



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

Contaminación electromagnética en el entorno universitario

Alumno: Beatriz Fernández Salguero

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser la del alumno Beatriz Fernández Salguero.

Junio, 2018

ÍNDICE

i. RESUMEN.....	2
ii. ABSTRACT.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. OBJETIVOS.....	14
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
5. CONCLUSIONES.....	34
6. BIBLIOGRAFÍA.....	35

i. RESUMEN

Desde la década de los 70 se ha venido hablando sobre la contaminación electromagnética o “electrosmog” ya que el acelerado avance tecnológico que se ha experimentado en los últimos años ha provocado que estemos sometidos constantemente a campos eléctricos y magnéticos superiores a los naturales, lo que ha hecho a este tipo de contaminación un tema interesante a tratar en nuestra sociedad actual.

Cuando se habla de contaminación electromagnética podemos referirnos a la de frecuencias muy bajas o la de frecuencias intermedias. Este estudio se ha centrado en la segunda, pues esta se asocia a las torres de telefonía y móviles, entre otros, por lo que resulta más interesante teniendo en cuenta el entorno escogido para el estudio.

De este modo, el trabajo ha consistido en la realización de mediciones de campo de las densidades de potencia en el entorno de la Universidad de Jaén debido a la existencia de campos electromagnéticos. Tras este trabajo de campo se han comparado los valores obtenidos con la legislación correspondiente con el objetivo de comprobar que las intensidades medidas en el campus no superan los máximos establecidos por la ley.

Palabras clave: contaminación, radiación, telefonía móvil, ondas electromagnéticas, salud.

ii. ABSTRACT

Electromagnetic pollution or “electrosmog” has been a topic of interest since the 70s due to the fast technological advance experienced in the past few years that has caused us to be constantly under bigger electric and magnetic fields than the natural ones. This makes electromagnetic pollution an interesting topic to discuss about in our current society.

When talking about electromagnetic pollution we can refer to two different types of it, the one associated to extremely low frequencies and the one associated to intermediate frequencies. This study is focused on the second since is the one related to cell phone towers and mobile phones, inter alia, which makes it more interesting considering the chosen context of the study.

Thereby, the study consisted in taking field measurements of the power density at Universidad de Jaén environment related to the existing electromagnetic fields. After that, obtained values has been compared to the corresponding legislation to prove that measured intensities at the campus don't exceed maximum levels established by law.

Keywords: Pollution, radiation, mobile telephony, electromagnetic waves, health.

1. INTRODUCCIÓN

Fue a finales del siglo XIX cuando se instalaron las primeras estaciones de producción y distribución de electricidad, lo que dio comienzo a la era tecnológica en la que nos encontramos y, en consecuencia, a la contaminación electromagnética que en este estudio nos concierne. Naturalmente, estamos expuestos a los campos eléctricos y magnéticos de la Tierra y el Sol, y los ocasionalmente provocados por descargas de tormentas eléctricas.

El dilema resulta en que desde el inicio de la era tecnológica se ha experimentado un acelerado desarrollo, particularmente en los últimos 50 años, el cual nos ha permitido disponer de redes de alta tensión eléctrica que abastecen a los numerosos electrodomésticos utilizados actualmente por la población, y sistemas de comunicación como la telefonía móvil, la radio y el internet inalámbrico o wi-fi.

Según un estudio realizado por la Fundación Orange, el número de líneas de telefonía móvil en el mundo alcanzó los 5.300 millones en 2010, lo que implica una tasa de penetración global del 76%. De igual forma, el acceso a banda ancha fija y móvil ha crecido significativamente.

De este modo, el avance tecnológico que ha dado la existencia de generadores, transmisores y consumidores de corriente eléctrica resulta en un aumento de la densidad del flujo magnético (B) y del campo eléctrico (E) en el entorno. En definitiva, ha provocado la aparición de la denominada contaminación electromagnética. Esta contaminación la generan, pues, todas las radiaciones electromagnéticas que son generadas por el funcionamiento de equipos eléctricos. Para hacer referencia a esta contaminación ha surgido el término estrés electromagnético, que hace referencia a la alteración perjudicial de las funciones vitales del ser humano y otros seres vivos derivado de la sobreexposición a la radiación electromagnética.

