

Tras el procesado de las medidas, se ha calculado el valor máximo, mínimo, la media, la mediana y el percentil 90⁵ de campo eléctrico de cada servicio. A modo de comparativa, la Tabla 22 recoge los datos promediados por 6 minutos, al contrario que la Tabla 23 donde se muestran los datos sin promediar.

En ambos casos, los servicios con mayor campo eléctrico medido se corresponden con FM, LTE 800 (DL), GSM+UMTS 900 (DL), GSM 1800 (DL) y UMTS 2100 (DL). Como cabía esperar, dichos valores se dan en el enlace descendente, es decir con origen de transmisión desde la estación base, debido a que las estaciones base generan una

⁵ Medida estadística de posición no central utilizada para la comparación de resultados, utilizada en campos de la estadística o el análisis de datos. El percentil 90 indica, que del conjunto de medidas el 90% de las mismas son igual o menores que dicho valor.

potencia y poseen una ganancia de transmisión mucho mayor que la que puede generar y tener un móvil.

Cabe destacar, que el servicio TETRA II en el caso de los resultados sin promediar aparece como máximo (identificados de color rojo en las Tablas 22 y 23), pero su percentil 90 nos está indicando que en realidad no lo es y que se trata de un valor máximo muy puntual sobre el total de las muestras.

Los resultados obtenidos tras el promedio son algo inferiores con respecto a los resultados sin promediar como es razonable. Aun así, en ambos casos se satisface la normativa aplicable en cada servicio y como se puede comprobar, ninguno de los servicios sobrepasa el 1% con respecto a cada nivel de referencia.

Los valores mínimos (identificados de color verde en las Tablas 22 y 23) medidos sobre LTE 800, GSM, DECT, UMTS, WiFi 2G, LTE 2600 y WiMAX, en realidad pueden ser inferiores a los valores recogidos, ya que la sensibilidad del exposímetro para esos servicios es de 0,005 V/m, al igual que en FM, TV3, TETRA, TV 4&5 y WiFi 5G donde la sensibilidad es de 0,01 V/m.

Tabla 22. Resultados de campo eléctrico con el exposímetro EME SPY 200 promediados por 6 minutos.

Servicio	E_{min} (V/m)	$E_{máx}$ (V/m)	E_{medio} (V/m)	$E_{mediana}$ (V/m)	$E_{percentil\ 90}$ (V/m)	Nivel de referencia (V/m)	% del valor máx. sobre normativa
FM	0,1317	0,1584	0,1496	0,1511	0,1564	28	0,56
TV3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	28	0,036
TETRA I	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	28	0,036
TETRA II	0,01	0,0188	0,0103	0,01	0,0101	28,18	0,066
TETRA III	0,01	0,0103	0,01	0,01	0,01	29,49	0,035
TV4&5	0,01	0,014	0,0118	0,01155	0,01345	34,24	0,041
LTE 800 (DL)	0,0642	0,1508	0,0940	0,0924	0,1197	39,04	0,386
LTE 800 (UL)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	40,02	0,0125

GSM + UMTS 900 (UL)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	41,18	0,0121
GSM + UMTS 900 (DL)	0,1126	0,1529	0,1285	0,1303	0,14415	42,20	0,362
GSM 1800 (UL)	0,0112	0,10242	0,0154	0,01515	0,0185	57,47	0,042
GSM 1800 (DL)	0,1018	0,1568	0,1204	0,11885	0,13395	59,01	0,266
DECT	0,0081	0,0203	0,0137	0,0139	0,01895	59,78	0,034
UMTS 2100 (UL)	0,005	0,0051	0,005	0,005	0,005	60,79	0,0083
UMTS 2100 (DL)	0,1101	0,1649	0,1259	0,1237	0,14295	61	0,275
WIFI 2G	0,005	0,0064	0,0053	0,0052	0,0058	61	0,0105
LTE 2600 (UL)	0,005	0,0051	0,005	0,005	0,0051	61	0,0084
LTE 2600 (DL)	0,005	0,0066	0,0055	0,0054	0,00605	61	0,0108
WIMAX	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	61	0,0082
WIFI 5G	0,01	0,012	0,01	0,01	0,01025	61	0,0197

Tabla 23. Resultados de campo eléctrico con el exposímetro EME SPY 200 sin promediar por 6 minutos.

Servicio	E_{min} (V/m)	$E_{máx}$ (V/m)	E_{medio} (V/m)	$E_{mediana}$ (V/m)	$E_{percentil\ 90}$ (V/m)	Nivel de referencia (V/m)	% del valor máx. sobre normativa
FM	0,071	0,164	0,1502	0,150	0,1580	28	0,586
TV3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	28	0,036
TETRA I	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	28	0,036
TETRA II	0,01	0,167	0,0105	0,01	0,01	28,18	0,592
TETRA III	0,01	0,024	0,01	0,01	0,01	29,49	0,081
TV4&5	0,01	0,032	0,0119	0,016	0,0160	34,24	0,093

LTE 800 (DL)	0,031	0,335	0,0961	0,095	0,191	39,04	0,858
LTE 800 (UL)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	40,02	0,0125
GSM + UMTS 900 (UL)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	41,18	0,0121
GSM + UMTS 900 (DL)	0,069	0,193	0,1302	0,103	0,155	42,20	0,457
GSM 1800 (UL)	0,005	0,068	0,0155	0,009	0,025	57,47	0,118
GSM 1800 (DL)	0,07	0,324	0,1208	0,088	0,1610	59,01	0,549
DECT	0,005	0,042	0,0141	0,039	0,028	59,78	0,0702
UMTS 2100 (UL)	0,005	0,007	0,005	0,005	0,005	60,79	0,0115
UMTS 2100 (DL)	0,05	0,245	0,1247	0,136	0,1693	61	0,402
WIFI 2G	0,005	0,024	0,0053	0,005	0,005	61	0,0393
LTE 2600 (UL)	0,005	0,009	0,005	0,005	0,005	61	0,0147
LTE 2600 (DL)	0,005	0,002	0,0055	0,006	0,006	61	0,0032
WIMAX	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	61	0,0081
WIFI 5G	0,01	0,068	0,0101	0,01	0,01	61	0,111

En el siguiente apartado se va a llevar a cabo la campaña de medidas sobre el servicio de WiFi en la banda de 2,4 GHz, con una antena omnidireccional diseñada para las bandas de 2,4 GHz y 5 GHz y el analizador de espectros FSC de Rohde and Schwarz.

Y como último punto de este apartado, se va a llevar a cabo el diseño de una base de datos que recopile toda la información relativa a los estudios analizados y las medidas llevadas a cabo.

8.4 Campaña de medidas

La campaña de medidas sobre la exposición electromagnética se ha llevado a cabo en el emplazamiento explicado en el apartado 8.2 del documento.

Así como las medidas previas con el exposímetro se han llevado a cabo en el mismo punto (P4) del laboratorio, en este caso los resultados presentados en este apartado se han obtenido en los puntos P1, P2, P3 y P4, como se indica en la siguiente figura. Aunque en la figura no se muestra, en el laboratorio hay disponibles ordenadores destinados a investigadores y estudiantes que realizan sus trabajos o tesis.

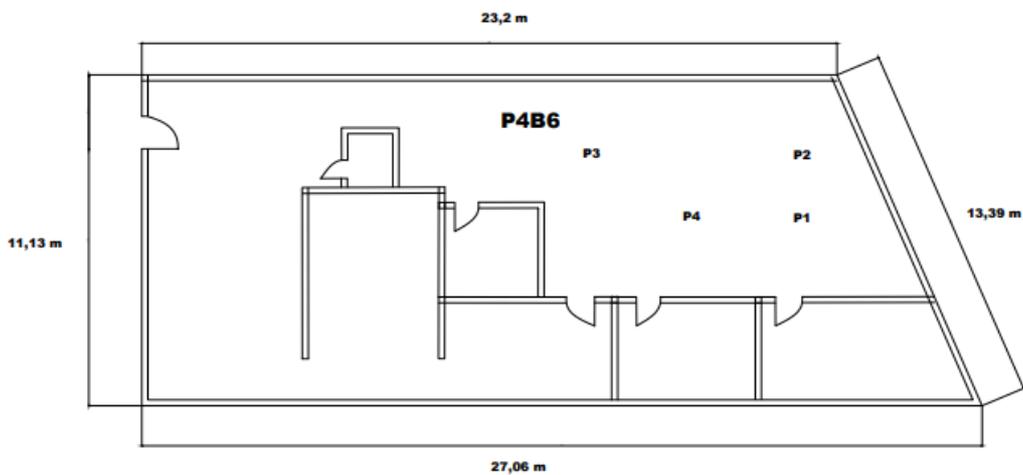


Figura 20. Ubicación de los 4 puntos de medida (P1, P2, P3 y P4) sobre el plano en planta de TSR.

En este caso, las medidas se han realizado sobre el servicio WiFi en 2,4 GHz, mediante una antena omnidireccional bibanda y un analizador de espectros como se ha mencionado en el análisis de alternativas. Las mediciones se han realizado durante 1 semana en horario de 16:00 a 19:00, con un periodo por muestreo de 10 segundos. Para la gestión de las medidas se han utilizado los softwares FSC View y Matlab, el primero de ellos, para la recepción de los datos desde el analizador de espectros al ordenador y el segundo para promediar los resultados por 6 minutos y obtener los estadísticos necesarios.

