



ESCUELA POLITÉCNICA



UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

ESCUELA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA DE SONIDO E IMAGEN EN
TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

**Estudio de la variabilidad espacial y temporal
de la exposición a campos electromagnéticos
en el interior de un edificio aplicando metodología GIS**



ESCUELA POLITÉCNICA



UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

ESCUELA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA EN SONIDO E IMAGEN EN
TELECOMUNICACIONES

TRABAJO FIN DE GRADO

**Estudio de la variabilidad espacial y temporal
de la exposición a campos electromagnéticos
en el interior de un edificio aplicando metodología GIS**

Autor: Raúl Pilo Boyero

Tutor: M^a Montaña Rufo Pérez

Co-Tutor: Alicia Antolín Salazar

Resumen

El título del proyecto que se presenta es el siguiente: "Estudio de la variabilidad espacial y temporal de la exposición a campos electromagnéticos en el interior de un edificio aplicando metodología GIS".

El objetivo general de este proyecto es analizar la variabilidad de los niveles de campo eléctrico para distintas bandas del espectro electromagnético, en el interior de un edificio.

El estudio se ha llevado a cabo en la planta baja del pabellón de informática, pabellón que forma parte de la Escuela Politécnica, situado en el Campus Universitario de Cáceres. Se realizaron 42 medidas para la caracterización espacial, cada una en una estancia diferente, excepto en el pasillo, donde se han tomado 12 medidas respetando una distancia entre ellas de 5 metros. Además, se tomaron 9 medidas temporales, realizadas en un punto fijo del pabellón para estudiar la variabilidad temporal.

Previamente al estudio espacial y temporal se realizó un estudio inicial para determinar el tiempo necesario para tomar la medida en cada punto, atendiendo a obtener la menor dispersión temporal en cada medida.

Las medidas se han realizado con el dosímetro EME Spy 200, de la marca Satimo.

Este dispositivo es capaz de medir 20 bandas selectivas entre 88 y 5850 MHz. Además, mide independientemente las señales ascendentes y descendentes en las bandas de telefonía móvil, incluyendo las bandas de frecuencia LTE 800 MHz / 2600 MHz.

Los valores del campo eléctrico obtenidos en las medidas se han tratado de manera estadística usando la herramienta Excel de Microsoft Office. La representación gráfica de los mismos se ha empleado el software QGis 3, un sistema de georeferencia espacial, cuya utilidad será la de elaborar las interpolaciones necesarias para una adecuada representación espacial.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. ¿Qué son las emisiones radioeléctricas y los campos electromagnéticos?	2
1.2. Posibles efectos adversos a los seres humanos	5
1.3. Marco Legislativo	6
2. Objetivos	9
3. Estado del Arte	11
4. Material y método	15
4.1. Situación geográfica	15
4.2. Características del pabellón de Informática	16
4.3. Descripción de los principales focos de emisión	18
4.4. Materiales utilizados	20
4.5. Estudio inicial	22
4.6. Estudio Temporal	23
4.7. Estudio Espacial	23
5. Resultados	25
5.1. Estudio inicial	25
5.2. Estudio Temporal	29
5.3. Estudio Espacial	35
5.3.1. FM	35

5.3.2.	LTE 800	38
5.3.3.	GSM + UMTS 900	40
5.3.4.	GSM 1800	42
5.3.5.	UMTS 2100	44
5.3.6.	WIFI 2G	46
5.3.7.	WIFI 5G	48
5.3.8.	Comparación con otros estudios	50
6.	Conclusiones y trabajos futuros	51
	Bibliografía	53

Índice de tablas

1.1. Potencia Radiada Aparente por las antenas de TV y sus canales en la ciudad de Cáceres	5
4.1. Descripción de cada medida realizada	17
4.2. Datos técnicos de la antena de telefonía situada en la Escuela Politécnica	20
4.3. Frecuencia y sensibilidad de cada banda del EME SPY 200	22
5.1. Valores de desviación estándar obtenidos para un tiempo de medición de 2 minutos	26
5.2. Valores de desviación estándar obtenidos para un tiempo de medición de 6 minutos	26
5.3. Valores de desviación estándar obtenidos para un tiempo de medición de 10 minutos	27
5.4. Valores medios obtenidos en cada una de las bandas estudiadas y su porcentaje de valores por encima del umbral	28
5.5. Valores estadísticos del campo eléctrico del estudio temporal para las diferentes bandas de frecuencia. S.D: Desviación Estándar. C.V (%): Coeficiente de variación (%)	30
5.6. Valores estadísticos del estudio espacial para la banda FM. S.D: Desviación Estándar. C.V (%): Coeficiente de variación (%)	36
5.7. Valores estadísticos del estudio espacial para la banda LTE 800. S.D: Desviación Estándar. C.V (%): Coeficiente de variación (%)	38

5.8.	Valores estadísticos del estudio espacial para la banda GSM + UMTS 900. S.D: Desviación Estándar. C.V (%): Coeficiente de variación (%)	40
5.9.	Valores estadísticos del estudio espacial para la banda GSM 1800. S.D: Desviación Estándar. C.V (%): Coeficiente de variación (%)	42
5.10.	Valores estadísticos del estudio espacial para la banda GSM 2100. S.D: Desviación Estándar. C.V (%): Coeficiente de variación (%)	44
5.11.	Valores estadísticos del estudio espacial para la banda WIFI 2G. S.D: Desviación Estándar. C.V (%): Coeficiente de variación (%)	46
5.12.	Valores estadísticos del estudio espacial para la banda WIFI 5G. S.D: Desviación Estándar. C.V (%): Coeficiente de variación (%)	48

Índice de figuras

1.1. Esquema de una onda electromagnética con sus campos eléctricos y magnéticos asociados	2
1.2. Espectro Electromagnético	3
1.3. Niveles de referencia para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos especificados en el RD 1066/2001	7
4.1. Situación geográfica del lugar de estudio	15
4.2. Descripción del lugar de estudio	16
4.3. Puntos de medición en el edificio de Informática	17
4.4. Situación de los puntos de acceso a los servicios WIFI del pabellón de Informática	19
4.5. Información sobre instalaciones Radioeléctricas y Niveles de Exposición	20
4.6. Medidor de campo electromagnético EME SPY 200	21
5.1. Variación del campo eléctrico del campo eléctrico medio en las bandas de FM, WIFI 2G y la banda Total	29
5.2. Variación temporal del campo eléctrico medio entre las bandas de FM y la banda Total	31
5.3. Variación temporal del campo eléctrico medio en las bandas de bajada de Telefonía Móvil	31
5.4. Variación temporal del campo eléctrico medio en las bandas de WIFI .	32
5.5. Diagrama de cajas de las bandas de WIFI y FM	33
5.6. Diagrama de cajas de todas las bandas de bajada de telefonía	34

5.7. Variación espacial del campo eléctrico en la banda de FM	36
5.8. Interpolación de los datos obtenidos para la banda de FM	37
5.9. Variación espacial del campo eléctrico en la banda de bajada de LTE 800	38
5.10. Interpolación de los datos obtenidos para la banda de bajada LTE 800	39
5.11. Variación espacial del campo eléctrico en la banda de bajada de GSM + UMTS 900	40
5.12. Interpolación de los datos obtenidos para la banda de bajada GSM + UMTS 900	41
5.13. Variación espacial del campo eléctrico en la banda de bajada de GSM 1800	42
5.14. Interpolación de los datos obtenidos para la banda de bajada GSM 1800	43
5.15. Variación espacial del campo eléctrico en la banda de bajada de UMTS 2100	44
5.16. Interpolación de los datos obtenidos para la banda de bajada UMTS 2100	45
5.17. Variación espacial del campo eléctrico en la banda de WIFI 2G	46
5.18. Interpolación de los datos obtenidos para la banda de WIFI 2G	47
5.19. Variación espacial del campo eléctrico en la banda de WIFI 5G	48
5.20. Interpolación de los datos obtenidos para la banda de WIFI 5G	49

Capítulo 1

Introducción



1.1. ¿Qué son las emisiones radioeléctricas y los campos electromagnéticos?

Los CEM son combinaciones de dos ondas, las eléctricas y las magnéticas, que se propagan simultáneamente a través del espacio transportando energía. Los campos eléctricos y magnéticos de una onda electromagnética son perpendiculares entre sí y perpendiculares a la dirección de propagación de la onda, tal y como podemos ver en la figura 1.1:

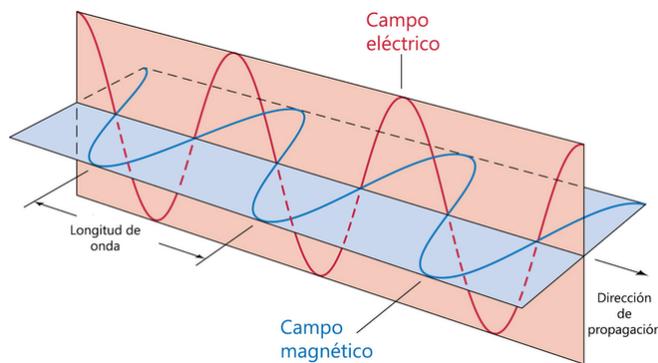


Figura 1.1: Esquema de una onda electromagnética con sus campos eléctricos y magnéticos asociados

[8]

Por emisión electromagnética se entiende el proceso de transmisión de energía electromagnética en forma de onda desde una fuente o transmisor. Las ondas electromagnéticas se diferencian principalmente en la energía que transporta la señal y en la frecuencia a la que esta oscila, debiendo distinguir entre emisiones ionizantes y no-ionizantes:

- Emisiones ionizantes: Se trata de las emisiones con energía suficiente para producir la ionización de la materia, es decir, para arrancar un electrón de un átomo o de una molécula. Estas emisiones se localizan en la parte alta del espectro radioeléctrico, siendo ejemplo de alguna de estas emisiones los rayos X o los rayos Gamma.

- Emisiones no-ionizantes: Se trata de las emisiones que no sobrepasan el umbral de energía necesaria para ionizar la materia, por lo que no alteran la estructura de las moléculas. Este tipo de emisiones son las que estudiaremos, ya que entre su espectro se encuentran las emisiones producidas por las antenas de telefonía móvil y en general las producidas por los sistemas de radiocomunicación. [4]

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

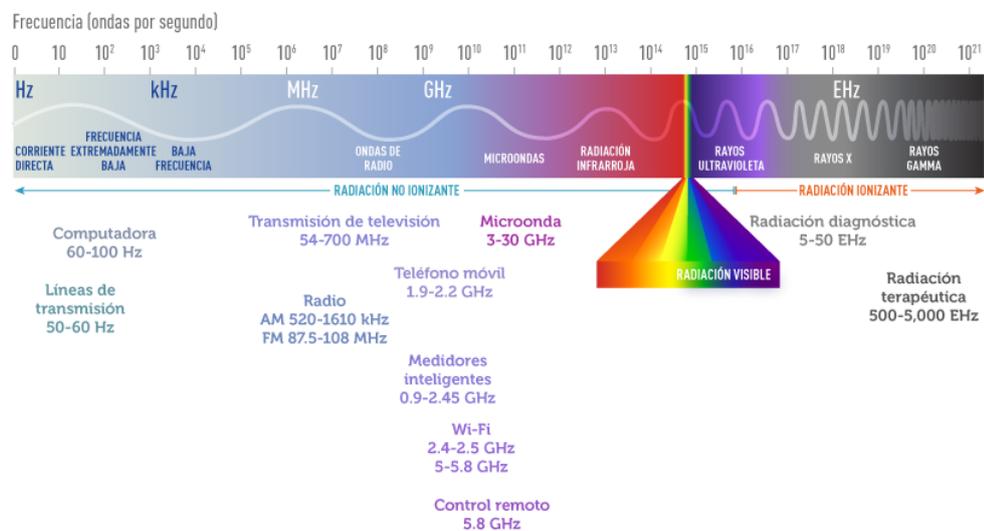


Figura 1.2: Espectro Electromagnético.

En la figura 1.2 se presenta un esquema con la clasificación de los diferentes tipos de radiaciones en relación a su longitud de onda y su frecuencia.