De forma natural la materia posee cargas eléctricas las cuales generan campos eléctricos, mientras que las cargas eléctricas en movimiento generan un campo magnético. Las consecuencias de que existan estos campos en una determinada zona del espacio se traducen, por una parte, en que se dan fuerzas sobre cargas debido a la existencia de los campos eléctricos, y fuerzas sobre cargas en movimiento debido a los campos magnéticos.

Si el campo eléctrico depende del tiempo, origina una intensidad de corriente dependiente del tiempo. Esta intensidad genera cargas en movimiento lo que a su vez da lugar a un campo magnético. Dado que esta intensidad es dependiente del tiempo, el campo magnético al que da lugar también lo es. Estos conceptos se relacionan a través de la ley de Faraday, de modo que el campo magnético dependiente del tiempo genera a su vez un campo eléctrico dependiente del tiempo, con lo que quedaría establecido un ciclo continuo, que es el que da origen a las ondas electromagnéticas. Estas sólo pueden existir a partir de campos eléctricos y magnéticos que cambien con el tiempo, es decir, campos eléctricos y magnéticos fijos no generarían ondas electromagnéticas.

Los campos eléctricos y magnéticos que varían con el tiempo lo hacen a distintas velocidades y, por tanto, a distintas frecuencias. Según estas frecuencias van a dar lugar a distintas manifestaciones que constituyen el espectro magnético, que se puede dividir en distintas zonas según la frecuencia de las ondas.

La existencia de ondas electromagnéticas supone la radiación de energía a muy largas distancias. Esta energía se transmite en forma de paquetes llamados fotones, los cuales se pueden calcular como el producto de la constante de Plank y la frecuencia de la onda.

En un momento dado, la frecuencia es tal que la energía puede ser suficiente como para ionizar un átomo y, por tanto, para romper enlaces químicos a nivel molecular en las células, lo que lleva asociado el poder dar lugar a mutaciones.

La región del espectro en la que se da esta característica y que se conoce como ionizante, tiene una energía tal que su comportamiento es similar al de las partículas, por lo que también se denomina zona cuántica, de partículas o

corpuscular. Dentro de la región ionizante se encuentra el ultravioleta lejano, los rayos X y los rayos gamma.

El resto del espectro electromagnético se conoce como la región no ionizante, pudiéndose dividir a su vez en la zona de ondas u ondulatoria y la zona de campo. Para hablar de ondas es necesario tener antenas que las emitan, y es la longitud de la onda a emitir la que marca el tamaño de las antenas, de modo que, para la zona de campo, las frecuencias son tan bajas que las longitudes de onda son enormes y por tanto, no podemos tener antenas de esas dimensiones. Por ello, la zona de muy bajas frecuencias se conoce como zona de campo. Estas frecuencias extremadamente bajas o FEB se encuentran entre los 1 Hz y 300 Hz (resonancia magnética nuclear para diagnóstico médico, neveras, secadores de pelo, líneas de alta tensión).

El resto de la región no ionizante es la zona de ondas, que es la de frecuencias intermedias y se compone de la zona de radio, infrarrojos, visible y ultravioleta cercano y medio. Concretamente, se compone de dos tipos de frecuencias: las radiofrecuencias o RF, comprendidas entre 3 kHz a 300 MHz (monitores de ordenador, las antenas de radionavegación, radiocomunicaciones AM y FM), y las microondas o MO, superiores a 300 MHz hasta 300 GHz (teléfonos móviles, microondas, antenas de estaciones de televisión y radares). Las radiofrecuencias y las microondas corresponden a la zona ondulatoria.

En nuestro estudio nos centramos en las microondas. Más concretamente, es especialmente interesante las procedentes de la telefonía móvil ya que es la que más ampliamente se encuentra instalada en nuestra sociedad, por lo que es la que mayor radiación está aportando a nuestros entornos.