Los parámetros de configuración escogidos para las mediciones con el analizador de espectros son los que se muestran en la Tabla 24. Para el modo de traza se ha elegido Clear/Write porque sobrescribe la traza después de cada barrido en vez de quedarse con el valor máximo (Max Hold), el mínimo (Min Hold) o el promedio (Average). De esta manera obtenemos unos resultados acordes con el tráfico de datos que hay en cada momento. Para el detector se ha elegido RMS ya que proporciona lecturas de potencia estables y verdaderas.

Tabla 24. Configuración del analizador de espectros.

Frecuencia central	2441,75 MHz
Span	83,5 MHz
Detector	RMS
SWT	20 ms
RBW	1 MHz
VBW	3 MHz
Trace mode	Clear/Write



Figura 21. Equipamiento utilizado para las medidas.

Al igual que en las medidas previas, los valores medidos se han promediado por 6 minutos como indica la normativa, y se han obtenido el valor máximo, mínimo, la media, la mediana y el percentil 90.

Los valores recogidos desde el analizador de espectros se corresponden a potencia en dBm y para poder comparar con los niveles de referencia de la normativa han sido necesarios las siguientes operaciones conocido previamente la ganancia G_i de la antena en la frecuencia de operación entre 2400 y 2483 MHz.

$$G_i = 9 \text{ dBi}$$

$$K(\text{dB}/m) = 20 * \log(f(\text{MHz})) - G_i - 29,8$$

Una vez conocido el factor de antena K, el campo eléctrico se obtiene de la siguiente manera:

$$E(\text{dB}\mu\text{V}/m) = P(\text{dBm}) + 107 + K(\text{dB}/m)$$

Finalmente, para obtener los datos en forma lineal con el objetivo de compararlo con la normativa, se aplica lo siguiente:

$$E(\text{dBV}/m) = E(\text{dB}\mu\text{V}/m) - 120$$

$$E(\text{V}/m) = 10^{\left(\frac{E(\text{dBV}/m)}{20}\right)}$$

En este apartado se va a analizar en profundidad los datos recogidos en uno de los días, en concreto el 10 de julio. Además, se van a comparar los resultados obtenidos el resto de los días (en todos los casos promediados por 6 minutos) y para ello se muestra en forma de resumen un gráfico con los valores máximos y mínimos medidos durante toda la campaña y el porcentaje de los valores máximos con respecto a la normativa. Los resultados detallados de la campaña de medida completa se especifican en el Anexo III.

La Figura 22 representa la variación del campo eléctrico medido el 10 de julio durante el intervalo de tiempo de medida. El valor máximo se alcanza a las 17:29 con un campo eléctrico medido de 0,0062 V/m, al contrario, el valor mínimo se da a las 16:41 con 0,0039 V/m. El 90% de los valores medidos son inferiores a 0,0058 V/m, como indica el valor del percentil 90 de la Tabla 26.

Durante la campaña, el valor máximo se dio el 17 de julio a las 16:03 con un resultado de 0,01 V/m en el punto de medida P3. Dicho valor representa el 0,016% sobre la normativa, es decir, un valor muy por debajo al máximo permitido por la legislación. Los

valores mínimos se dieron los días 16, 17 y 18 de julio con un resultado de 0,0038 V/m en los puntos P3 y P4, es decir, el 0,00623% con respecto a la normativa.

En general, analizando los resultados no se ve ningún patrón de que los valores máximos y mínimos se den siempre en el mismo momento horario.

En el punto de medida P4 no hay gran variación en los resultados obtenidos con los dos equipos de medida como se detalla en la Tabla 25. Cabe mencionar que el nivel de ruido del analizador de espectros con la configuración de la Tabla 24 es de -66 dBm (0,00315 V/m).

Tabla 25. Comparativa valores medidos promediados por 6 minutos en P4 con dos equipos de medida distintos.

	Exposímetro EME SPY 200	Antena + analizador de espectros
E_{min} (V/m)	0,005	0,0038
E_{máx} (V/m)	0,0064	0,01

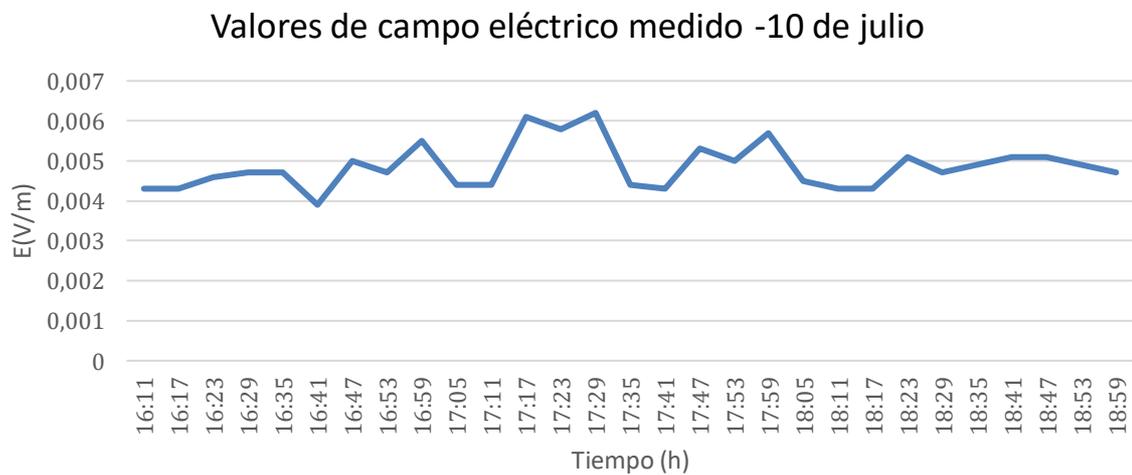


Figura 22. Valores de campo eléctrico medido el 10 de julio.

Tabla 26. Valores de interés sobre los niveles de campo eléctrico medidos.

10 de julio	Hora	E(dBμV/m)	E(V/m)	% del valor máx. sobre normativa
E_{max}	17:29	75,84	0,0062	0,0102
E_{min}	16:41	71,82	0,0039	0,00639
Valor medio	-	-	0,00483	-
Mediana	-	-	0,0047	-
Percentil 90	-	-	0,0058	-

Resumen de valores máximos y mínimos de campo eléctrico durante la campaña de medidas

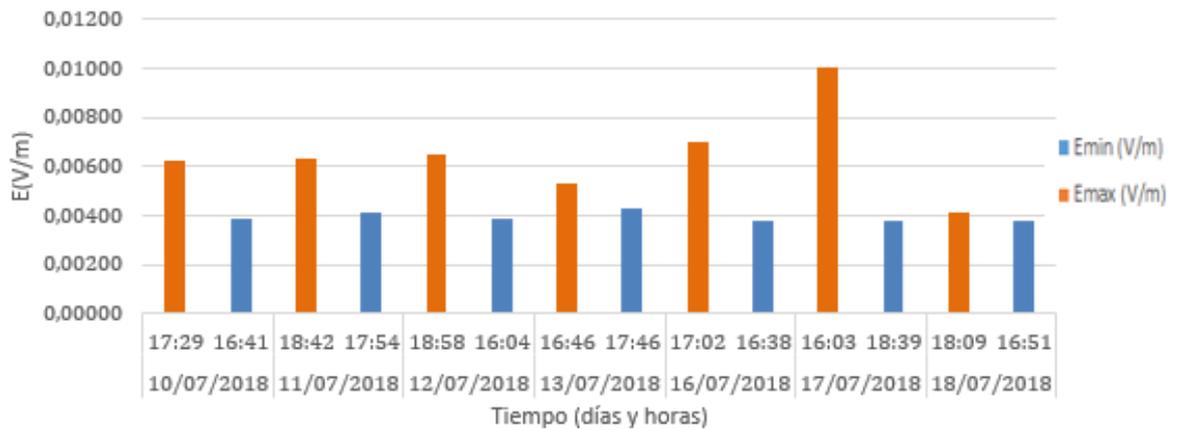


Figura 23. Resumen de valores máximos y mínimos medidos.

Porcentaje de los valores máximos medidos con respecto a la normativa

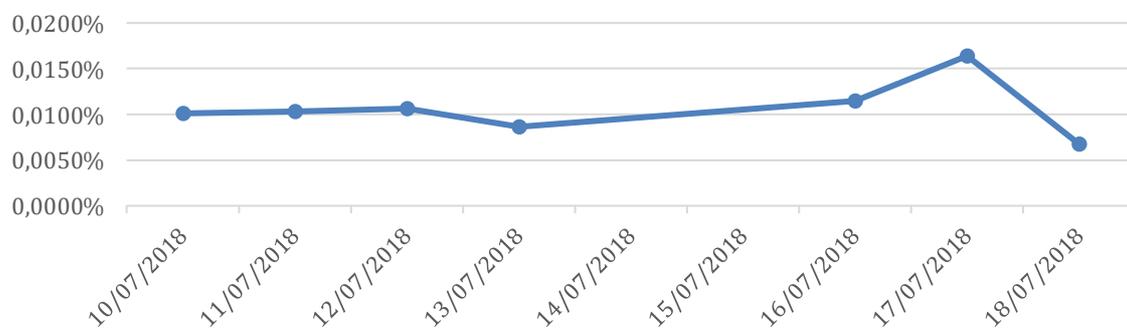


Figura 24. Porcentaje de los valores máximos medidos con respecto a la normativa.