En nuestro trabajo se realiza un estudio de los niveles de las radiaciones no ionizantes. Las emisiones radieléctricas de este tipo que podemos encontrar de forma más habitual son las siguientes:

- Emisiones de Telefonía móvil: Son las más comunes, proporcionan la cobertura necesaria para las comunicaciones entre usuarios. Estas trabajan en frecuencias de 791 MHz - 862 MHz para LTE (Long Term Evolution), 900 MHz y 1800 MHz para el GSM (Global Syte Mobile), y en 2000-2100 MHz para otros sistemas como el UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Dentro de la

1.1. ¿QUÉ SON LAS EMISIONES RADIOELÉCTRICAS Y LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS?



ciudad hay estaciones base de telefonía móvil que proporcionan la cobertura necesaria para las comunicaciones entre usuarios. En España estas estaciones utilizan las tecnologías 2G (Global System Mobile, GSM), que operan en las bandas de 900 y 1800 MHz, 3G (Universal Mobile Telecommunications System, UMTS) en las bandas de 900 y 2100 MHz y 4G (Long Term Evolution, LTE) que operan en las bandas de 800, 1800 y 2600 MHz. Emplean potencias de emisión de cientos de vatios, con antenas de alta ganancia.

- Emisiones de Radiodifusión: Existen 3 tipos:
 - Frecuencias de trabajo de 500-1500 kHz para la onda media.
 - Frecuencias de trabajo de 3-30 MHz para onda corta
 - Frecuencias de trabajo de 88-108 MHz para frecuencia modulada.

Emplean potencias muy altas de varios kilovatios con sistemas radiantes de baja ganancia en general, salvo en los emisores de FM que pueden emplear antenas directivas de ganancia media.

- Emisiones de Televisión: Trabajan principalmente en la banda de UHF, de 470 a 790 MHz. Antiguamente, estas empleaban potencias muy altas, de decenas de kilovatios. En la actualidad, con la llegada de la TV digital, estas potencias se han reducido y presentan un máximo de 1 kW. En Cáceres, los canales de emisión y la potencia radiada aparente (PRA) son los que se representan en la siguiente tabla.

Canal	PRA (kW)
26	0,036
36	0,036
38	0,036
39	0,036
42	0,046
43	1,000
45	0,044
49	0,016
59	0,036

Tabla 1.1: Potencia Radiada Aparente por las antenas de TV y sus canales en la ciudad de Cáceres

Estos tres bloques constituyen el 95% de las estaciones de radiocomunicaciones que nos podemos encontrar. El resto corresponde principalmente a emisores de radio móvil privada para aplicaciones de servicios que se concentran en las bandas de VHF y UHF, enlaces punto a punto de microondas, estaciones de satélite y otros servicios que se concentran principalmente en las bandas de microondas de 2 a 14 GHz.

1.2. Posibles efectos adversos a los seres humanos

En la actualidad, la cantidad de aparatos electrónicos y eléctricos que nos rodea son elevados. Es este aumento en cantidad lo que puede provocar efectos negativos en nuestra salud debido a las ondas electromagnéticas que éstos emiten.

Uno de los principales efectos que más preocupa a la población es el aumento y la aparición de cualquier tipo de cáncer.

Hasta el momento, no se ha identificado ningún mecanismo por el que los campos electromagnéticos de frecuencia baja o extremadamente baja pudieran causar cáncer, ya que estas radiaciones no pueden dañar el ADN o las células directamente. Este



1.3. MARCO LEGISLATIVO

tipo de radiaciones podrían causar cáncer por otros mecanismos, como el de reducir la concentración de ciertas hormonas, como la melatonina.

En 2015, el Comité Científico de Riesgos de la Salud Emergentes y Recientemente Identificados revisó los campos electromagnéticos, poniendo especial interés en el análisis a los teléfonos móviles. Se encontró, en general, que los estudios epidemiológicos de campos de frecuencia extremadamente baja muestran un mayor riesgo de leucemia infantil con exposiciones promedio diarias calculadas entre 0,3 y 0,4 μT , aunque no se han identificado mecanismos y no hay estudios experimentales que apoyen estas conclusiones. También se encontró que la exposición a estas frecuencias no muestran un riesgo mayor de tumores de cerebro u otros cánceres de la región de la cabeza y cuello, aunque permanece abierta la posibilidad de una asociación con neuromas acústicos. [12]

1.3. Marco Legislativo

Para prevenir las exposiciones excesivas a los campos electromagnéticos presentes en nuestro día a día con el fin de proteger la salud y la seguridad de las personas existen normas. Estas normas vienen fijadas por cada país, siguiendo las indicaciones de la OMS (Organización Mundial de la Salud) con la colaboración de la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante.

En España, la norma que fija todo lo anteriormente descrito es el Real Decreto 1066/2001 de 28 de Septiembre [5], por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.

Esta norma establece unas restricciones básicas para la aplicación en la evaluación de los posibles efectos de las emisiones radioeléctricas sobre la salud. Estas restricciones dependen de la frecuencia del campo, la cual, dependiendo de qué frecuencia estemos hablando usaremos unas magnitudes física u otras, tales como la inducción magnética (B), la densidad de corriente (J) o el índice de absorción

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

específica de energía (SAR). El SAR de cuerpo entero es una medida ampliamente aceptada para relacionar los efectos térmicos adversos con la exposición a emisiones radioeléctricas.

Esta norma también establece unos niveles de referencia. Muchos de ellos derivan de las restricciones básicas pertinentes, usando técnicas computerizadas o mediciones. Las magnitudes derivadas son la intensidad de campo (E), la intensidad de campo magnético (H), la inducción magnética (B), la densidad de potencia (S) y la corriente en extremidades (I). En cualquier situación particular de exposición, los valores medidos o calculados de cualquiera de estas cantidades pueden compararse con el nivel de referencia adecuado. El cumplimiento del nivel de referencia garantizará el respeto de la restricción básica pertinente [5]. Los niveles de referencia se muestran en la siguiente figura:

Gama de frecuencia	Intensidad de campo E — (V/m)	Intensidad de campo H — (A/m)	Campo B — (μ T)	Densidad de potencia equivalente de onda plana — (W/m ²)
0-1 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	$4.000/f$	$5.000/f$	—
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	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	—
10-400 MHz	28	$0,73/f$	0,092	2
400-2.000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Figura 1.3: Niveles de referencia para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos especificados en el RD 1066/2001

[5]

La figura 1.3 refleja los niveles de referencia en función de la frecuencia usada. Puesto que nuestro dosímetro mide en bandas de frecuencia de los 88 MHz hasta los



1.3. MARCO LEGISLATIVO

5,8 GHz las bandas que usaremos para el cálculo del nivel de referencia son las tres últimas.

Capítulo 2

Objetivos

Este proyecto tiene como objetivo principal estudiar la exposición a radiación electromagnética en el interior de un edificio. La determinación de estos campos electromagnéticos se realizará por rango de frecuencias (88 MHz a 5,85 GHz) mediante un dosímetro personal. Se evaluará la exposición en diferentes puntos de la planta baja de un edificio con el dosímetro en posición estática. Con los resultados obtenidos se realizará el segundo objetivo, que consiste en la introducción de esta información en un SIG para posteriormente realizar un estudio de la interpolación espacial mediante el método IDW. A su vez, los objetivos que vamos a ir cubriendo a lo largo del trabajo son los siguientes:

- Optimización del tiempo de medida en cada punto. Se llevará a cabo mediante un estudio inicial con el dosímetro en posición fija durante 1 hora.
- Análisis estadístico de la variación temporal en un punto de medida, obteniendo mediciones en un periodo de tiempo definido en un punto fijo.
- Selección de las bandas de frecuencias objeto de estudio. A raíz del estudio inicial, determinaremos las bandas que superan el umbral del detector para después realizar un estudio intensivo sobre ellas.
- Análisis estadístico de la variación espacial en la planta de un edificio. Se realizarán 46 medidas en puntos estratégicamente separados en la planta baja

del pabellón de informática.

- Análisis gráfico mediante el uso de interpolaciones, en aquellas bandas que superen los umbrales establecidos por el detector, mediante el software QGIS.
- Llevar a cabo una evaluación de la exposición humana a los campos electromagnéticos con respecto a los resultados obtenidos en este trabajo.

Capítulo 3

Estado del Arte

En este capítulo expondremos una serie de trabajos de temática similar al que presentamos, para realizar posteriormente una comparación de lo encontrado en la bibliografía y lo obtenido en nuestro trabajo.

Estos estudios se basan principalmente en la radiación electromagnética a la que estamos continuamente expuestos y los posibles efectos que pueden derivarse de estas exposiciones. Así mismo, nos ayudarán a ver otras vías por las que han sido analizados los mismos problemas que nos encontraremos a lo largo de la realización de este proyecto.

- Artículo 1: (*Jonghyuk Choi et al, 2018*) *Assessment of radiofrequency electromagnetic field exposure from personal measurements considering the body shadowing effect in Korean children and parents.* [7]

El objetivo de este estudio fue evaluar los niveles de exposición del campo electromagnético de niños y adultos a través de sus actividades, teniendo en cuenta el efecto de sombra del cuerpo. Para ello, se reclutó a 50 parejas de niños y adultos, que viven en Seúl, Cheonan y Ulsan, Corea del Sur. Las mediciones se realizaron entre septiembre y diciembre de 2016, usando un medidor de exposición portátil que captura 14 bandas de radiofrecuencia que van desde los 87,5 MHz hasta los 5875 MHz. Los participantes llevaron el dispositivo encima durante 48 horas, realizando las actividades diarias con el teléfono móvil en

modo avión.

- Artículo 2: (*Birksa et al, 2018*), *Spatial and temporal variability of personal environment exposure to radio frequency electromagnetic fields in children in Europe*. [6]

Para este estudio se analizaron los datos de exposición de 529 niños (en un rango de edad de 8 a 18 años) en Dinamarca, Países Bajos, Eslovenia, Suiza y España, usando medidores de exposición portátiles durante tres días entre 2014 y 2016, repitiéndose en una submuestra de 28 niños un año después. Los medidores capturaron 16 bandas de frecuencia cada 4 segundos. De estas 16 bandas, se definieron finalmente 6 bandas de frecuencia: total, telecomunicaciones inalámbricas mejoradas digitales (DECT), antenas de radio y televisión (transmisión), teléfonos móviles (enlace ascendente), estaciones base de teléfonos móviles (enlace descendente) e inalámbrica (WiFi).

- Artículo 3: (*Martin L. Pall, 2018*), *Wi-Fi is an important threat to human health* [13]

Los estudios repetidos del Wi-Fi muestran que causa estrés oxidativo, daño del esperma, efectos neuropsiquiátricos, y sobrecarga de calcio. Cada uno de estos efectos también está causado por exposiciones a otros campos electromagnéticos.

- Trabajo de Fin de Grado: (*Elena G. S. ,2019*) *Estimación del campo electromagnético producido por estaciones base de telefonía móvil en viviendas a partir de medidas en exteriores*. [9]

Este proyecto tiene como objetivo estudiar la exposición electromagnética que sufre la población en el interior de sus viviendas, debido a la exposición a campos electromagnéticos existentes en el medio ambiente. Para ello se analizaron cinco viviendas diferentes de la ciudad de Cáceres, realizando mediciones con un dosímetro personal, midiendo 20 bandas de frecuencia en el rango de 88 MHz hasta 5850 MHz. Por otra parte se estudiaron las variaciones que sufren estas

señales en función de la altura a la que se sitúe a la hora de realizar la medición.

Capítulo 4

Material y método

4.1. Situación geográfica

El estudio de los niveles de radiación se ha llevado a cabo en la planta baja del pabellón de Informática de la Escuela Politécnica de Cáceres. Este centro de estudio dispone de varios puntos Wifi y se encuentra a pocos metros de una antena de telefonía móvil.

Este pabellón está situado dentro de la Escuela Politécnica de Cáceres, incluido en el Campus Universitario de la Universidad de Extremadura.



Figura 4.1: Situación del pabellón de informática en la Escuela Politécnica

[10]

4.2. CARACTERÍSTICAS DEL PABELLÓN DE INFORMÁTICA

En la figura 4.1, tenemos una fotografía aérea del centro donde podemos observar el pabellón estudiado resaltado en color verde.

4.2. Características del pabellón de Informática

El edificio estudiado presenta diferentes aulas, laboratorios y espacios comunes.



Figura 4.2: Descripción del lugar de estudio

[3]

En la figura 4.2 se representan las diferentes aulas y despachos distribuidos por la planta baja del pabellón estudiado.

En el hall del edificio se realizaron 12 mediciones en línea recta, separadas todas ellas 5 metros. En los despachos y demás aulas, se realizó una medición en el centro de la estancia, dentro de la disponibilidad que los diferentes equipos y mesas instalados en las propias aulas permitían.

CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODO

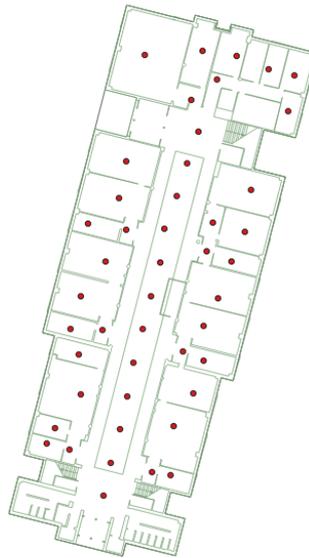


Figura 4.3: Puntos de medición en el edificio de informática

En la figura 4.3 se muestra un plano del pabellón georeferenciado con los puntos de medida realizados en QGIS.

Nº medición	Descripción	Coordenada Y (m)	Coordenada X (m)	Nº medición	Descripción	Coordenada Y (m)	Coordenada X (m)
1	Pasillo 1	5,04	4,04	24	Ampl. Lab. Física	3,66	1,69
2	Pasillo 2	10,05	4,19	25	Desp. L. Mariano	2,32	2,08
3	Pasillo 3	15,11	4,16	26	Desp. Horacio	3,53	1,99
4	Pasillo 4	20,15	3,89	27	Sala I1	6,04	4,57
5	Pasillo 5	25,2	4,05	28	Sala Sun	5,14	2,14
6	Pasillo 6	30,29	4,19	29	Hall Sala Sun	2,5	1,99
7	Pasillo 7	35,18	4,14	30	Hall A. Polo	1,93	1,05
8	Pasillo 8	40,19	4,19	31	Domótica	4,78	1,51
9	Pasillo 9	45,19	3,19	32	Desp. A. Polo	4,06	1,19
10	Pasillo 10	49,8	3,74	33	Laboratorio 2	3,25	2,92
11	Pasillo 11	54,86	4,04	34	Hall. Lab1 y Lab2	2,7	1,29
12	Pasillo 12	59,98	4,98	35	Laboratorio 1	3,98	3,24
13	Desp. JM Sánchez	4,7	1,4	36	Hall Informáticos	1,85	1,2
14	Sala Olimpo	5,1	3,02	37	Técnicos Informáticos	5,68	1,2
15	Lab. Robótica	5,46	2,57	38	Desp. M.Díaz	4,52	1,66
16	Hall Robolab	2,02	0,91	39	Hall Electrónica	2,08	1,08
17	Desp. J. Ballesteros	3,17	2	40	Lab. Electrónica Ord.	3,63	2,91
18	Sala Beta	3,08	3,17	41	Lab. Electrónica Comp.	5,84	3,01
19	Lab. Digitales	6,14	4,5	42	Hall Despachos	9,74	4,33
20	Hall Digitales	1,81	1,03	43	Desp. M. Salas	3,41	1,66
21	Hall Física	2,08	1,09	44	Desp. Encarnación	3,87	2,95
22	Desp. A. Jimenez	2,91	1,51	45	Desp. A. Gómez	3,67	2,04
23	Lab. Física	5,45	4,21	46	Desp. M. Ángel	3,69	2,15

Tabla 4.1: Descripción de cada medida realizada



4.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES FOCOS DE EMISIÓN

La tabla 4.1 presenta las coordenadas espaciales (en largo y ancho) de cada medición que realizamos en el pabellón. La referencia del punto (0,0), para la posterior toma de coordenadas de cada punto, se tomó situando este punto en la esquina derecha del pabellón a la altura de la puerta del mismo, en frente de cafetería. Cabe destacar que el largo total del hall del pabellón de informática es de 62,40 metros y el ancho del mismo de 8,38 metros. Estas mediciones se representan en la figura 4.3, donde cada punto marcado en rojo corresponde a una de ellas.

Así, podemos ver que realizamos un total de 46 mediciones, correspondientes a prácticamente todas las aulas y despachos que conforman el pabellón.

4.3. Descripción de los principales focos de emisión

Las diferentes salas estudiadas están sometidas a la radiación de numerosos focos de emisión y recepción de señales electromagnéticas, como son las antenas de telefonía móvil ubicadas en el exterior, las antenas de radio FM y los puntos de acceso WIFI presentes en el edificio.

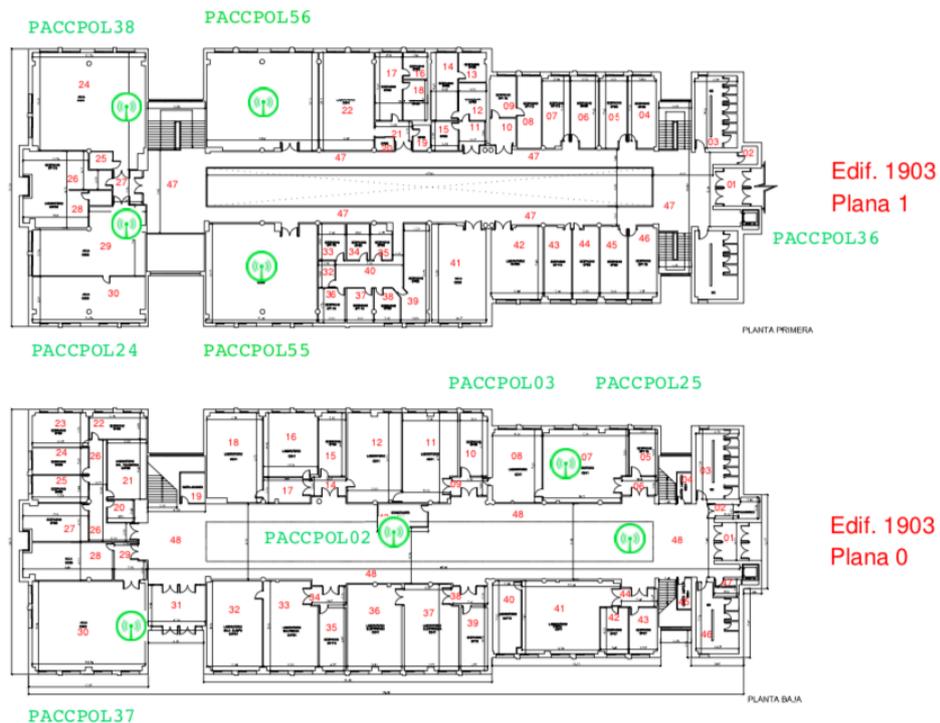


Figura 4.4: Situación de los puntos de acceso a los servicios WIFI del pabellón de Informática [2]

En la figura 4.4 se representa la situación de los puntos de acceso Wifi presente en el pabellón estudiado. En principio, cabría esperar que nuestras mediciones estarán afectadas por los 4 puntos de acceso situados en la planta baja y los 4 puntos de acceso situados en la planta primera. En total estaremos recibiendo la señal de 8 puntos de acceso, no considerando entre ellos los puntos de acceso de los edificios colindantes, los cuales suponemos que por la distancia entre ellos y la presencia de nuevos puntos, nos radiarán con muy poca energía.

Simultáneamente, nos encontramos en presencia de una antena de telefonía situada en la terraza superior del edificio central de la Escuela Politécnica, a escasos 30 metros en dirección recta. Esta antena, pertenece a la empresa Vodafone España S.A. y podemos ver su situación en la figura 4.5.

4.4. MATERIALES UTILIZADOS

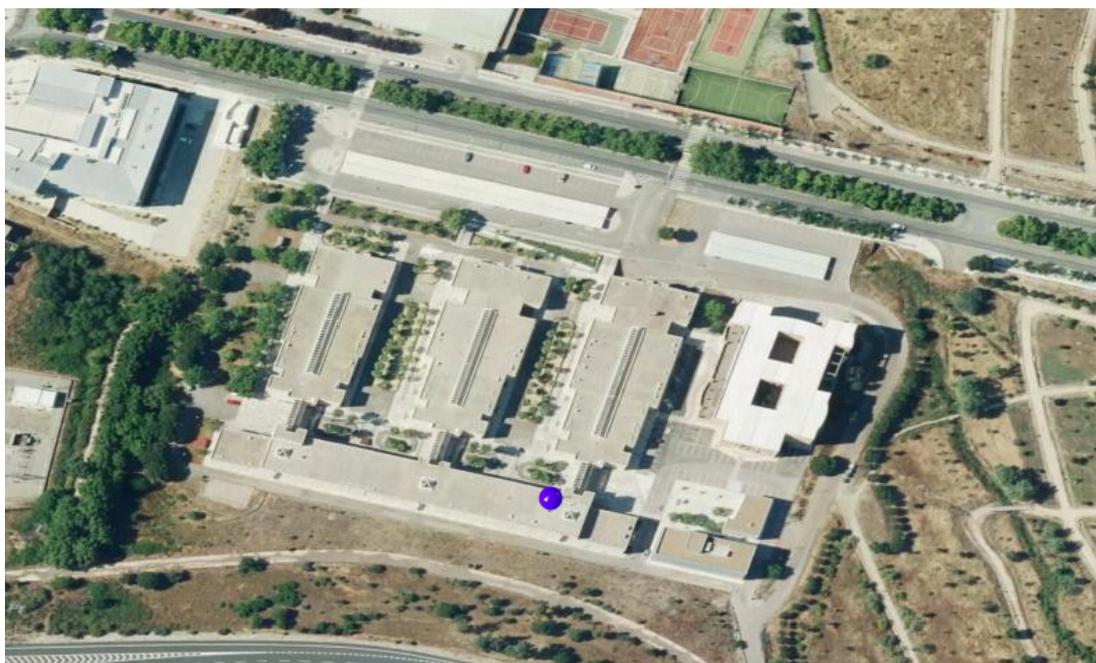


Figura 4.5: Antena de telefonía móvil propiedad de Vodafone España S.A. situada en la Escuela Politécnica [11]

La dirección que figura en la web del Ministerio de Industria, Energía y Turismo [11] de la antena de telefonía móvil es CR Trujillo.Campus Universitario UEX. Escuela Politec, 13. CÁCERES, CÁCERES. Y los datos técnicos de la misma se referencian en la siguiente tabla.

Tipo	Código	Referencia	Ancho de banda asignado (MHz)
Estación de Telefonía Móvil	Vodafone España S.A. - 055581	CCCC-1500050	842.00 - 852.00
Estación de Telefonía Móvil	Vodafone España S.A. - 055581	CCCC-1400046	1825.10 - 1845.10
Estación de Telefonía Móvil	Vodafone España S.A. - 55581	CCCC-0700047	1905.00 - 1910.00; 2140.00 - 2155.00
Estación de Telefonía Móvil	Vodafone España S.A. - 55581	CCCC-1200105	949.90 - 959.90
Estación de Telefonía Móvil	Vodafone España S.A. - 55581	CCCC-1200106	949.90 - 959.90

Tabla 4.2: Datos técnicos de la antena de telefonía situada en la Escuela Politécnica [11]

4.4. Materiales utilizados

Para la realización de todas las medidas de los campos objeto de estudio se ha utilizado el medidor de campo **EME SPY 200**.



Figura 4.6: Medidor de campo electromagnético EME SPY 200

La figura 4.6 representa el modelo de medidor usado durante todo el estudio.

Este medidor está desarrollado por la marca MVB. Lo que caracteriza a este medidor es su facilidad para transportarlo, ya que es muy ligero. Es capaz de medir hasta 20 bandas de frecuencias diferentes, en un rango de 88 MHz hasta 5850 MHz. [1]. La siguiente tabla muestra las diferentes bandas de frecuencia que este dispositivo es capaz de medir, así como el rango de frecuencia de cada una y el valor de sensibilidad.

4.5. ESTUDIO INICIAL

Banda de frecuencia	Frecuencia (MHz)	Sensibilidad (V/m)	Descripción
FM	87-107	0,010	Radio difusión con frecuencia modulada
TV3	174-223	0,010	Banda para la difusión de señal de TV
TETRA I	380-400	0,010	Estándar de radio digital
TETRA II	410-430	0,010	Estándar de radio digital
TETRA III	450-470	0,010	Estándar de radio digital
TV4&5	470-770	0,010	Banda para la difusión de señal de TV
LTE 800 (DL)	791-821	0,005	Sistema de comunicación móvil de 4G (recepción)
LTE 800 (UL)	832-862	0,005	Sistema de comunicación móvil de 4G (transmisión)
GSM+UMTS 900 (UL)	880-915	0,005	Sistemas de comunicación móvil de 2G y 3G (transmisión)
GSM+UMTS 900 (DL)	925-960	0,005	Sistemas de comunicación móvil de 2G y 3G (recepción)
GSM 1800 (UL)	1710-1785	0,005	Comunicación móvil de 2G (transmisión)
GSM 1800 (DL)	1805-1880	0,005	Comunicación móvil de 2G (recepción)
DECT	1880-1900	0,005	Sistema de comunicaciones inalámbricas
UMTS 2100 (UL)	1920-1980	0,005	Sistemas de comunicación móvil de 3G (transmisión)
UMTS 2100 (DL)	2110-2170	0,005	Sistemas de comunicación móvil de 3G (recepción)
WIFI 2G	2400-2483,5	0,005	Conexión WIFI en la banda de 2GHz
LTE 2600 (UL)	2500-2570	0,005	Sistemas de comunicación de 4G (transmisión)
LTE 2600 (DL)	2620-2690	0,005	Sistemas de comunicación de 4G (recepción)
WIMAX	3300-3900	0,005	Sistema de internet inalámbrico de largo alcance
WIFI 5G	5150-5850	0,010	Conexión WIFI en la banda de 5GHz

Tabla 4.3: Frecuencia y sensibilidad de cada banda del EME SPY 200 [1]. (*UL: (upper load) Subida ; DL: (down load) Bajada*)

A su vez, este tipo de medidor utiliza tres sondas isotrópicas E ortogonales que operan en un rango de 80 MHz a 6 GHz.