Los electrodomésticos utilizan una corriente de frecuencias entre 50 y 60 Hz que genera un campo eléctrico y magnético que disminuye considerablemente al alejarnos pocos decímetros de la fuente y desaparece cuando estos se desconectan. Sin embargo, las radiaciones emitidas por las antenas de teléfono no desaparecen al desconectar la fuente y pueden llegar a distancias mucho mayores. Además, la densidad de potencia en un punto es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente emisora.

En el uso de la telefonía existen dos elementos básicos, el terminal o teléfono móvil y la estación base. Estas ondas son transmitidas como pulsos y, mientras que el dispositivo móvil emite en todas direcciones, las estaciones base lo hacen en una sola dirección. Las radiaciones emitidas y recibidas en la telefonía móvil se encuentra a frecuencias entre 800 MHz y 2100 MHz para el sistema digital.

En relación a la región no ionizante del espectro electromagnético, podemos hablar de dos tipos de contaminación electromagnética, la de muy bajas frecuencias y la de frecuencias intermedias. La contaminación electromagnética de muy bajas frecuencias es la asociada a la zona de campo y da lugar a campos y corrientes inducidas. Esto es, dado un material conductor en el que existen cargas eléctricas, al llegar un campo eléctrico que cambia a dicho material, aparece una fuerza sobre la carga eléctrica lo que hará que la carga se mueva. Cuando el campo cambia de sentido, la carga es movida a su vez en ese sentido. Esto, en último término, genera corrientes inducidas.

En el caso de la contaminación de frecuencias intermedias está asociada a la zona de ondas y, por tanto, se basa en la interacción de las ondas con los tejidos. El principal efecto de esta última es la producción de calor.

Cuando el campo que llega al material conductor varía muy rápidamente, la carga eléctrica se mueve mucho menos ya que el campo oscila tan rápido que no le da tiempo a seguir el movimiento del campo. Es decir, la carga se mueve pero no genera una corriente inducida ya que no se desplaza lo suficiente. El efecto que se daría sería la pérdida de energía debida al rozamiento de la onda electromagnética generada por los campos que cambian en el tiempo y el material conductor, lo que conlleva al aumento de la temperatura de dicho material.

Así, podemos clasificar los efectos biológicos en efectos térmicos, no térmicos y atérmicos.

Los efectos térmicos se definen como aquellos que producen un incremento medible, es decir, mayor a 1°C, de la temperatura corporal. Este calentamiento puede generar un cambio en la orientación espacial de las moléculas dipolares como el agua. Además, son susceptibles de provocar que los poros de la barrera hematoencefálica se dilaten, permitiendo de este modo la entrada de sustancias extrañas que se relacionan con tumores cerebrales, enfermedad de Alzheimer, pérdida de la memoria y alteración de los procesos del sueño y la vigilia.

En el caso de la telefonía móvil, estos efectos se producen en la superficie y profundidad de los tejidos de la cabeza que están expuestos a esta radiación. Es decir, que el efecto tiene la posibilidad de darse en el tejido cerebral pudiendo derivar en daños más graves y efectos neuroconductuales, por ejemplo, un aumento del riesgo de sufrir tumores cerebrales.

Los efectos térmicos han sido demostrados con certeza por los estudios y son los principales asociados a las radiofrecuencias emitidas como hemos señalado anteriormente en la zona de ondas y, por lo tanto, por los teléfonos móviles. Afectan mayormente a los tejidos con un porcentaje de agua alto y que, por tanto, tienen una elevada conductividad, tal como los globos oculares y el sistema nervioso central, también el hígado, el páncreas y los ganglios linfáticos. En los globos oculares se puede dar un daño más alto debido a que en ellos el riego sanguíneo es menor, lo que hace que la pérdida de agua sea más lenta. Se estima que la reversibilidad de estos efectos está en torno al 90%.