8.5 Propuesta de diseño de la base de datos

Tomando como punto de partida la Tabla 13 del apartado del Estado del Arte, en este punto se va a llevar a cabo el diseño de la base de datos mediante el gestor de base de datos relacional Access como se ha especificado en el apartado 6.2 de este trabajo.

El sistema gestor de base de datos Access se apoya sobre el motor de base de datos MOTORJET, que es el encargado de interactuar con la base de datos (entiende cómo acceder a la información y manipularla), sirviendo a Access la información que necesite para que éste interactúe con el usuario.

Las partes de una base de datos de Access son las tablas, formularios, informes, consultas, macros y módulos.

La unificación de todos los datos de los estudios, se ha llevado mediante 6 tablas (EMPLAZAMIENTO, EQUIPAMIENTO, ESTUDIO, EXPOSICIÓN, MEDIDAS y NORMATIVA). Dichas tablas son el núcleo de la base de datos y permiten que los datos estén bien organizados y no se produzcan redundancias. Cada fila de una tabla se denomina registro. Cada registro está formado por uno o varios campos. Los campos equivalen a las columnas de la tabla. Cada tabla dispone de una clave primaria, que le permite ser identificada de forma única y crear relaciones entre distintas tablas para recuperar datos de ellas mediante una consulta, formulario o informe.

En la tabla de ESTUDIO, se especifican los títulos de los estudios analizados, los nombres de los autores, la ciudad/es en la que se ha llevado el estudio, una dirección de contacto, año de realización, un campo que identifica si se ha medido campo eléctrico o densidad de potencia y por último unas observaciones. Esta tabla está relacionada con las tablas de EXPOSICIÓN y MEDIDAS.

En la tabla de MEDIDAS, se recopila información sobre la distancia al transmisor, la altura de medición, el tiempo de monitorización, aunque no en todos los estudios se detallan, y los identificadores que les relacionan con las tablas de ESTUDIO y EXPOSICIÓN.

En EMPLAZAMIENTO se hace referencia al tipo de entorno, ya sea, urbano, rural, capital de ciudad o ciudad, y si se han realizado en zona de interior, exterior o ambas.

En EQUIPAMIENTO, se especifican el tipo de medidor utilizado, las características técnicas y una imagen del mismo.

En EXPOSICIÓN, están todos los servicios a los que se han hecho referencia en los estudios junto con los valores medidos (el campo eléctrico en V/m y la densidad de potencia en $\mu\text{W}/\text{m}^2$), unas observaciones, un indicador sobre medidas en interior o exterior y los identificadores que relacionan las tablas de ESTUDIO, EQUIPAMIENTO y EMPLAZAMIENTO.

Y, por último, en NORMATIVA, están almacenados cada valor de EXPOSICIÓN en % sobre el nivel de referencia para exposición poblacional de cada servicio, referente a la normativa del ANEXO I.

Las relaciones creadas entre las 6 tablas se pueden ver en la Figura 25.

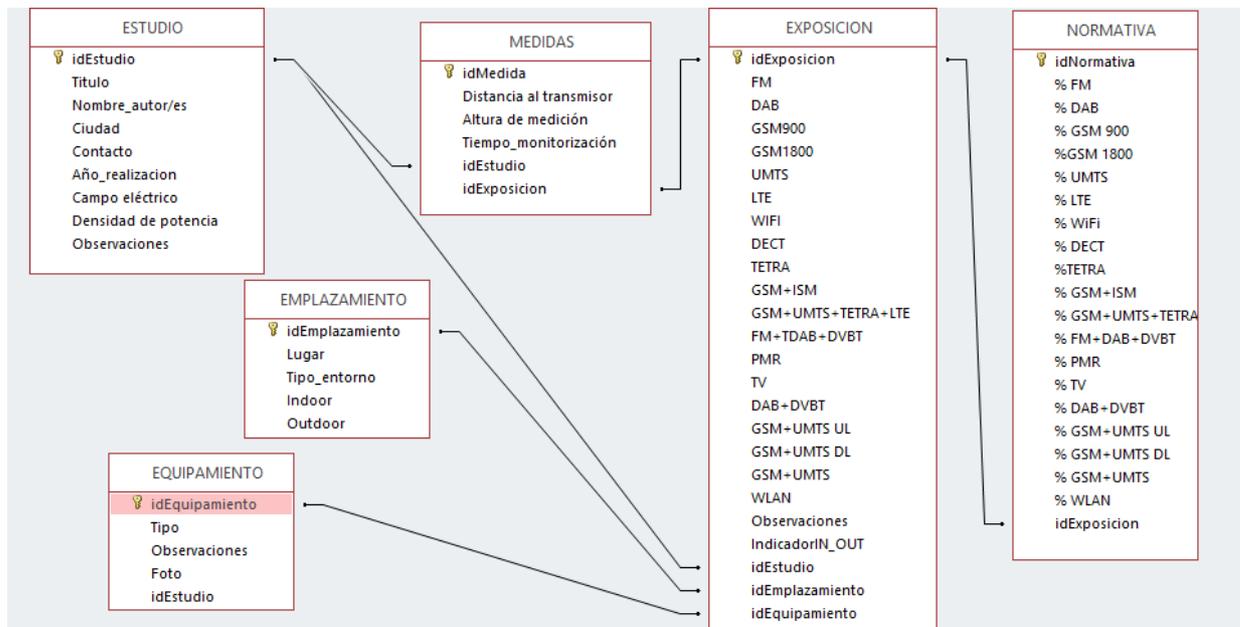


Figura 25. Relaciones entre las tablas.

A través de las consultas se pueden recuperar datos que están distribuidos en varias tablas, pudiendo además agregar criterios para filtrar los datos y obtener solo los registros de nuestro interés. Hay dos variedades de consultas: consultas de selección y consultas de acciones. Una consulta de selección, las que se van a llevar a cabo en este trabajo, simplemente recupera los datos y los presenta en pantalla para imprimirlos o copiarlos. En este trabajo se han llevado a cabo 5 consultas de selección, con el objetivo de dar respuesta a preguntas relevantes sobre el tema. En el Anexo III se especifican las consultas, el código SQL generado y el resultado obtenido.

9. DESCRIPCIÓN DE TAREAS

En este apartado, se presenta el plan de trabajo que se ha llevado a cabo a lo largo del proyecto y la planificación temporal de las diferentes tareas mediante el diagrama de Gantt. Esto permitirá obtener una visión global del trabajo realizado en el proyecto.

9.1 Paquetes de trabajo

Por cada paquete de trabajo se han estimado las duraciones aproximadas de cada tarea. En total el proyecto se lleva a cabo en 131 días, desde el 22 de enero de 2018 al 23 de julio de 2018.

Tabla 27. Paquetes de trabajo y tareas.

	Código	Nombre	Duración	Predecesor
1	PT1	DEFINICIÓN		
1.1	T.1.1	Reunión inicial para la definición del proyecto	1 día	
1.2	T.1.2	Definición de las primeras tareas a realizar	1 día	T.1.1
1.3	H1	Proyecto definido	0 días	T.1.2
2	PT2	ANÁLISIS		
2.1	T.2.1	Búsqueda bibliográfica de estudios sobre exposición de campos electromagnéticos al cuerpo humano	30 días	T.1.2
2.2	T.2.2	Análisis de los estudios y determinación de los parámetros a incluir en la base de datos	20 días	T.2.1
2.3	H2	Análisis finalizado	0 días	T.2.2
3	PT3	DISEÑO		
3.1	T.3.1	Parametrización y diseño de la base de datos	25 días	T.2.2
3.2	T.3.2	Diseño de la campaña de medidas	5 días	T.1.2
3.3	T.3.3	Realización de medidas	9 días	T.3.2
3.4	T.3.4	Procesado de las medidas	10 días	T.3.3
3.5	T.3.5	Población de la base de datos	15 días	T.3.4
3.6	H3	Diseño finalizado	0 días	T.3.5
4	PT4	CONCLUSIONES		
4.1	T.4.1	Realización de consultas en la base de datos	5 días	T.3.5
4.2	T.4.2	Obtención de conclusiones	10 días	H3
4.3	T.4.3	Redacción	30 días	T.4.1, T.4.2
4.4	H4	Proyecto finalizado	0 días	