4.5. Estudio inicial

El primer estudio realizado fue un estudio inicial para estudiar la variabilidad de los datos al medir 2 minutos, 6 minutos o 10 minutos. Para ello colocamos el EME SPY 200 sobre un trípode a una altura de 1,50 metros aproximadamente, asegurando su altura durante todo el estudio, y lo programamos para medir durante una hora realizando una medición cada 4 segundos. En este estudio obtuvimos un total de 900 datos en cada una de las frecuencias a estudiar. Puesto que en este estudio no sabíamos con certeza la cantidad de bandas que tendríamos que estudiar, analizamos todas las bandas obtenidas, obteniendo así un total de 18900 datos a analizar.

4.6. Estudio Temporal

Para este estudio, tomamos medidas a lo largo de 9 semanas consecutivas en la puerta del pabellón de informática, situando el EME SPY 200 como en los estudios anteriores, en un trípode a una altura de 1,50 metros aproximadamente y midiendo cada 2 minutos. En este estudio obtuvimos un total de 30 datos por bandas, y sabiendo que las bandas que estudiaremos son 7, los datos finales fueron un total de 210.

4.7. Estudio Espacial

El estudio espacial consistió en analizar la variabilidad del campo electromagnético en 46 puntos del edificio de informática. Estos puntos se detallan en la tabla 4.1.

El proceso se ha realizado colocando el EME SPY 200 sobre un trípode, a una altura más o menos de 1,50 metros y haciendo mediciones cada 2 minutos en cada uno de los 46 puntos de la planta baja del pabellón de informática. El EME SPY 200 se configuró para realizar una medida cada 4 segundos, por lo que por cada punto medido obtenemos 30 medidas en cada una de las bandas de frecuencia, obteniendo así en este estudio un total de 1380 puntos a analizar. Como las bandas de frecuencia a analizar en nuestro estudio son 7, el total de datos analizados en este estudio son 9660 datos.

Con estos datos, realizaremos una interpolación de los resultados mediante el software QGIS 3 para hacer una interpretación espacial de la variabilidad de los datos obtenidos. Para la interpretación de estos datos en el software QGIS3, tomamos como entrada al software adicional AutoCad, las coordenadas en metros que se representan en la tabla 4.1 unido al sistema de referencia usado (EPSG:23029). Una vez anexionados ambos elementos, lo exportamos como texto, teniendo como coordenadas finales las del sistema anteriormente referenciado. Una vez hecho esto, el texto exportado es introducido en una hoja Excel para así poder introducir las posteriormente al software QGIS3. En este procedimiento final, se introduce mediante capas adicionales, una medida del promedio del campo en cada punto medido, para cada una de las frecuencias estudiadas y así poder representar la interpolación y poder



4.7. ESTUDIO ESPACIAL

sacar los resultados visibles.

Capítulo 5

Resultados

5.1. Estudio inicial

En primer lugar, se realizó un estudio inicial para estudiar la desviación que se obtenían de los resultados con respecto a los tiempo de medición de 2 minutos, 6 minutos y 10 minutos. También en este estudio mostraremos las bandas que superan el umbral fijado por el medidor usado para centrarnos posteriormente en su estudio.

Para ello, situamos durante una hora el dosímetro en el primer punto del pasillo central midiendo todas las bandas del espectro electromagnético. Los resultados de la desviación estándar de los valores de Campo Eléctrico obtenidos fueron los mostrados en las tablas 5.1, 5.2 y 5.3, para 2 minutos, 6 minutos y 10 minutos respectivamente.

5.1. ESTUDIO INICIAL

2 minutos					
Nº Medición	Desviación estándar	Nº Medición	Desviación estándar	Nº Medición	Desviación estándar
1	0,032	11	0,036	21	0,043
2	0,026	12	0,024	22	0,034
3	0,021	13	0,020	23	0,044
4	0,019	14	0,019	24	0,017
5	0,030	15	0,023	25	0,024
6	0,019	16	0,025	26	0,022
7	0,076	17	0,054	27	0,044
8	0,037	18	0,049	28	0,048
9	0,026	19	0,027	29	0,027
10	0,025	20	0,032	30	0,032
Valor medio					0,032

Tabla 5.1: Valores de desviación estándar obtenidos para un tiempo de medición de 2 minutos

6 minutos			
Nº Medición	Desviación estándar	Nº Medición	Desviación estándar
1	0,027	6	0,046
2	0,024	7	0,036
3	0,051	8	0,039
4	0,029	9	0,023
5	0,020	10	0,051
Valor medio			0,035

Tabla 5.2: Valores de desviación estándar obtenidos para un tiempo de medición de 6 minutos

10 minutos			
Nº Medición	Desviación estándar	Nº Medición	Desviación estándar
1	0,026	4	0,040
2	0,043	5	0,039
3	0,026	6	0,038
Valor medio			0,035

Tabla 5.3: Valores de desviación estándar obtenidos para un tiempo de medición de 10 minutos

En las tres tablas anteriores, se representa los valores medios de la desviación estándar para el campo eléctrico total para cada uno de los tiempos de medida. Como podemos observar, la media de la desviación estándar en las mediciones de los periodos de 6 y 10 minutos es ligeramente mayor que en el periodo de 2 minutos. Aunque la diferencia no es abrumadora, como podemos observar, fijamos en nuestro estudio la toma de medidas durante 2 minutos, para no alargar el proceso de medidas sabiendo que son ese intervalo temporal no aumentábamos la dispersión de los datos. Posteriormente obtenemos para cada medida su mediana.

Posteriormente, pasamos a analizar aquellas bandas de frecuencias que superaban el umbral establecido por el fabricante del medidor, obteniendo así la tabla que se presenta a continuación:

5.1. ESTUDIO INICIAL

Banda de Frecuencia	Umbral (V/m)	% de muestras que superan el umbral
FM	0,01	96,43
TV3	0,01	0,00
TETRA I	0,01	0,00
TETRA II	0,01	0,00
TETRA III	0,01	0,00
TV4&5	0,01	37,71
LTE 800 (DL)	0,005	100,00
LTE 800 (UL)	0,005	0,71
GSM + UMTS 900 (UL)	0,005	0,29
GSM + UMTS 900 (DL)	0,005	100,00
GSM 1800 (UL)	0,005	28,00
GSM 1800 (DL)	0,005	95,57
DECT	0,005	25,00
UMTS 2100 (UL)	0,005	7,71
UMTS 2100 (DL)	0,005	95,57
WIFI 2G	0,005	86,57
LTE 2600 (UL)	0,005	3,28
LTE 2600 (DL)	0,005	1,29
WIMax	0,005	0,00
WIFI 5G	0,01	60,71

Tabla 5.4: Valores medios obtenidos en cada una de las bandas estudiadas y su porcentaje de valores por encima del umbral

En la tabla 5.4 podemos observar que no todas las bandas estudiadas superan el umbral de detección del medidor EME SPY 200. De las veinte bandas de frecuencia estudiadas, finalmente nos consideramos para nuestro estudio aquellas bandas en las cuales obtuvimos más de un 50% de los datos por encima del nivel de detección de nuestro dispositivo.

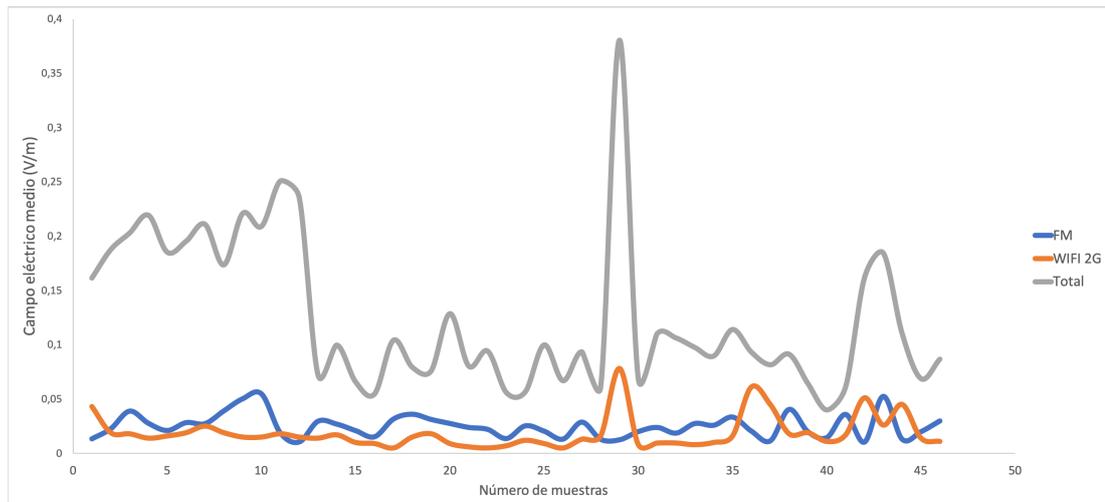


Figura 5.1: Variación del campo eléctrico medio en las bandas de FM, WIFI 2G y la banda Total

En la figura 5.1 se muestra el campo eléctrico (V/m) de las bandas tal cual obtenido en el punto 1 del pabellón para el periodo temporal de 2 minutos. En la gráfica podemos destacar una apreciable estabilidad para las bandas de FM y WIFI 2G. Sin embargo el campo total parece sufrir una mayor inestabilidad posiblemente debida a alguna banda de telefonía.

Obtenidas las bandas de frecuencias propias para el estudio y su tiempo de medida, procedimos a realizar el estudio temporal y el estudio espacial del pabellón.

5.2. Estudio Temporal

Para la realización de este apartado, se estudió el mismo punto temporalmente en intervalos de siete días. El medidor EME SPY 200 se situó sobre un trípode a una altura aproximada de 1,50 metros. Las bandas que estudiaremos son las mismas que superaron los niveles umbrales en el estudio inicial. Los datos obtenidos son los siguientes:

5.2. ESTUDIO TEMPORAL

Banda de frecuencia	Rango E (V/m)	Media(V/m)	Mediana(V/m)	S.D	Error	C.V (%)
FM	0,018-0,023	0,026	0,026	0,002	0,004	7,69
LTE 800 (DL)	0,036-0,044	0,04	0,036	0,0036	0,03	10,00
GSM + UMTS 900 (DL)	0,087-0,105	0,073	0,073	0,007	0,014	9,58
GSM 1800 (DL)	0,037-0,04	0,049	0,04	0,024	0,05	66,66
UMTS 2100 (DL)	0,045-0,055	0,048	0,046	0,008	0,016	17,39
WIFI 2G	0,007-0,028	0,014	0,013	0,008	0,016	61,53
WIFI 5G	0,017-0,04	0,091	0,09	0,018	0,04	19,57
TOTAL	0,137-0,144	0,184	0,18	0,03	0,06	16,57

Tabla 5.5: Valores estadísticos del campo eléctrico del estudio temporal para las diferentes bandas de frecuencia. S.D: Desviación Estándar. C.V (%): Coeficiente de variación (%)

La tabla 5.5 presenta un análisis estadístico de los valores de campo eléctrico obtenidos. Como podemos ver, la banda que presenta mayor media y mediana es la banda de bajada GSM + UMTS 900 con un valor medio de 0,073 V/m. La banda menos representativa del estudio temporal fue la banda de WIFI 2G con un valor medio de 0,014 V/m. La banda que presenta un mayor error es la banda de bajada de GSM 1800, obteniendo un coeficiente de variación para esta banda de un 66,7 %, muy superior a otras bandas como la banda de FM para la que se obtiene un 7,7% de coeficiente de variación. Este resultado puede ser debido a la inestabilidad que presenta las redes móviles a los movimientos de las personas, ya que si te alejas del punto de conexión, la latencia del mismo desciende, aumentando así el error. Esto provoca que en algunos rincones de determinadas estancias, la cobertura móvil descienda o aumente.