Los efectos no térmicos consisten en la inducción de corrientes y campos eléctricos en los tejidos y están asociados a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia, es decir, en la zona de campo. Si bien a estos efectos no se les ha prestado mucha atención, existen estudios que demuestran su carácter acumulativo y la posibilidad de alterar la actividad cerebral.

Incluyen algunos como cambios en la producción de melatonina, ferritina e histamina, entre otros compuestos, además de alteraciones en la membrana celular, aumento de la permeabilidad de la barrera hematoencefálica, cambios endocrinos, y mutaciones.

Por último, los efectos atérmicos son aquellos que pueden dar lugar un aumento de la temperatura corporal debido a que existe suficiente energía pero que, a diferencia de los térmicos, no se llega a dar dicho incremento gracias al enfriamiento ambiental. Al igual que los no térmicos, los efectos que se han observado para estos son la inducción de corrientes eléctricas capaces de alterar las células nerviosas y musculares.

Por tanto, en cuanto a los efectos biológicos de las ondas electromagnéticas, como se ha comentado, los organismos biológicos que se encuentran expuestos a una radiación de este tipo pueden producir una respuesta fisiológica como resultado de la interacción entre las ondas electromagnéticas y las cargas que se encuentran de forma natural en los tejidos corporales de los organismos, generándose corrientes inducidas en ellos dado que son materiales conductores. Este efecto biológico se convierte en riesgo cuando existe la probabilidad de que el efecto supere las propiedades biológicas de compensación del organismo y se produzca entonces una lesión.

Así, podemos definir efecto biológico como aquel que supone un cambio fisiológico detectable en un ser vivo, y un efecto adverso como aquel efecto biológico que supera el límite normal de variabilidad fisiológica del organismo y, por tanto, la adaptación a él por parte del ser vivo se hace más compleja pudiendo suponer un detrimento del estado de salud. La respuesta de un sistema biológico a la interacción con un campo electromagnético está definida por la permitividad y conductividad de este sistema (la permitividad se refiere a la capacidad de polarizar las cargas de un material y la conductividad es la capacidad del paso de la corriente a través de un tejido), las características del campo y del medio en el que ocurre la interacción.

Los efectos sobre los organismos derivados de su exposición a campos electromagnéticos se clasifican en agudos y crónicos. Los efectos agudos son

inmediatos y objetivos mientras que los crónicos son a largo plazo. Además, los efectos pueden ser clasificados de nocivos o benéficos.

Los campos magnéticos pueden inducir la resonancia estocástica en los organismos, que consiste en la recepción, transducción y amplificación de la señal sobre las membranas por los campos magnéticos de baja frecuencia.

Los efectos fisiológicos sobre los tejidos vivos son de tipo electrodinámico, es decir, hacen que las células se orienten hacia la configuración de menor energía. También pueden dar lugar a la electroforesis que consiste en el movimiento de partículas cargadas en una solución.

Sobre el sistema nervioso se ha obtenido en algunos estudios que la existencia de campos electromagnéticos está ligada a un aumento de enfermedades neurodegenerativas como Alzheimer y esclerosis múltiple. En cuanto al sistema inmune se identificó la exposición a intensidades inferiores de 1 mW/cm^2 como un estímulo.

En trabajadores expuestos a campo electromagnético algunos de los síntomas encontrados son dolor de cabeza, fatiga, pérdida del apetito, insomnio, irritabilidad, nerviosismo, inestabilidad emocional, vértigo, pérdida de memoria, depresión, sudoración y temblor de dedos, agrandamiento de la tiroides, pérdida de deseo sexual e impotencia, náusea, malestar general y dificultades para concentrarse. Todos ellos son indicios progresivos de la enfermedad conocida como mal de las microondas. Tales efectos pueden desaparecer si en etapas tempranas cesa la exposición.

En los animales se han observado otros dos tipos de respuestas, las magnetotáxicas, que consisten en la existencia de células con concentraciones de magnetita, y los efectos magnéticos, que suponen la capacidad de orientación conforme a los campos geomagnéticos locales.