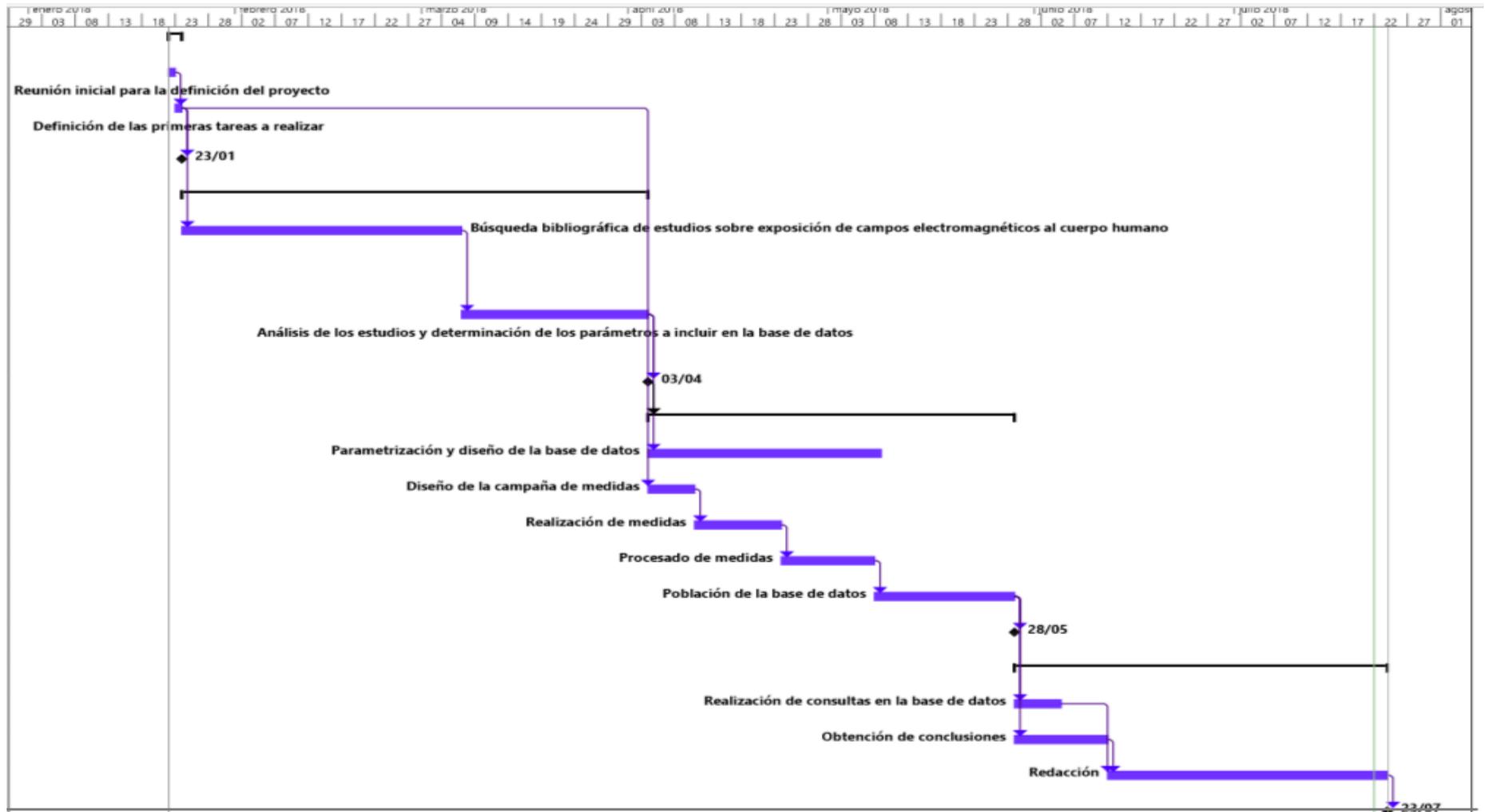


Figura 26. Diagrama de Gantt.

10. DESCARGO DE GASTOS

En este apartado se presenta un resumen de los gastos que se han realizado en el proyecto, una vez terminado el mismo, con el objetivo de justificar y conocer el coste total.

10.1 Equipo de trabajo

En este punto se especifican el número de personas que han trabajado en este proyecto y la labor realizada.

Tabla 28. Costes en equipo de trabajo

Nombre	Responsabilidad	Perfil	Coste unitario (€/hora)	Horas	Coste total (€)
Amaia Arrinda Sanzberro	Directora del proyecto	Ingeniera Senior	60	40	2.400,00
Marta Fernández Andrés	Codirectora del proyecto	Ingeniera Senior	60	40	2.400,00
Leyre López Pérez	Realizadora del proyecto	Ingeniera Junior	35	350	12.250,00
TOTAL					17.050,00

10.2 Material amortizable

En este apartado se han tenido en cuenta todos aquellos equipos utilizados para la realización del proyecto, los cuales ya se disponían previamente al inicio del proyecto, y por lo tanto se considera su depreciación en el periodo de realización del proyecto.

Los softwares Eme Spy Analysis V3 y FSC View se consideran amortizados, ya que son de uso gratuito y no generan ningún coste sobre el proyecto.

Tabla 29. Costes de material amortizable.

Descripción	Precio de adquisición (€)	Vida útil (meses)	Tiempo de utilización (meses)	Coste total (€)
Ordenador portátil	890	48	5	92,71
Microsoft Office	80	72	5	5,55
Sistema Operativo Windows 10	200	72	5	13,88
Exposímetro EME SPY 200	4.750	72	1/2	32,98
Antena bibanda WiFi	110	72	1/4	0,38
Analizador de espectros R&S FSC3	7.690	72	1/4	26,70
Matlab	1.000	72	1	13,88
EME SPY Analysis V3	-	-	-	-
FSC View	-	-	-	-
TOTAL				186,08

10.3 Resumen económico

En este punto se muestra el descargo de gastos completo, en el que se tienen en cuenta todos los gastos presentados en los apartados anteriores.

Tabla 30. Resumen económico.

Concepto	Subtotal (€)
Equipo de trabajo	17.050,00
Amortizaciones	186,08
Total	17.236,08

11. CONCLUSIONES

En este Trabajo de Fin de Grado titulado “Análisis y medidas de exposición electromagnética a servicios de radiofrecuencia” principalmente se han analizado varios estudios de exposición electromagnética a nivel global, se ha realizado una campaña de medidas, por una parte, considerando 20 servicios de RF distintos, y por otra parte, analizando únicamente el servicio WiFi en la banda de 2,4 GHz. Y, por último, se ha diseñado una base de datos con el objeto de disponer de los resultados estudiados y obtenidos de manera unificada.

De los estudios analizados se puede concluir que, en todos los casos, los niveles de campo eléctrico o la densidad de potencia medidos son mayores en el exterior, en comparación con el interior, como por ejemplo el caso más notable en el estudio 2, donde el valor máximo de campo eléctrico en el exterior ha sido 6,04 V/m, en comparación con el valor máximo en el interior de 3,1 V/m. Los resultados también varían de forma considerable en función de la distancia entre el punto de medida y el centro emisor. Así, se han medido valores menores a distancias mayores del emisor, debido a que la potencia recibida depende de la potencia de transmisión, de las ganancias de transmisión y recepción y de las pérdidas de espacio libre principalmente. Dichas pérdidas dependen de la distancia entre transmisor y receptor y de la frecuencia. Así a mayor distancia y mayor frecuencia, menor es la potencia recibida y, en consecuencia, menor es el valor de campo eléctrico. Por último, dentro de los estudios analizados, cabe destacar que los resultados obtenidos han sido mayores en zonas con densidad poblacional alta, obteniéndose niveles más altos en zonas urbanas y valores más bajos en zonas rurales.

En lo que respecta a los valores obtenidos en los 20 servicios distintos con el exposímetro, los máximos se dieron en los servicios de FM, LTE 800 (DL), GSM+UMTS 900 (DL), GSM 1800 (DL) y UMTS 2100 (DL). El valor máximo se midió en el servicio de UMTS 2100 (DL) con un resultado de 0,1649 V/m. Esto representa el 0,275% del total del valor límite de exposición, que para la frecuencia de 2100 MHz es de 61 V/m. En cuanto a los resultados obtenidos sobre WiFi en 2,4 GHz con la antena omnidireccional y el analizador de espectros, son muy parecidos a los obtenidos con el exposímetro, siendo el valor máximo obtenido igual a 0,01 V/m, esto es, 0,016% sobre el valor límite de referencia.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ilustración de espectro electromagnético. <<https://mx.depositphotos.com/129958274/stock-illustration-the-electromagnetic-spectrum.html>> [Consulta: 12 junio 2018]
- [2] Proyecto Internacional CEM. <<http://www.who.int/peh-emf/project/es/>> [Consulta: 1 julio 2018].
- [3] Base de datos de investigaciones sobre CEM. <<https://www.emf-portal.org/en>> [Consulta: 1 julio 2018].
- [4] Red de monitorización de frecuencias en Bilbao. <<https://monitoring.wavecontrol.com/es/public/bilbao/>> [Consulta: 5 junio 2018].
- [5] Especificaciones técnicas del dispositivo de monitoreo MONIT EM de Wavecontrol. <https://www.wavecontrol.com/rfsafety/images/data-sheets/es/MonitEM_Datasheet_ES.pdf> [Consulta: 5 julio 2018].
- [6] Recomendación para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos hasta 300 GHz de ICNIRP. <<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlesp.pdf>> [Consulta: 20 julio 2018].
- [7] Portal de Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital del Gobierno de España <<https://geoportal.minetur.gob.es/VCTEL/vcne.do>> [Consulta: 20 junio 2018].
- [8] Mapa de medidas de ambiente radioeléctrico en Bilbao. <http://www.geobilbao.eus/GsService/Main?gsservice=apps&gsrequest=getApplication&idapp=LITE&conf=/json_maps/geobilbao_maps//medioambiente/AmbienteRadioelectrico/AmbienteRadioelectrico.js> [Consulta: 20 julio 2018].
- [9] Agostinho Linhares, "Review on Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Field", National Telecommunications Agency (ANATEL), 2017.
- [10] Mimoza Ibrani et al, "In-Situ experimental evaluation of LTE downlink signal levels in vicinity of base transceiver stations in urban área", Faculty of Electrical and Computer Engineering, 2018.