Para su posterior representación gráfica agrupamos las bandas estudiadas en tres grupos. Por un lado tenemos la banda de FM junto con la banda del campo TOTAL. Por otro lado tenemos las bandas de telefonía móvil de bajada, ya que fueron las únicas que superaron el umbral. Ninguna banda de telefonía móvil de subida superó el umbral, como podemos observar en la tabla 5.5. Y por último, tenemos las bandas de WIFI 2G y WIFI 5G.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

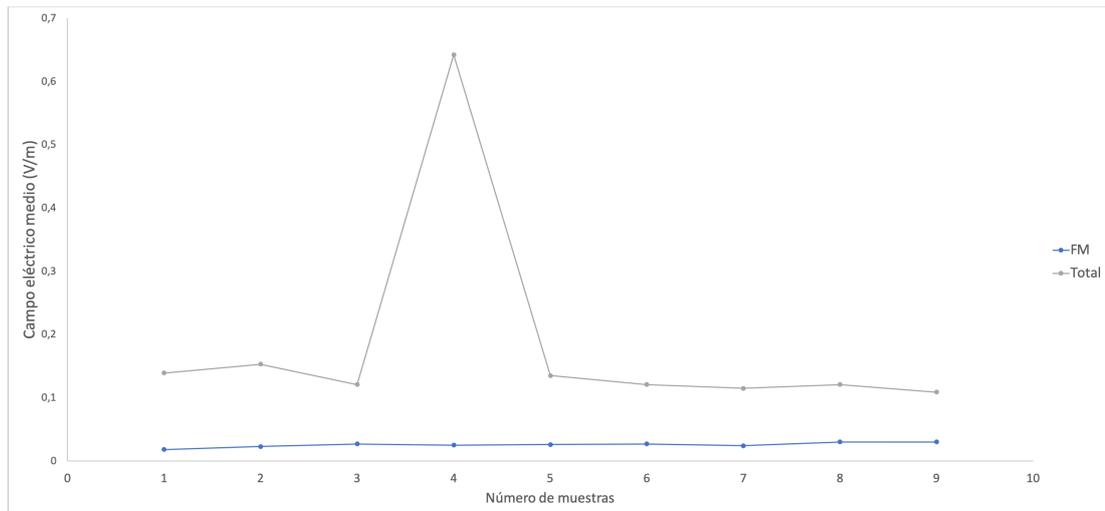


Figura 5.2: Variación temporal del campo eléctrico medio entre las bandas de FM y la banda Total

En la figura 5.2 muestra una variación de la banda de frecuencia FM y la banda de datos TOTAL a lo largo de las 9 semanas de mediciones. Podemos ver, como era de esperar, que la banda de FM mantiene mayor constancia que la banda del total.

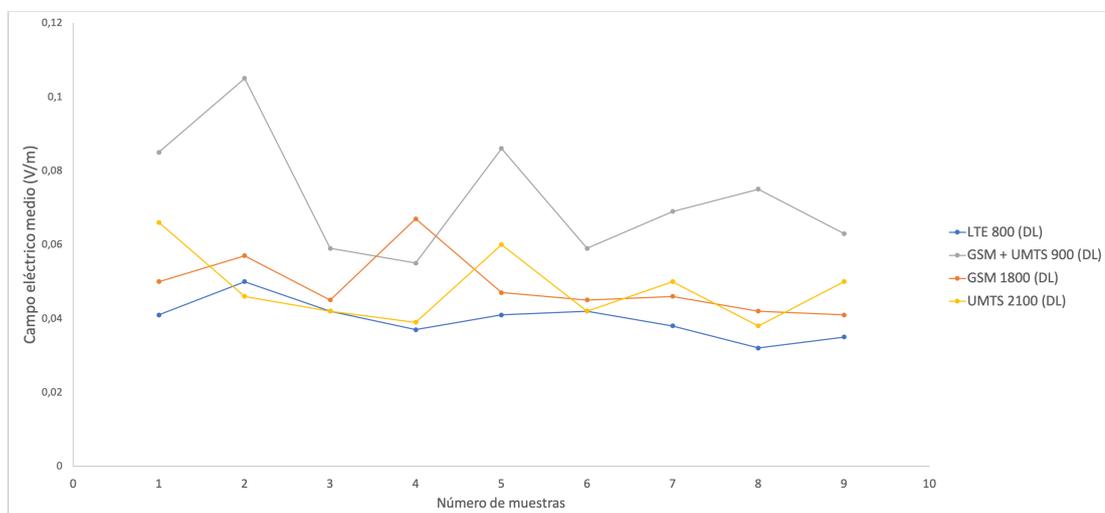


Figura 5.3: Variación temporal del campo eléctrico medio en las bandas de bajada de Telefonía Móvil

En la figura 5.3 podemos observar una representación gráfica de todas las bandas de bajada de telefonía a lo largo de todo el estudio. La banda que muestra unos niveles mayores es la banda de bajada GSM + UMTS 900, como pudimos ver en la tabla 5.5. A

5.2. ESTUDIO TEMPORAL

su vez, las otras tres bandas de bajada se encuentran a niveles simultáneamente estables.

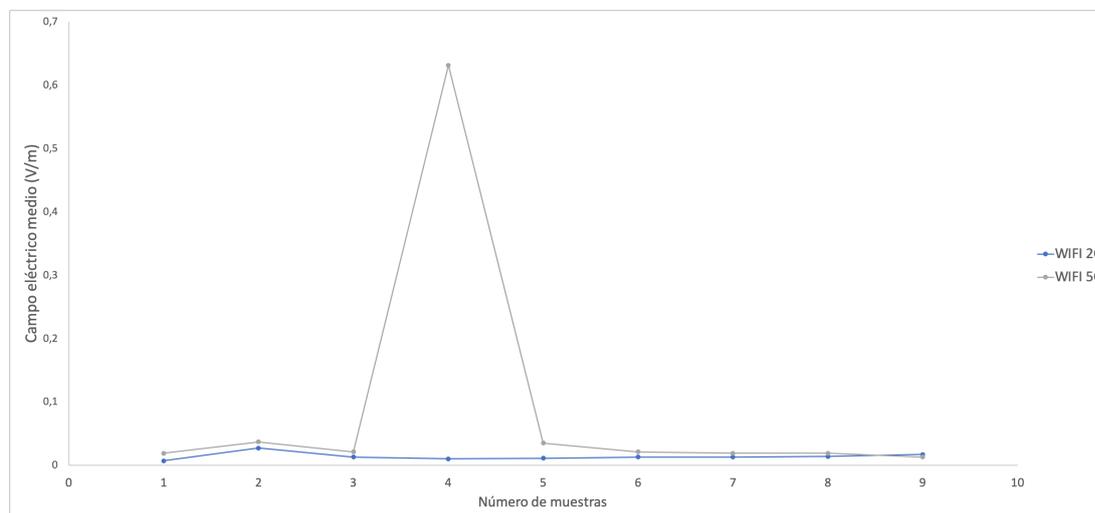


Figura 5.4: Variación temporal del campo eléctrico medio en las bandas de WIFI

En la figura 5.4 se puede observar una representación gráfica de los niveles de WIFI 2G y WIFI 5G obtenidos a lo largo de este estudio. Como podemos ver, los niveles de WIFI 5G tienen aproximadamente una intensidad de 0,077 V/m por encima de la banda de WIFI 2G. Las dos bandas presentan las mismas caídas prácticamente, debido a que éstas emiten una emisión simultánea.

Como dato de interés, la banda de WIFI 2G presenta picos de intensidades entorno al segundo día de medición. Esto puede ser debido a que la cantidad de estudiantes que ese día se encontraban en las instalaciones fuera mayor que los otros días de medición.

A continuación se presentan diagramas de cajas de las mediciones agrupadas en dos grupos, mediante las cuales podremos observar la media, mediana y desviación estándar de una forma gráfica.

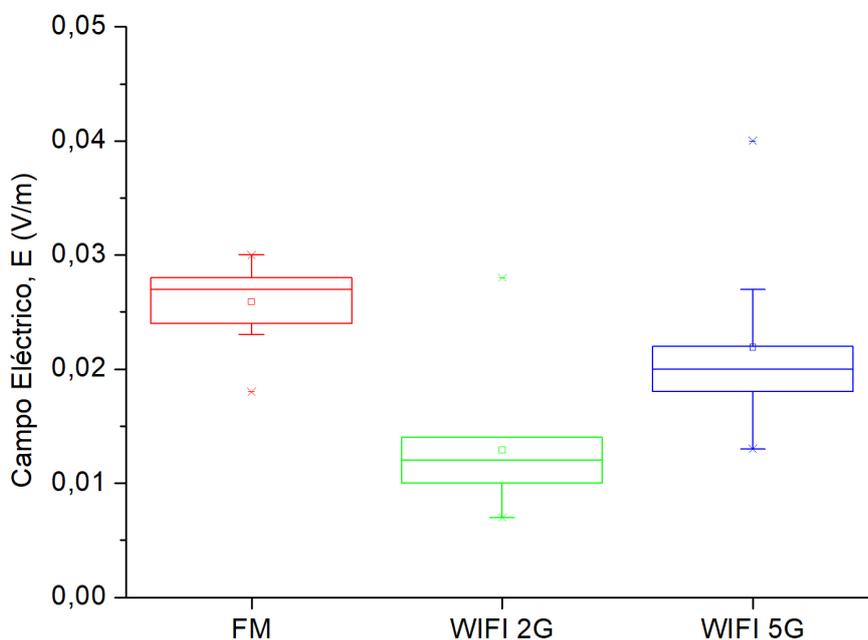


Figura 5.5: Diagrama de cajas de las bandas de WIFI y FM

La figura 5.5 representa los cuartiles de las bandas de FM, WIFI 2G y WIFI 5G. Con respecto a la banda de FM, podemos ver que la parte inferior de la caja es mayor que la parte superior, lo que significa que las medidas comprendidas entre el 25% y el 50% están más dispersas que entre el 50% y el 75%. La línea inferior es más corta que la línea superior, lo que significa que el 25% de las medidas con mayor valor están más concentradas que el 25% de las medidas con valores más pequeños.

Con respecto a la banda de WIFI 2G podemos ver que las dos divisiones de la caja presentan misma anchura, por lo que las medidas comprendidas entre el 25% y el 50% están igual de dispersas que las comprendidas entre el 50% y el 75%. Esta banda no presenta línea superior, por lo tanto las medidas están más concentradas en torno al 25% de las mismas, y en torno a 0,007 V/m.

Con respecto a la banda de WIFI 5G podemos ver que tanto las divisiones de la caja, como las líneas superiores e inferiores son prácticamente de anchura equivalente, por lo que los valores entre el 25% de las medidas y el 50% de las medidas se encuentran

con semejante dispersión.

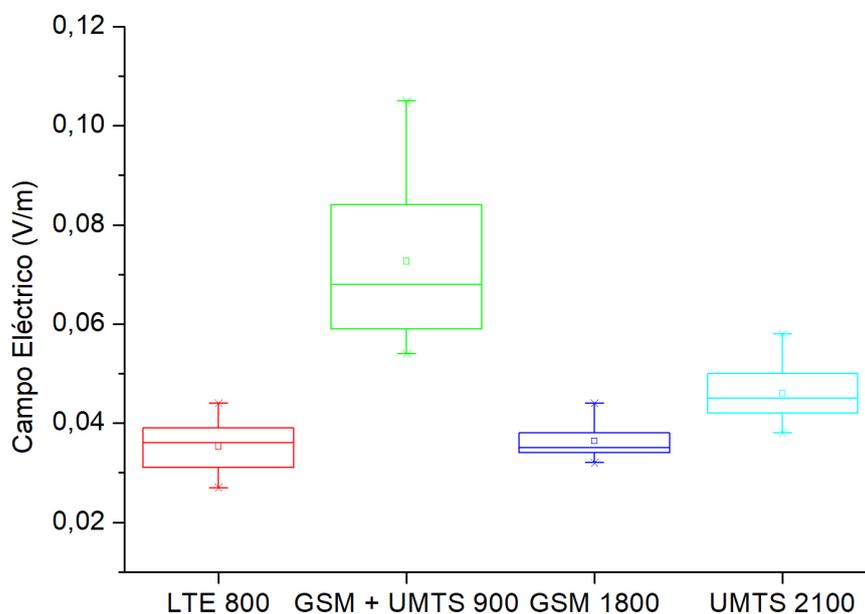


Figura 5.6: Diagrama de cajas de todas las bandas de bajada de telefonía

La figura 5.6 representa los cuartiles de las bandas de bajada de telefonía.

Con respecto a la banda LTE 800 podemos observar que la división inferior de la caja es mayor que la división superior, lo que significa que las medidas se encuentran más dispersas entre el 25 % y el 50 % que entre el 50 % y el 75 %. Las líneas superiores e inferiores presentan la misma longitud, por lo tanto el 25 % de las medidas con mayor valor se presentan igual de concentradas que el 25 % de las medidas con menor valor.

Con respecto a la banda de GSM + UMTS podemos observar que la división superior de la caja es mayor que la división inferior, por lo tanto los valores de las medidas están más concentrados entre el 50 % y el 75 %, que entre el 25 % y el 50 %. La línea superior es mayor que la línea inferior, por lo tanto el 25 % de las medidas con mayor valor se encuentran más concentradas que el 25 % de las medidas con menor valor.

Con respecto a la banda de GSM 1800 podemos observar que la división superior

de la caja es mayor que la división inferior, por lo tanto los valores de las medidas están más concentrados entre el 50 % y el 75 %, que entre el 25 % y el 50 %. La línea superior es mayor que la línea inferior, por lo tanto el 25 % de las medidas con mayor valor se encuentran más concentradas que el 25 % de las medidas con menor valor.

Por último, con respecto a la banda de UMTS 2100 podemos observar que la división superior de la caja es mayor que la división inferior, por lo tanto los valores de las medidas están más concentrados entre el 50 % y el 75 %, que entre el 25 % y el 50 %. La línea superior es mayor que la línea inferior, por lo tanto el 25 % de las medidas con mayor valor se encuentran más concentradas que el 25 % de las medidas con menor valor.

Como conclusión a este estudio podemos decir que los valores se mantienen estables en la medida del número de estudiantes que se encuentren en las instalaciones. También podemos afirmar, que según el RD 1066/2001 del 28 de Septiembre [5], los niveles de emisiones radioeléctricas obtenidos en el estudio temporal no superan los valores de referencia en las diferentes bandas.

5.3. Estudio Espacial

El estudio espacial consistió en la realización de medidas en cada una de las estancias de la planta baja del pabellón de informática. Para ello se distribuyeron los puntos como indica la figura 4.3. Para ello, se situó el medidor EME SPY 200 sobre un trípode a una altura de 1,50 metros, revisando la misma altura en cada uno de los cuarenta y seis puntos medidos. Se analizó la media, la mediana, la desviación estándar, el error y el coeficiente de variación de cada una de las bandas del estudio para los 46 puntos del mismo.

5.3.1. FM

Para la banda de FM se obtuvieron los siguientes resultados:

5.3. ESTUDIO ESPACIAL

Banda de frecuencia	Rango(V/m)	Media(V/m)	Mediana(V/m)	S.D	Error	C.V (%)
FM	0,010-0,054	0,025	0,025	0,003	0,005	12

Tabla 5.6: Valores estadísticos del estudio espacial para la banda FM. S.D: Desviación Estándar. C.V (%): Coeficiente de variación (%)

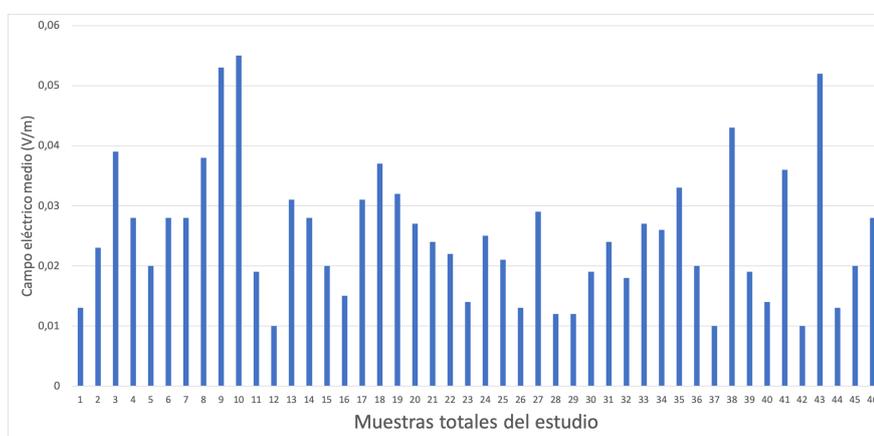


Figura 5.7: Variación espacial del campo eléctrico en la banda de FM

En la figura 5.7 se puede observar que el valor máximo alcanzado en todas las mediciones fue de 0,055 V/m, mientras que el valor mínimo alcanzado fue de 0,01 V/m. Cabe destacar que los valores se muestran muy estables en la medida de lo posible entre las muestras del estudio, alcanzando el campo máximo en el punto 10 del pasillo central. Los valores se mantienen prácticamente estables, siendo el coeficiente de variación del 12 %, ligeramente superior al coeficiente de variación obtenido en el estudio temporal. La desviación estándar obtenida para la banda de FM es de 0,003, por lo tanto los resultados medidos están en un pequeño intervalo de valores.

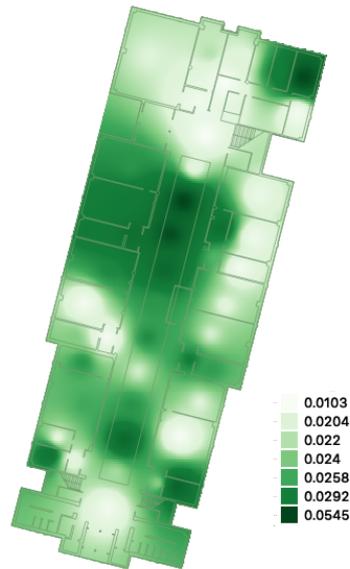


Figura 5.8: Interpolación de los datos obtenidos para la banda de FM. Datos representados en V/m

La figura 5.8 representa la interpolación espacial IDW (inversa a la distancia) realizada mediante el software QGIS3. En ella podemos ver de color verde oscuro los puntos donde se detectaron las medidas con mayor intensidad y en blanco aquellas donde se detectó menor intensidad. Como podemos ver, a medida que nos vamos adentrando en los despachos o aulas en los cuales hay que pasar por más de una puerta, esta intensidad baja considerablemente. Parece que la emisión es mayor en la parte oeste del pabellón y se produce un apantallamiento de los campos eléctricos de esta frecuencia al ir hacia el este de ese pabellón.

5.3.2. LTE 800

Para la banda de bajada de telefonía LTE 800 se obtuvieron los siguientes resultados:

Banda de frecuencia	Rango(V/m)	Media(V/m)	Mediana(V/m)	S.D	Error	C.V (%)
LTE 800	0,010-0,082	0,04	0,03	0,014	0,03	42,4

Tabla 5.7: Valores estadísticos del estudio espacial para la banda LTE 800. S.D: Desviación Estándar. C.V (%): Coeficiente de variación (%)

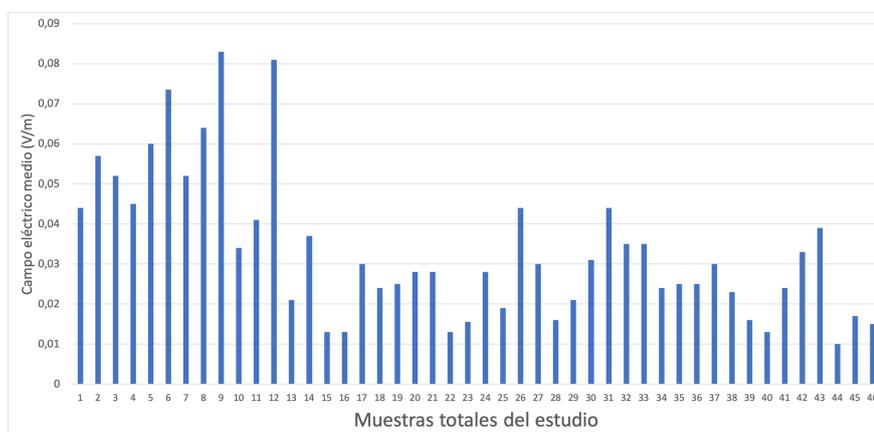


Figura 5.9: Variación espacial del campo eléctrico en la banda de bajada de LTE 800

En la figura 5.9 se puede observar que el valor máximo alcanzado fue de 0,083 V/m, mientras que el valor mínimo alcanzado fue de 0,01 V/m. Como se puede observar, los valores se intensifican en las primeras 12 medidas del estudio, correspondientes al pasillo central. Estas medidas son mayores debido a la inexistencia de paredes y obstáculos que hagan que la señal pierda potencia con la distancia a la antena exterior. Esto se puede ver fácilmente entre dos puntos que se separan prácticamente en 15 metros, entre los puntos 9 y 12. Estos dos puntos perciben prácticamente el mismo nivel de campo eléctrico. Esta banda presenta un coeficiente de variación del 42%, resultado de unas medidas bastante dispares en intensidad. Cabe destacar que el coeficiente de variación temporal para esta banda de frecuencia fue del 10%. Por este motivo podemos decir que la variación espacial parece ser debida al apantallamiento

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

que sufre la señal con las paredes del edificio, así como al aumento de la distancia a la antena exterior.

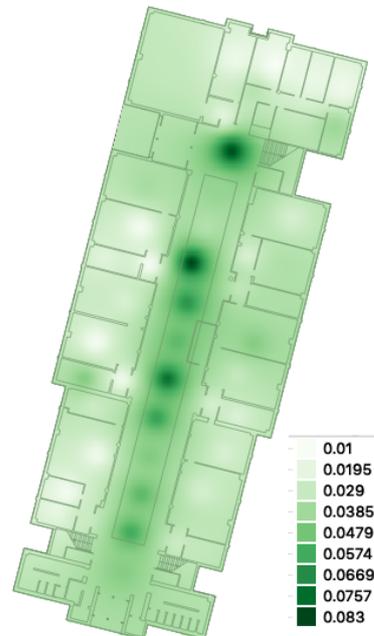


Figura 5.10: Interpolación de los datos obtenidos para la banda de bajada LTE 800. Datos representados en V/m

La figura 5.10 representa la interpolación espacial IDW (inversa a la distancia) realizada mediante el software QGIS3. En ella podemos ver perfectamente lo explicado anteriormente, el mayor nivel de intensidad obtenido se corresponde con los 12 puntos de medida situados en el pasillo central.

5.3.3. GSM + UMTS 900

Para la banda de bajada de telefonía móvil GSM + UMTS 900 se obtuvieron los siguientes resultados:

Banda de frecuencia	Rango(V/m)	Media(V/m)	Mediana(V/m)	S.D	Error	C.V (%)
GSM + UMTS 900	0,016-0,179	0,067	0,063	0,009	0,019	14,3

Tabla 5.8: Valores estadísticos del estudio espacial para la banda GSM + UMTS 900. S.D: Desviación Estándar. C.V (%): Coeficiente de variación (%)

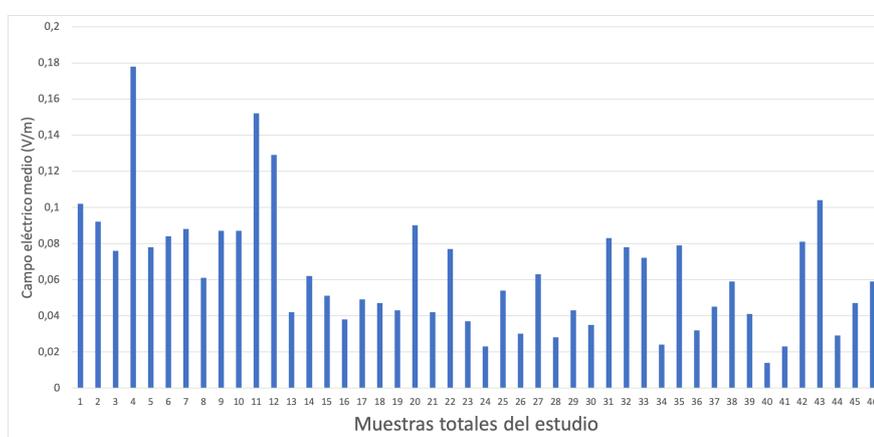


Figura 5.11: Variación espacial del campo eléctrico en la banda de bajada de GSM + UMTS 900

Como en el caso anterior, en la figura 5.11 se representa un campo eléctrico máximo en los 12 primeros puntos de la medición. La causa puede deberse a la misma explicada anteriormente, la ausencia de paredes que delimiten la señal recibida. Se registra un máximo de la mediana alrededor de 0,179V/m para el punto 4, mientras que el mínimo se encuentra en 0,016 V/m en el punto 40.

Esta banda presenta un coeficiente de variación del 14%, resultado de que las intensidades que recibimos no varían mucho. Fruto de esto, obtenemos una desviación estándar del valor de 0,009. El coeficiente de variación temporal que presenta el estudio temporal es del 9,6%, inferior al obtenido en el estudio espacial, 14,3%.