- [11] Analizador de espectros SRM 3006 de NARDA. <https://www.narda-sts.us/pdf_files/SRM3006_DataSheet.pdf> [Consulta: 5 julio 2018].
- [12] Thiago Amaral and Syed Faraz Hasan, "Assessing electromagnetic radiation in our environment", 2016.
- [13] Especificaciones del medidor ElectroSmog TES 92. <http://www.tes.com.tw/en/product_detail.asp?seq=300> [Consulta: 20 julio 2018].
- [14] Leen Verloock et al, "Temporal 24 hour assesment of radiofrequency exposure in schools and homes", Department of Information Technology, Ghent University, 2013.
- [15] Sonda triaxial TS-EMF y analizador de espectros R&S. https://www.rohde-schwarz.com/es/producto/ts-emf-pagina-de-inicio-producto_63493-8174.html
[Consulta:
- [16] Gunter Vermeeren et al, "Spatial and Temporal RF Electromagnetic Field Exposure of Children and Adults in Indoor Micro Environments in Blegium and Greece", Julio 2013.
- [17] Especificaciones del exposímetro EME spy 121. <http://siwoninc.com/00_pdf/satimo/EMESpy121.pdf> [Consulta: 1 julio 2018].
- [18] Especificaciones del exposímetro EME SPY 140. <http://siwoninc.com/00_pdf/satimo/EMESpy140.pdf> [Consulta 1 julio 2018].
- [19] Jimmy Estenberg et al, "Extensive Frequency Selective Measurements of Radiofrequency Fields in Outdoor Environments Performed with a Novel Mobile Monitoring System", 2012.
- [20] Medidor NBM 550 de Narda. <<https://www.narda-sts.com/en/wideband-emf/nbm-550/>> y Sonda NBM 0391 de Narda <<https://www.narda-sts.com/en/wideband-emf/nbm-550/>> [Consulta: 15 julio 2018].
- [21] Especificaciones del exposímetro EME SPY 200. <http://www.temsystem.es/pdfs/EME_SPY_200.pdf> [Consulta: 15 junio 2018].
- [22] Antena bibanda omnidireccional de WiFi. <<https://www.antoniotomas.com/antenas-wifi-omni-24ghz/1749-antena-wifi-2-4-5-ghz-9-6-dbi.html>> y analizador de espectros FSC3 R&S <https://www.rohde-schwarz.com/es/producto/fsc-pagina-de-inicio-producto_63493-10891.html>
[Consulta: 10 julio 2018].
- [23] Tratamiento de la Señal y Radiocomunicaciones. <http://www.ehu.eus/tsr_radio/>
[Consulta: 20 julio 2018].

- [24] Ubicación de la Escuela de Ingeniería de Bilbao. <https://www.google.es/maps/search/escuela+ingenieria+de+bilbao/@43.262727,-2.9499674,18z> [Consulta: 20 julio 2018].
- [25] Recomendación 1999/519/CE. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=LEGISSUM%3Ac11545> [Consulta: 20 abril 2018].
- [26] Real Decreto 1066/2001. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-18256> [Consulta: 20 abril 2018].
- [27] Organización Mundial de la Salud. <<http://www.who.int/es>> [Consulta: 15 julio 2018].

ANEXO I: NORMATIVA APLICABLE

En Europa, la mayoría de las normas nacionales se basan en las recomendaciones elaboradas por la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones no ionizantes (ICNIRP) [6]. Esta organización publicó en 1998 unas directrices para limitar la exposición del público general y de los trabajadores a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo hasta los 300 GHz.

Basándose en estas directrices, el Consejo de la Unión Europea publicó en 1999 la recomendación 1999/519/CE [25] relativa a la exposición del público en general, que establece una serie de restricciones básicas y niveles de referencia para limitar la exposición de los ciudadanos a fuentes artificiales de CEM.

Estas recomendaciones no son vinculantes, por lo que cada país de la Unión Europea establece sus propias normas nacionales sobre exposición a campos electromagnéticos. El Estado publicó en 2001 el **Real Decreto 1066/2001** [26] por el que se aprueba el reglamento que establece las condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.

ICNIRP

Es una organización no gubernamental, reconocida formalmente por la OMS [27] que, basándose en el análisis de estudios científicos realizados en todo el mundo, elabora unas recomendaciones en las que establece límites de exposición a los CEM. Los límites propuestos se basan en efectos para la salud inmediatos proveniente de exposiciones a corto plazo.

ICNIRP está formada por expertos científicos independientes y trabaja en estrecha colaboración con otras organizaciones y agencias nacionales e internacionales relacionadas con la protección de la salud como, entre otras: la OMS, la Organización Internacional del Trabajo (OIT), y la asociación Internacional de Protección contra las Radiaciones (IRPA).

Las recomendaciones presentadas se aplican a la exposición ocupacional y poblacional y periódicamente son revisadas y actualizadas con los avances realizados en la identificación de los efectos adversos a la salud provenientes de los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo.

- **Exposición ocupacional:** Adultos que generalmente están expuestos bajo condiciones conocidas y que son conscientes del riesgo potencial para tomar precauciones adecuadas.
- **Exposición a público en general:** Individuos de todas las edades y de estados de salud variables que en muchos casos no son conscientes de su exposición a los CEM. En Este caso las restricciones son más estrictas, ya que no se puede esperar que los miembros individuales del público tomen precauciones razonables para minimizar o evitar su exposición.

Se diferencian dos clases de recomendaciones:

- Restricciones básicas.
- Niveles de referencia.

Restricciones básicas: Son las restricciones de la exposición a los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos de tiempo variable, basadas directamente en los efectos sobre la salud. Dependiendo de la frecuencia del campo, las cantidades físicas empleadas para especificar estas restricciones son las que se especifican en la Tabla 1.

Tabla 31. Cantidades físicas que especifican las restricciones básicas.

Cantidad física	Símbolo	Unidad de medida
Densidad de corriente (entre 1 Hz y 10 MHz)	<i>J</i>	<i>A/m²</i>
Índice de absorción específica de energía (entre 100 kHz y 10 GHz)	<i>SAR</i>	<i>W/kg</i>
Densidad de potencia (entre 10 GHz y 300 GHz)	<i>S</i>	<i>W/m²</i>

Niveles de Referencia: Estos niveles se ofrecen a efectos prácticos de evaluación de la exposición para determinar la probabilidad de que se sobrepasen las restricciones básicas. Algunos niveles de referencia se derivan de las restricciones básicas utilizando

mediciones o técnicas computerizadas. Las cantidades que especifican los niveles de referencia son las siguientes:

Tabla 32. Cantidades físicas que representan los niveles de referencia.

Cantidad física	Símbolo	Unidad de medida
Campo eléctrico	E	V/m
Intensidad de campo magnético	H	A/m
Densidad de flujo magnético	B	T
Densidad de potencia	S	W/m^2
Corrientes que fluyen a través de las extremidades	I_L	A

En cualquier situación particular de exposición, los valores medidos o calculados de cualquiera de esas cantidades pueden compararse con el nivel de referencia adecuado. **El cumplimiento del nivel de referencia, garantizará el cumplimiento con la restricción básica.**

Que el valor medido sobrepase el nivel de referencia, no quiere decir necesariamente que se vaya a sobrepasar la restricción básica. Pero en esas circunstancias es necesario comprobar si se respeta la restricción básica.

A continuación, se muestran los valores de las restricciones básicas y niveles de referencia proporcionados por la ICNIRP para a población ocupacional y el público en general:

Tabla 33. RESTRICCIONES BÁSICAS para densidades de corriente, SAR de cuerpo promedio y SAR localizado para frecuencias entre 1Hz y 10 GHz para EXPOSICIÓN OCUPACIONAL.

Rango de frecuencias	Densidad de corriente para cabeza y tronco mA/m^2 (rms)	SAR promedio en todo el cuerpo W/kg	SAR localizado cabeza y tronco W/kg	SAR localizado extremidades W/kg
Hasta 1 Hz	40	--	--	--
1-4 Hz	40/f	--	--	--
4 Hz- 1 kHz	10	--	--	--
1-100 kHz	f/100	--	--	--
100 kHz- 10 MHz	f/100	0,4	10	20
10 MHz- 10 GHz	--	0,4	10	20

Tabla 34. RESTRICCIONES BÁSICAS para densidades de corriente, SAR de cuerpo promedio y SAR localizado para frecuencias entre 1Hz y 10 GHz para el PÚBLICO EN GENERAL.