Al igual que ocurre con las bandas anteriormente estudiadas, los valores más altos se registran en los 12 puntos del pasillo central y la señal parece atenuarse en los

despachos fruto del aumento del apantallamiento mediante las paredes.

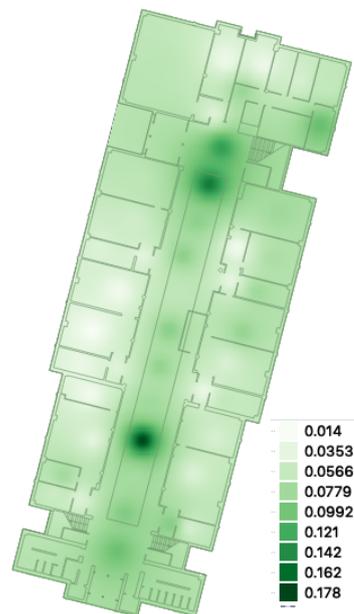


Figura 5.12: Interpolación de los datos obtenidos para la banda de bajada GSM + UMTS 900. Datos representados en V/m

La figura 5.12 representa la interpolación espacial IDW (inversa a la distancia) realizada mediante el software QGIS3. En ella podemos ver que los puntos que presentan una mayor intensidad corresponden a los puntos del pasillo central.

5.3.4. GSM 1800

Banda de frecuencia	Rango(V/m)	Media(V/m)	Mediana(V/m)	S.D	Error	C.V (%)
GSM 1800	0,013-0,118	0,05	0,04	0,019	0,04	48,7

Tabla 5.9: Valores estadísticos del estudio espacial para la banda GSM 1800. S.D: Desviación Estándar. C.V (%): Coeficiente de variación (%)

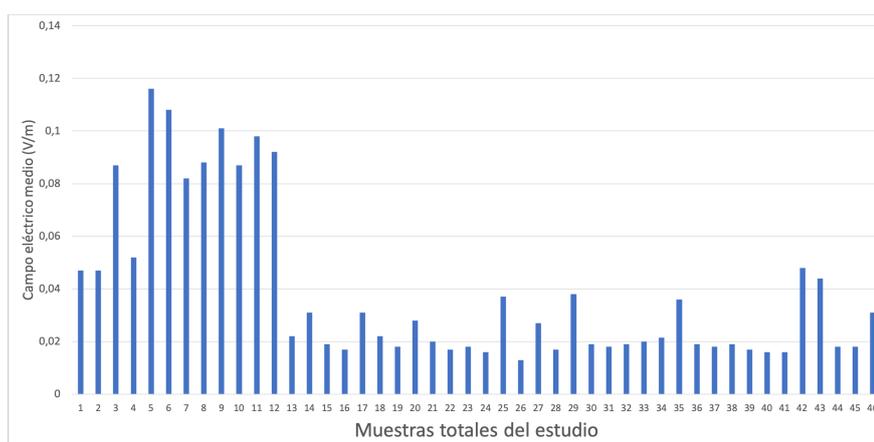


Figura 5.13: Variación espacial del campo eléctrico en la banda de bajada de GSM 1800

La figura 5.13 representa la variación del campo eléctrico recibido en la banda de frecuencia GSM 1800. Podemos ver, como en los dos casos anteriores, que esta señal presenta máximos en los 12 puntos del pasillo central. Es decir, al igual que ocurre en los demás casos de bandas de telefonía móvil, la señal desciende a medida que nos adentramos en los diferentes espachos y aulas, donde la media se encuentra alrededor de 0,020 V/m. Esta banda presenta un coeficiente de variación del 48,7%, resultado de las diferentes medidas obtenidas en el pasillo central y en las diferentes aulas y despachos. Nos encontramos ante un máximo de la mediana en el punto 5 de 0,118 V/m, mientras que el mínimo lo encontramos en el punto 26 con 0,013 V/m.

Cabe destacar que en esta banda la variación temporal fue muy elevada, del orden del 67%, con lo que esta variación espacial resulta ser inferior a la temporal. De esta forma, hay que tener cuidado a la hora de realizar una conclusión en la variación espacial.

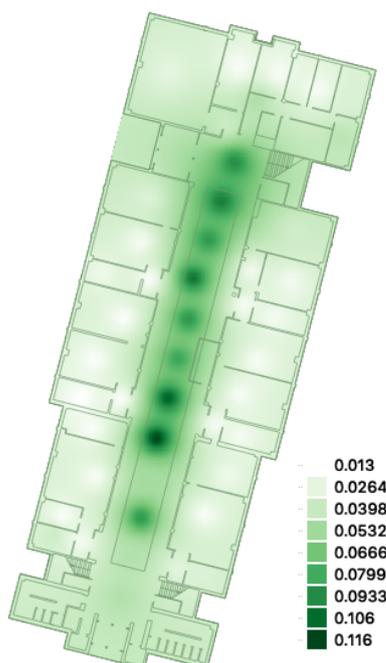


Figura 5.14: Interpolación de los datos obtenidos para la banda de bajada GSM 1800. Datos representados en V/m

La figura 5.14 representa la interpolación espacial IDW (inversa a la distancia) realizada mediante el software QGIS3. En ella podemos ver, con bastante claridad, como los puntos de medición situados en el pasillo central del pabellón presenta los mayores valores medidos. Esto, puede ser debido a lo comentado anteriormente, la existencia de paredes que hagan que la señal se debilite.

5.3.5. UMTS 2100

Los resultados obtenidos para la banda de bajada de telefonía móvil UMTS 2100 son los siguientes:

Banda de frecuencia	Rango(V/m)	Media(V/m)	Mediana(V/m)	S.D	Error	C.V (%)
GSM 2100	0,010-0,125	0,038	0,037	0,005	0,010	13,5

Tabla 5.10: Valores estadísticos del estudio espacial para la banda GSM 2100. S.D: Desviación Estándar. C.V (%): Coeficiente de variación (%)

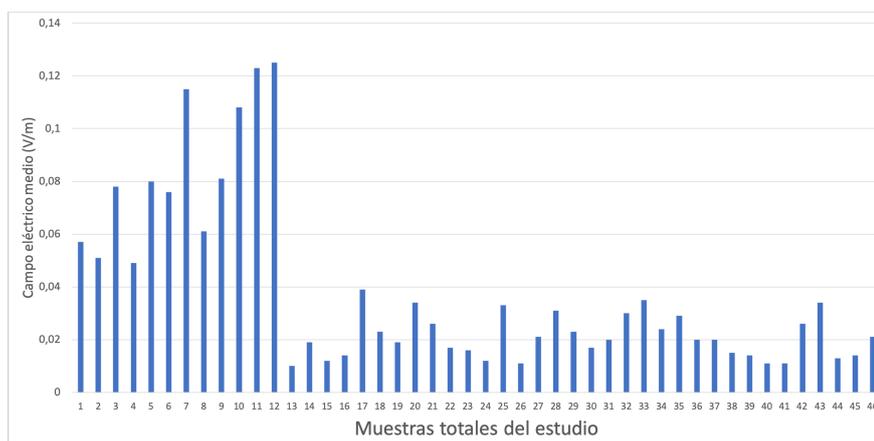


Figura 5.15: Variación espacial del campo eléctrico en la banda de bajada de UMTS 2100

En la figura 5.15 vemos como los valores siguen el patrón de las anteriores bandas de bajada, siendo la intensidad recibida mayor en los 12 primeros puntos de las mediciones, los correspondientes al pasillo central. La señal recibida se presenta prácticamente constante una vez que entramos en las aulas y despachos, presentando una media de alrededor de 0,018 V/m. Obtenemos un máximo de la mediana de alrededor de 0,125 V/m en el punto 12, mientras que el mínimo lo encontramos en el punto 13, con un valor de 0,01 V/m. Esta banda obtiene un coeficiente de variación del 13,51 % y una desviación estándar de 0,005.

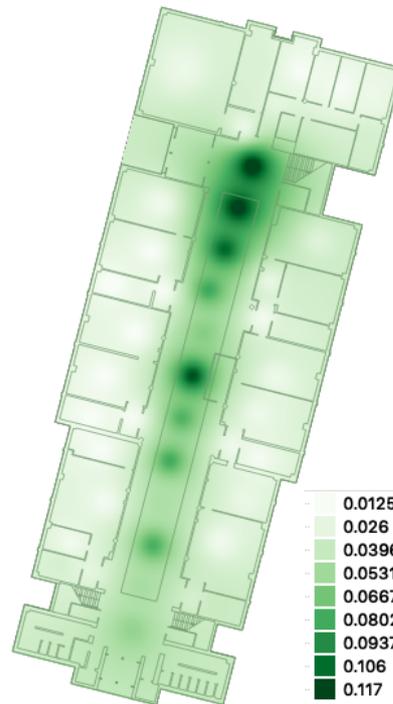


Figura 5.16: Interpolación de los datos obtenidos para la banda de bajada UMTS 2100. Datos representados en V/m

La figura 5.16 representa la interpolación espacial IDW (inversa a la distancia) realizada mediante el software QGIS3. En ella podemos ver, como en los casos anteriores estudiados, cómo se concentran las mayores medidas recibidas en el pasillo central, debido a lo explicado anteriormente.

5.3.6. WIFI 2G

Para la banda de WIFI 2G los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Banda de frecuencia	Rango(V/m)	Media(V/m)	Mediana(V/m)	S.D	Error	C.V (%)
WIFI 2G	0,005-0,078	0,023	0,019	0,012	0,020	63,1

Tabla 5.11: Valores estadísticos del estudio espacial para la banda WIFI 2G. S.D: Desviación Estándar. C.V (%): Coeficiente de variación (%)

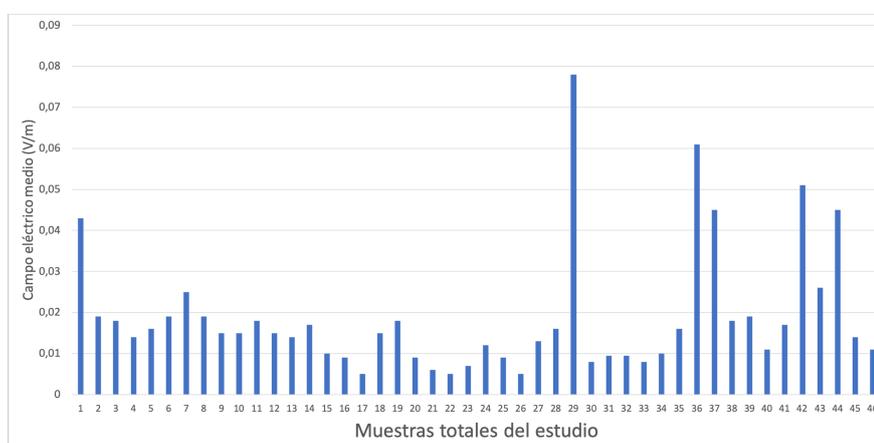


Figura 5.17: Variación espacial del campo eléctrico en la banda de WIFI 2G

En la figura 5.17 podemos ver la variación de la intensidad recibida para la banda de WIFI 2G. En ella podemos ver que la gráfica presenta un pico en el punto medido número 29, que como podemos ver en la tabla 5.4 coincide con el hall de la sala Sun y la sala I1. Esto puede deberse a la existencia de múltiples accesos WIFI alrededor de esta estancia. Con respecto a los resultados anteriores a este punto, al estar más lejos de puntos de acceso, la intensidad recibida se mantiene en torno a 0,020 V/m. Esta banda presenta un coeficiente de variación del 63,16% y una desviación estándar de 0,012. Cabe destacar que esta banda es la que menor valor medio (0,023 V/m) junto con las bandas de FM (0,025 V/m) y la de WIFI 5G. La variación espacial que presenta es del mismo orden de magnitud que la variación de la misma banda en el estudio temporal.

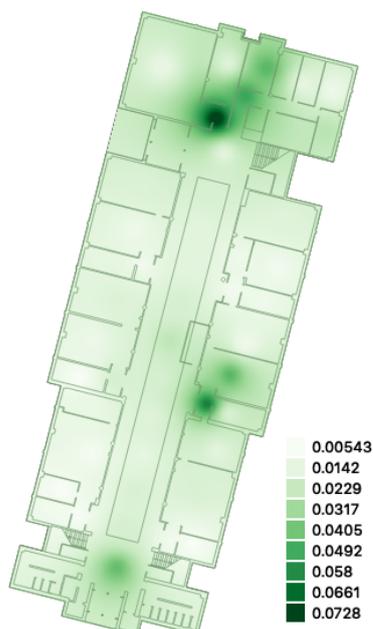


Figura 5.18: Interpolación de los datos obtenidos para la banda de WIFI 2G. Datos representados en V/m

La figura 5.18 representa la interpolación espacial IDW (inversa a la distancia) realizada mediante el software QGIS3. En ella podemos ver cómo el punto descrito anteriormente, el situado en el hall de la sala Sun, presenta los mayores niveles de mediana recibidos. Esto se debe a los numerosos puntos de acceso wifi que presenta a su alrededor, como podemos ver en la figura 4.4. Este punto de medición está rodeado de 1 punto de acceso situado en la planta baja y 4 puntos situados en la primera planta.

5.3.7. WIFI 5G

Para la banda de WIFI 5G los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Banda de frecuencia	Rango (V/m)	Media(V/m)	Mediana(V/m)	S.D	Error	C.V (%)
WIFI 5G	0,01-0,37	0,024	0,029	0,008	0,017	27,5

Tabla 5.12: Valores estadísticos del estudio espacial para la banda WIFI 5G. S.D: Desviación Estándar. C.V (%): Coeficiente de variación (%)

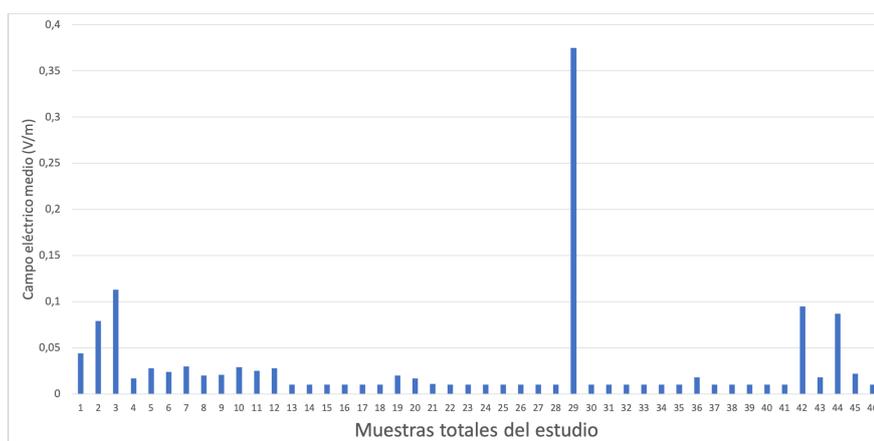


Figura 5.19: Variación espacial del campo eléctrico en la banda de WIFI 5G

En la figura 5.19 podemos ver cómo el punto 29 presenta un máximo, tal y como veíamos en el estudio de la banda WIFI 2G. Esto es debido al mismo motivo, los numerosos puntos de acceso WIFI situados alrededor de este punto de medición. Esta banda presenta un coeficiente de variación del 27,59% y una desviación estándar de 0,008.

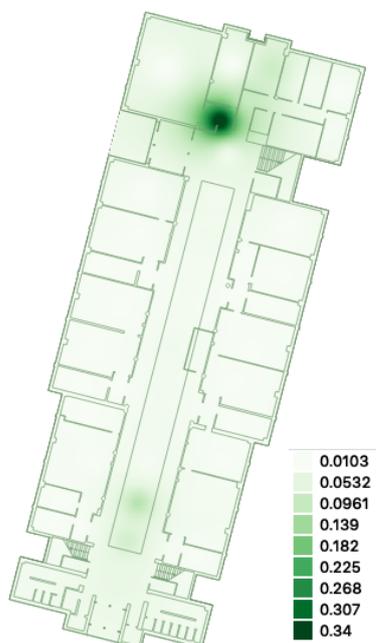


Figura 5.20: Interpolación de los datos obtenidos para la banda de WIFI 5G. Datos representados en V/m

La figura 5.20 representa la interpolación espacial IDW (inversa a la distancia) realizada mediante el software QGIS3. En ella podemos ver cómo el edificio presenta una intensidad de WIFI 5G casi nula, excepto el punto de medición 29. Esto se debe a los numerosos puntos de acceso wifi que presenta a su alrededor, como podemos ver en la figura 4.4. Este punto de medición está rodeado de 1 punto de acceso situado en la planta baja y 4 puntos situados en la primera planta.

5.3.8. Comparación con otros estudios

Una vez realizado nuestro estudio, compararemos los resultados con otros estudios similares, concretamente con los expuestos en el apartado 3, Estado del Arte.

A lo largo de nuestro estudio hemos comprobado que las bandas con mayor presencia en el pabellón de informática han sido las bandas de bajada de telefonía móvil. En ellas, encontramos el máximo de nivel de exposición perteneciente a la banda de GSM + UMTS 900 con un valor de 63 mV/m. Comparando estos resultados con los del artículo 1, las medias aritméticas de la densidad de potencia total fueron $174,9 \mu W/m^2$ para todos los participantes, $226,9 \mu W/m^2$ para las madres y $116,2 \mu W/m^2$ para los niños. En nuestro caso, nos encontramos muy por debajo de estos resultados, llegando ninguno a llegar ni a la mitad de cualquiera de los tres resultados anteriores.

Con respecto al segundo artículo mencionado, la exposición personal total fue de $75,5 \mu W/m^2$. El enlace descendente fue el mayor contribuyente a la exposición total (mediana = $27,2 \mu W/m^2$). La exposición desde el enlace ascendente fue menor, $4,7 \mu W/m^2$. El WiFi contribuyó muy poco a los niveles de exposición. Esta exposición fue mayor durante el día ($94,2 \mu W/m^2$) que durante la noche ($23,0 \mu W/m^2$), y ligeramente mayor durante los fines de semana que entre semana. Las exposiciones medianas fueron más altas mientras los niños estaban fuera de casa ($157 \mu W/m^2$) o viajando ($171,3 \mu W/m^2$) y muchos más bajos cuando estaban en casa ($33 \mu W/m^2$) o en la escuela ($35,1 \mu W/m^2$). Los niños que viven en entornos urbanos tenían mayor exposición que los niños en entornos rurales. Los mayores y los usuarios de teléfonos móviles tenían una mayor exposición al enlace ascendente pero no a la exposición total, en comparación con los niños pequeños que no usaban móviles. En nuestro caso, los niveles obtenidos están por debajo de los obtenidos en este resultado, aunque sacamos en claro que los mayores y usuarios de teléfonos móviles presentan una mayor exposición al enlace descendente, bandas predominantes en nuestro estudio.

Capítulo 6

Conclusiones y trabajos futuros

- Estudio inicial: En este estudio hemos obtenido que las bandas más representativas en el estudio fueron todas las de bajada de telefonía móvil, todas con más de un 50% de valores superiores al umbral del dispositivo. El proceso de medida se ajustó a 2 minutos en cada punto de medición ya que las desviaciones estándar de los valores del campo eléctrico total fueron muy similares, con lo cual no era necesario aumentar el tiempo de medida para mejorar la estabilidad de los datos.
- Estudio temporal: En este estudio hemos obtenido que las bandas más representativas, al igual que en el estudio inicial, fueron todas las bandas de bajada de telefonía móvil. Los menores coeficientes de variación se han obtenido para las bandas de FM (7,69%) y GSM + UMS 900 (9,58%) dando un resultado más estable de la señal recibida. Así mismo, la banda con más variación obtenida fue la banda de bajada de telefonía GSM 1800 (66,66%). Las bandas que presentaron una media de campo eléctrico más elevadas fueron las bandas de bajada de telefonía GSM + UMTS 900 (0,073 V/m), GSM 1800 (0,049 V/m) y UMTS 2100 (0,048 V/m). De la misma manera, la banda que menor media de campo eléctrico presentó fue la banda de WIFI 2G (0,014 V/m). En este estudio no se superaron los valores de referencias establecidos por el RD 1066/2001 del 28 de Septiembre [5].

- Estudio espacial: En este estudio, al igual que en los dos estudios previos, las bandas más representativas han sido las bandas de bajada de telefonía móvil. Los menores coeficientes de variación se han obtenido para las bandas de FM (12,0%), GSM + UMTS 900 (14,3%) y UMTS 2100 (13,5%), presentando esta última menor variación en el estudio espacial frente al estudio temporal. Así mismo, y en diferencia al estudio temporal, la banda que presenta mayor variación es la banda de WIFI 2G (63,16%). Las bandas que presentaron una media más elevada de campo eléctrico fueron las bandas de bajada de telefonía móvil GSM + UMTS 900 (0,067 V/m) y GSM 1800 (0,046 V/m). Las bandas que presentaron un menor valor medio en este caso fueron las bandas de WIFI 2G (0,023 V/m) y WIFI 5G (0,024 V/m). En este estudio no se superaron los valores de referencias establecidos por el RD 1066/2001 del 28 de Septiembre [5].
- Podemos afirmar que la presencia de paredes entre las estancias influye en la intensidad de la señal recibida, siendo la mayor exposición en aquellos puntos que no presentan obstáculos, tales como los situados en el pasillo central, claves en el estudio, pues es donde se han obtenido los mayores niveles de todas las bandas de bajada de telefonía móvil.
- La banda de FM es una de las que presentaba una menor variabilidad espacial, obteniéndose para ella un coeficiente de variación espacial del 12%, que sin embargo, es ligeramente superior al obtenido en el estudio temporal (7,7%).
- Con respecto a las bandas de WIFI 2G y WIFI 5G, obtenemos los mayores resultados en aquellos puntos situados donde existen más puntos de acceso WIFI, como era de esperar.
- Comparando nuestro resultado con el obtenido en los artículos 1 y 2 citados en el apartado Estado del Arte, podemos afirmar que nos encontramos muy por debajo de los resultados obtenidos en el exterior de las viviendas. En nuestro caso, al ser un estudio de interior hemos comprobado que existe una apreciable disminución

de los niveles por apantallamiento de la señal por la existencia de paredes.

Un posible estudio futuro sería la realización de un estudio de la planta primera del mismo pabellón y así poder hacer una relación de los valores obtenidos en función de la altura para su posterior análisis.

Bibliografía

- [1] Eme Spy 200. Dispositivo de medición continua de los niveles de campo electromagnético en bandas predefinidas. http://www.temsystem.es/pdfs/EME_SPY_200.pdf, 2016. [Consultado el 14/06/2019].
- [2] Universidad de Extremadura. Distribución espacial de los puntos wifi de la escuela politécnica. https://www.unex.es/organizacion/servicios-universitarios/servicios/siue/funciones/servicio_usuario/wifi/documentos/mapas-de-cobertura/caceres/ccpol.pdf/view, 2015. [Consultado el 15/06/2019].
- [3] Universidad de Extremadura. Conoce la unex. <https://www.unex.es/conoce-la-uex/centros/epcc/centro/instalaciones/plano-epcc>, 2017. [Consultado el 29/06/2019].
- [4] Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación. Emisiones radioeléctricas: Normativa, técnicas de medida y protocolos de certificación. https://www.coit.es/sites/default/files/informes/pdf/emisiones_radioelectricas._normativa_tecnicas_de_medida_y_protocolos_de_certificacion.pdf, 2008. [Consultado el 12/06/2019].
- [5] Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 1066/2001 del 28 de Septiembre. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-18256>, 2001. [Consultado el 29/06/2019].

- [6] Birksa et al. Spatial and temporal variability of personal environment exposure to radio frequency electromagnetic fields in children in Europe, *Environment International*, N° 117, páginas 204-214.
- [7] Jonghyuk Choi et al. Assessment of radiofrequency electromagnetic field exposure from personal measurements considering the body shadowing effect in Korean children and parents, *Science of the Total Environment*, N° 627, páginas 1544-1551.
- [8] Física. Ondas Electromagnéticas y Ondas Mecánicas. <http://fisica6cbtis37.blogspot.com/2016/02/ondas-electromagneticas-y-ondas.html>, 2016. [Consultado el 20/06/2019].
- [9] Elena González Salgado. Estimación del campo electromagnético producido por estaciones base de telefonía móvil en viviendas a partir de medidas en exteriores.
- [10] Google Inc. Google maps s.l. <https://www.googlemaps.com>, 2017. [Consultado el 26/06/2019].
- [11] Energía y Turismo Ministerio de Industria. Servicio de información sobre instalaciones radioeléctricas y niveles de exposición. <https://geoportal.minetur.gob.es/VCTEL/vcne.do>, 2018. [Consultado el 15/06/2019].
- [12] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Potential health effects to exposure to electromagnetic fields. http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_041.pdf, 2015. [Consultado el 15/06/2019].
- [13] Martin L. Pall. Wi-Fi is an important threat to human health, *Environmental Research*, N° 164, páginas 405-416.