Rango de frecuencias	Densidad de corriente para cabeza y tronco mA/m^2 (rms)	SAR promedio en todo el cuerpo W/kg	SAR localizado cabeza y tronco W/kg	SAR localizado extremidades W/kg
Hasta 1 Hz	8	--	--	--
1-4 Hz	8/f	--	--	--
4 Hz- 1 kHz	2	--	--	--
1-100 kHz	f/500	--	--	--
100 kHz- 10 MHz	f/500	0,08	2	4
10 MHz- 10 GHz	--	0,08	2	4

Notas:

1. f es la frecuencia en Hz.
2. Las densidades de corriente deberían ser promediadas sobre una sección transversal de 1 cm^2 , perpendicular a la dirección de la corriente.
3. Todos los valores de SAR, deben ser promediados sobre cualquier periodo de 6 minutos.
4. La masa para promediar el SAR localizado es cualquier tipo de tejido contiguo de 10 g de masa; el máximo SAR así obtenido debería ser el valor usado para la estimación de la exposición.

Los efectos biológicos y a la salud establecidos en el rango de frecuencias de 10 MHz a unos pocos GHz son consistentes con las respuestas al incremento de temperatura del cuerpo en más de 1°C .

Tabla 35. RESTRICCIONES BÁSICAS para densidad de potencia para frecuencias entre 10 y 300 GHz.

Tipo de exposición	Densidad de Potencia (W/m^2)
Exposición ocupacional	50
Exposición a público en general	10

Notas:

1. Las densidades de potencia deben ser promediadas sobre cualquier área expuesta de 20 cm^2 y sobre cualquier periodo de $68/f^{1.05}$ minutos (f en GHz).
2. Las densidades de potencia máximas espaciales promediadas sobre 1 cm^2 no deberían exceder 20 veces los valores antes mencionados.

Tabla 36. NIVELES DE REFERENCIA para EXPOSICIÓN OCUPACIONAL a campos eléctricos y magnéticos (valores rms).

Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico V/m	Intensidad de campo magnético A/m	Densidad de flujo magnético μT	Densidad de Potencia W/m^2
Hasta 1 Hz	--	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	--
1 – 8 Hz	20.000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	--
8 – 25 Hz	20.000	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^4 / f$	--
0.025 – 0.82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	--
0.82 – 65 kHz	610	24,4	30,7	--
0.065 – 1 MHz	610	$1,6 / f$	$2 / f$	--
1 – 10 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	$2 / f$	--
10 – 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 – 2000 MHz	$3f^{0,5}$	$0,008f^{0,5}$	$0,01f^{0,5}$	$f/40$
2 – 300 GHz	137	0,36	0,45	50

Tabla 37. NIVELES DE REFERENCIA para EXPOSICIÓN del público en general a campos eléctricos y magnéticos (valores rms).

Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico V/m	Intensidad de campo magnético A/m	Densidad de flujo magnético μT	Densidad de Potencia W/m^2
Hasta 1 Hz	--	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	--
1 – 8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	--
8 – 25 Hz	10.000	$4000 / f$	$5000 / f$	--
0.025 – 0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	--
0.8 – 3 kHz	$250 / f$	5	6,25	--
3 – 150 kHz	87	5	6,25	--
0.15 – 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	--
1 – 10 MHz	$87 / f^{0,5}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	--
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2000 MHz	$1,375f^{0,5}$	$0,0037f^{0,5}$	$0,0046f^{0,5}$	$f/200$
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10

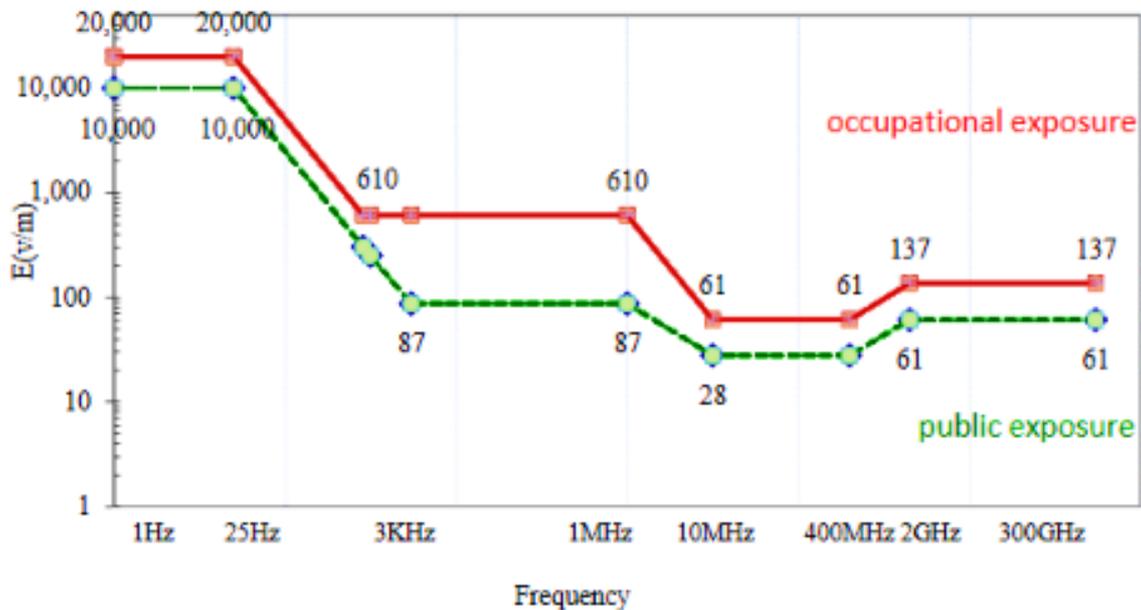


Figura 27. Resumen de los valores de NIVELES DE REFERENCIA para exposición ocupacional y de público en general.

Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre – Normativa Española

Reglamento que establece las condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas con la coordinación del Ministerio de Ciencia y Tecnología y el de Sanidad y Consumo.

Para estas últimas se establecen unos límites de exposición del público en general a campos electromagnéticos procedentes de emisiones radioeléctricas, acordes con las recomendaciones europeas. Para garantizar la protección se establecen unas restricciones básicas y unos niveles de referencia. Los valores coinciden con los establecidos por ICNIRP excepto en los niveles de referencia que en la frecuencia de 10-400 MHz la intensidad de campo magnético es $0,73/f$.

ANEXO II: CONSULTAS A LA BASE DE DATOS

CONSULTA 1

¿Qué estudios han medido sobre el servicio de LTE (conociendo los valores de campo eléctrico o densidad de potencia) y durante cuánto tiempo se ha monitorizado la exposición?

CÓDIGO SQL

```

SELECT ESTUDIO.idEstudio, EXPOSICION.LTE, MEDIDAS.Tiempo_monitorización,
ESTUDIO.[Campo eléctrico], ESTUDIO.[Densidad de potencia]

FROM (ESTUDIO INNER JOIN EXPOSICION ON ESTUDIO.idEstudio = EXPOSICION.idEstudio)
INNER JOIN MEDIDAS ON (EXPOSICION.idExposicion = MEDIDAS.idExposicion) AND
(ESTUDIO.idEstudio = MEDIDAS.idEstudio)

WHERE (((EXPOSICION.LTE)>0));
  
```

idEstudio	LTE	Tiempo_mo	Campo eléc	Densidad de potencia
2	0,4	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	1	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	3,5	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	0,15	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	0,5	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	0,8	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	1,3	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	6,04	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	0,6	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	1,7	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	0,4	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	0,1	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	0,35	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	0,4	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	2,1	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	0,8	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	0,8	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	0,2	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	0,3	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	3,5	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	1,2	5 horas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	39	10,5 horas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	270	10,5 horas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	1300	10,5 horas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	600	10,5 horas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 28. Resultado de la CONSULTA 1.

CONSULTA 2

¿Qué estudios no cumplirían la normativa si el valor de referencia sobre GSM 1800 fuese de 1,7 V/m, es decir, se redujese en un 97,08%?

CÓDIGO SQL

```

SELECT ESTUDIO.idEstudio, EXPOSICION.FM
FROM ESTUDIO INNER JOIN EXPOSICION ON ESTUDIO.idEstudio = EXPOSICION.idEstudio
WHERE (((EXPOSICION.FM)>1.7) AND ((ESTUDIO.[Campo eléctrico])=True));
  
```

idEstudio	FM	Titulo
2,88		Review on human exposure to Radiofrequency Electromagnetic Field

Figura 29. Resultado de la CONSULTA 2.

CONSULTA 3

¿Cuáles son los estudios que se han llevado a cabo en colegios y qué tipo de medidor se ha utilizado?

CÓDIGO SQL

```

SELECT ESTUDIO.idEstudio, EMPLAZAMIENTO.Lugar, EQUIPAMIENTO.Tipo,
EXPOSICION.Observaciones
FROM EQUIPAMIENTO INNER JOIN (EMPLAZAMIENTO INNER JOIN (ESTUDIO INNER JOIN
EXPOSICION ON ESTUDIO.idEstudio = EXPOSICION.idEstudio) ON
EMPLAZAMIENTO.idEmplazamiento = EXPOSICION.idEmplazamiento) ON (ESTUDIO.idEstudio =
EQUIPAMIENTO.idEstudio) AND (EQUIPAMIENTO.idEquipamiento =
EXPOSICION.idEquipamiento)
WHERE (((EXPOSICION.idEmplazamiento)=4));
  
```

idEstudio	Lugar	Tipo	Observaciones
3	Escuela	Exposímetro EME SPY 121 + Exposímetro EME SPY 140	Colegio Grecia
4	Escuela	Sonda triaxial R&S TS-EMF + Analizador de espectros R&S FSL6	Colegio Belgica estudio 4
5	Escuela	Exposímetro EME SPY 140	Colegio Belgica

Figura 30. Resultado de la CONSULTA 3.

CONSULTA 4

¿Qué estudios y dónde se han medido sobre los servicios de FM, WiFi, GSM900 y GSM1800?, ¿Cuáles han sido los valores obtenidos? ¿A qué altura y qué tipo de medidor se utilizó? ¿Fue en entornos de interior o exterior?

CÓDIGO SQL

```

SELECT ESTUDIO.idEstudio, ESTUDIO.Ciudad, EXPOSICION.GSM900, EXPOSICION.GSM1800,
EXPOSICION.FM, EXPOSICION.WIFI, MEDIDAS.[Altura de medición], EQUIPAMIENTO.Tipo,
EQUIPAMIENTO.Foto, EMPLAZAMIENTO.Indoor, EMPLAZAMIENTO.Outdoor

FROM EMPLAZAMIENTO INNER JOIN (EQUIPAMIENTO INNER JOIN ((ESTUDIO INNER JOIN
EXPOSICION ON ESTUDIO.idEstudio = EXPOSICION.idEstudio) INNER JOIN MEDIDAS ON
(EXPOSICION.idExposicion = MEDIDAS.idExposicion) AND (ESTUDIO.idEstudio =
MEDIDAS.idEstudio)) ON (ESTUDIO.idEstudio = EQUIPAMIENTO.idEstudio) AND
(EQUIPAMIENTO.idEquipamiento = EXPOSICION.idEquipamiento)) ON
EMPLAZAMIENTO.idEmplazamiento = EXPOSICION.idEmplazamiento

WHERE (((EXPOSICION.GSM900)>0) AND ((EXPOSICION.GSM1800)>0) AND
((EXPOSICION.FM)>0) AND ((EXPOSICION.WIFI)>0));
  
```

idEst	FM	GSM900	GSM1800	WIFI	Tipo	Altura de medición	Indoor	Outdoor
4					1,7 Sonda triaxial R&S TS-EMF + Analizador de espectros R&S FSL6	1,7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4					0,68 Sonda triaxial R&S TS-EMF + Analizador de espectros R&S FSL6	1,7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	1,31	1,59	0,19	0,24	Exposímetro EME SPY 140		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	0,68	1,11	0,26	0,77	Exposímetro EME SPY 140		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	0,45	0,96	0,55	0,44	Exposímetro EME SPY 140		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	0,32	0,37	0,2	0,32	Exposímetro EME SPY 140		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	0,18	0,24	1,57	0,2	Exposímetro EME SPY 121 + Exposímetro EME SPY 140		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	1,48	0,96	0,35	0,19	Exposímetro EME SPY 121 + Exposímetro EME SPY 140		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	0,44	0,85	0,47	0,07	Exposímetro EME SPY 121 + Exposímetro EME SPY 140		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	0,18	0,15	0,14	0,31	Exposímetro EME SPY 121 + Exposímetro EME SPY 140		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9					0,01 Antena omnidireccional bibanda + analizador de espectros R&S FSC3	1,5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 31. Resultado de la CONSULTA 4.

CONSULTA 5

¿Qué estudio/estudios han realizado medidas sobre TETRA?, ¿Cuáles son los resultados (bien en campo eléctrico o densidad de potencia) y a qué porcentaje sobre la normativa corresponde?, ¿Qué tipo de medidor se utilizó y en qué entorno se hizo?

CÓDIGO SQL

```

SELECT ESTUDIO.idEstudio, ESTUDIO.Titulo, ESTUDIO.[Campo eléctrico], ESTUDIO.[Densidad de potencia],
EXPOSICION.TETRA, NORMATIVA.[%TETRA], EQUIPAMIENTO.Tipo,
EMPLAZAMIENTO.Lugar, EMPLAZAMIENTO.Tipo_entorno, EMPLAZAMIENTO.Outdoor,
EMPLAZAMIENTO.Indoor
  
```

```

FROM EMPLAZAMIENTO INNER JOIN (EQUIPAMIENTO INNER JOIN ((ESTUDIO INNER JOIN
EXPOSICION ON ESTUDIO.idEstudio = EXPOSICION.idEstudio) INNER JOIN NORMATIVA ON
EXPOSICION.idExposicion = NORMATIVA.idExposicion) ON (EQUIPAMIENTO.idEquipamiento =
EXPOSICION.idEquipamiento) AND (EQUIPAMIENTO.idEstudio = ESTUDIO.idEstudio)) ON
EMPLAZAMIENTO.idEmplazamiento = EXPOSICION.idEmplazamiento
  
```

```

WHERE (((EXPOSICION.TETRA)>0));
  
```

idE	Campo eléc	Densidad	TETR	%TETRA	Tipo	Lugar	Tipo_entorr	Outdo	Indoor
5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,17	0,59	Exposímetro EME SPY 140	Escuela	Urbano	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,09	0,32	Exposímetro EME SPY 140	Guarderías	Urbano	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,03	0,11	Exposímetro EME SPY 140	Oficinas	Urbano	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,04	0,14	Exposímetro EME SPY 140	Hogares	Urbano	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3	0,00025	Antena triaxial SATIMO 30 MHz- 3 GHz R&S + Analiador de espectros FSL6	CocheRural	Rural	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5,4	0,000279	Antena triaxial SATIMO 30 MHz- 3 GHz R&S + Analiador de espectros FSL6	CocheUrbano	Urbano	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	6	0,00035	Antena triaxial SATIMO 30 MHz- 3 GHz R&S + Analiador de espectros FSL6	CocheCapitalCiudad	Capital_ciudad	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	7,6	0,000447	Antena triaxial SATIMO 30 MHz- 3 GHz R&S + Analiador de espectros FSL6	CocheCiudad	Ciudad	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 32. Resultado de la CONSULTA 5.

ANEXO III: RESULTADOS DE LAS MEDIDAS REALIZADAS SOBRE EL SERVICIO WiFi

- **11 de julio medidas en P1**

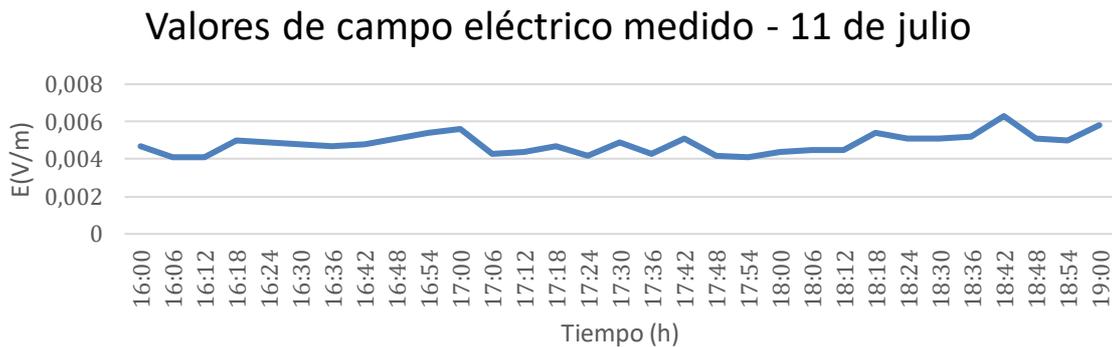


Figura 33. Valores de campo eléctrico medido, 11 de julio.

Tabla 38. Resultados de las medidas, 11 de julio.

11 de julio	Hora	E(dBμV/m)	E(V/m)	% del valor máx. sobre normativa
E_{max}	18:42	75,98	0,0063	0,0103
E_{min}	17:54	72,25	0,0041	0,00672
Valor medio	-	-	0,0048	-
Mediana	-	-	0,0048	-
Percentil 90	-	-	0,00556	-

- **12 de julio medidas en P2**

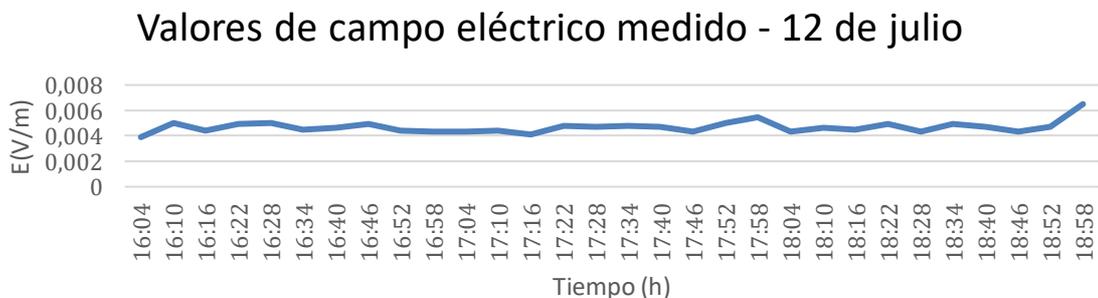


Figura 34. Valores de campo eléctrico medido, 12 de julio

Tabla 39. Resultados de las medidas, 12 de julio.

12 de julio	Hora	E(dB μ V/m)	E(V/m)	% del valor máx. sobre normativa
E_{max}	18:58	76,25	0,0065	0,0106
E_{min}	16:04	71,82	0,0039	0,00639
Valor medio	-	-	0,00465	-
Mediana	-	-	0,00465	-
Percentil 90	-	-	0,005	-

▪ **13 de julio medidas en P2**

Valores de campo eléctrico medido - 13 de julio

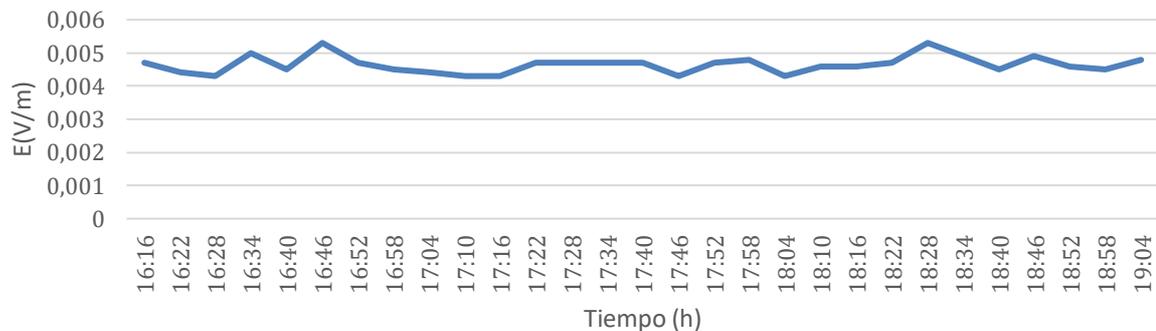


Figura 35. Valores de campo eléctrico medido, 13 de julio.

Tabla 40. Resultados de las medidas, 13 de julio.

13 de julio	Hora	E(dB μ V/m)	E(V/m)	% del valor máx. sobre normativa
E_{max}	16:46	74,48	0,0053	0,00868
E_{min}	17:46	72,66	0,0043	0,00705
Valor medio	-	-	0,00464	-
Mediana	-	-	0,0047	-
Percentil 90	-	-	0,005	-

▪ **16 de julio medidas en P3**

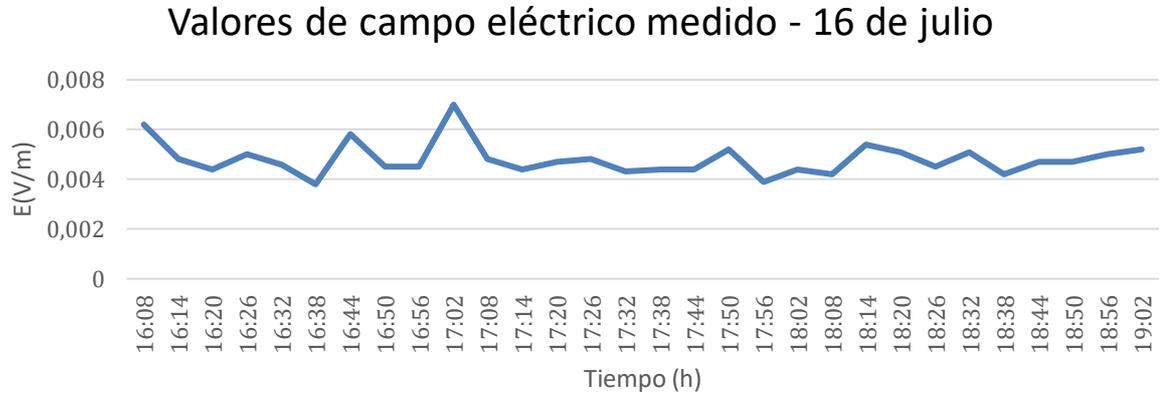


Figura 36. Valores de campo eléctrico medido, 16 de julio.

Tabla 41. Resultados de las medidas, 16 de julio.

16 de julio	Hora	E(dB μ V/m)	E(V/m)	% del valor máx. sobre normativa
E_{max}	17:02	76,9	0,007	0,0115
E_{min}	16:38	71,59	0,0038	0,00623
Valor medio	-	-	0,00476	-
Mediana	-	-	0,0047	-
Percentil 90	-	-	0,00576	-

▪ **17 de julio medidas en P3**

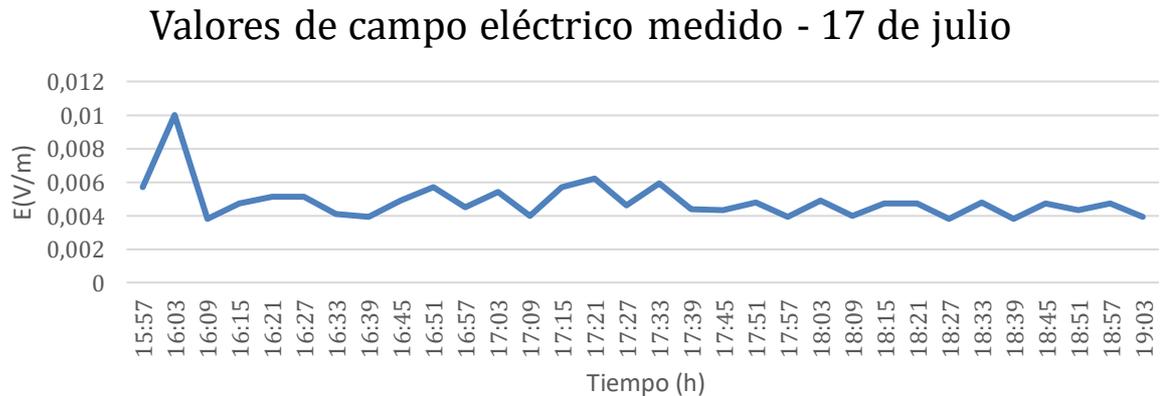


Figura 37. Valores de campo eléctrico medido, 17 de julio.

Tabla 42. Resultados de las medidas, 17 de julio.

17 de julio	Hora	E(dB μ V/m)	E(V/m)	% del valor máx. sobre normativa
E_{max}	16:03	80	0,01	0,016
E_{min}	18:39	71,59	0,0038	0,00623
Valor medio	-	-	0,00474	-
Mediana	-	-	0,0047	-
Percentil 90	-	-	0,00584	-

▪ **18 de julio medidas en P4**

Valores de campo eléctrico medido - 18 de julio

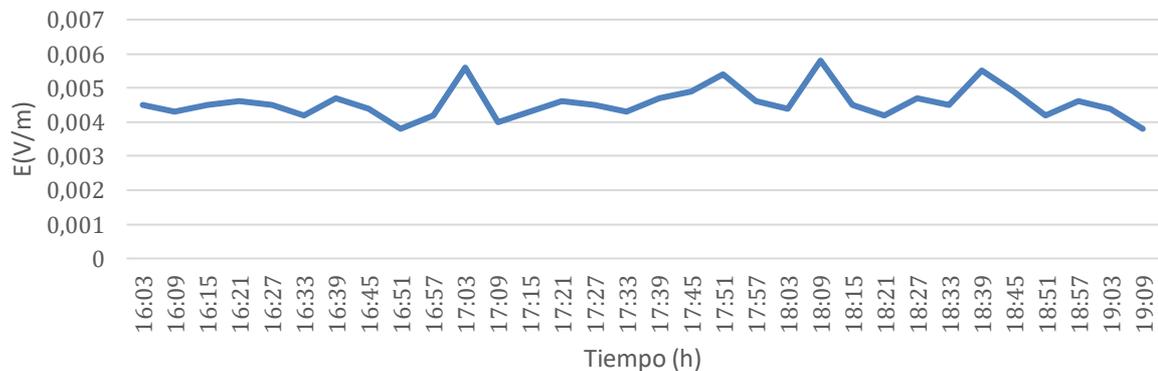


Figura 38. Valores de campo eléctrico medido, 18 de julio.

Tabla 43. Resultados de las medidas, 18 de julio.

18 de julio	Hora	E(dB μ V/m)	E(V/m)	% del valor máx. sobre normativa
E_{max}	18:09	72,27	0,0058	0,0095
E_{min}	16:51	71,59	0,0038	0,00623
Valor medio	-	-	0,00454	-
Mediana	-	-	0,0045	-
Percentil 90	-	-	0,00547	-