Sin embargo, las radiaciones electromagnéticas también pueden tener repercusiones positivas, por lo que son utilizadas en magnetoterapia. Concretamente se utiliza en magnetoencefalografía y magnetocardiografía como herramienta de diagnóstico, y también en terapia médica, por ejemplo en el tratamiento de algunos tipos de cánceres.

En los estudios epidemiológicos el término dosis se entiende como la cantidad de un agente o producto que es recibido en un período de tiempo determinado. Dicho término es complicado de acotar en el caso de los campos electromagnéticos, lo que supone el principal problema cuando se lleva a cabo el estudio de la contaminación producida por estos. La dificultad que presentan es que no es conocido con suficiente seguridad cual es el aspecto del campo al que se está sometido.

También se trabaja con el término tasa de dosis, que hace referencia a la tasa a la que la dosis es absorbida o entregada. A diferencia de la dosis, la cual se expresa en términos de energía, la tasa de dosis se expresa mediante potencia, siendo sus unidades el W/kg.

Una de las variables más utilizadas en contaminación electromagnética es la densidad de potencia, S , dada en W/m^2 y que se refiere al producto entre las componentes del campo eléctrico y magnético.

Por otra parte, realmente no se conoce si el nivel medio de exposición diario es más importante que las exposiciones que superan un determinado umbral o viceversa, o si lo verdaderamente importante es cuántas veces se entra y sale de un campo electromagnético. De igual forma, tampoco es conocido si resultan más dañinas las intensidades más altas o si, por el contrario, los efectos más severos son generados a intensidades más bajas.

En relación a estos efectos biológicos, expertos indican que el estrés electromagnético afecta al sistema nervioso e inmune, al crecimiento celular, la formación de tumores y la actividad y desarrollo cerebrales.

En las sociedades desarrolladas como la nuestra se ha observado un aumento exponencial de los trastornos por déficit de atención e hiperactividad de niños y adolescentes así como episodios de ansiedad, fatiga e irritabilidad. Estos son señalados por numerosos expertos como consecuencia de la sobreexposición de la que hablamos.

A raíz de esto se ha ido investigando en las últimas décadas los posibles efectos que podrían estar relacionados con la influencia de los campos electromagnéticos en los seres vivos. A pesar de tratarse de radiaciones no

ionizantes, no se descarta la posibilidad de que éstas puedan ser un agente generador o inductor de cáncer por lo que se han realizado diversos estudios en este sentido. Si bien, los estudios que se han realizado en animales no han podido probar hasta ahora que exista una relación clara entre la exposición al campo electromagnético y el cáncer.

Se han realizado varios estudios que han tratado de relacionar la existencia de líneas de alta tensión o subestaciones con el cáncer en niños o leucemia linfoblástica pero no se ha conseguido llegar a una respuesta clara.

En general, los datos de personas que viven cerca de líneas eléctricas reflejan un ligero incremento del riesgo de padecer cáncer en niños pero no de otros tipos de cáncer.

De todos modos, al haber obtenido resultados negativos en otros estudios de la misma naturaleza se han interpretado estos como un indicativo de que los resultados positivos son cuestionables. Se baraja la posibilidad de que otros factores hayan estado detrás de estos últimos, y al coexistir con las líneas de alta tensión hayan ayudado a que algunos estudios resultaran en conclusiones positivas. Así, se considera que algunos agentes químicos ligados a la presencia de las líneas son los que realmente causan la asociación encontrada.

Para los campos electromagnéticos de bajas frecuencias no se tienen evidencias de que sean susceptibles de alterar la estructura del ADN. En todo caso, su papel sería el de promotores de forma que provocarían un crecimiento acelerado de las células que con anterioridad hayan sufrido algún daño genético.

Los sectores sobre los que hay que prestar mayor atención en nuestra población, dada su mayor vulnerabilidad frente a este problema, son los niños, ancianos y enfermos crónicos de ciertas enfermedades.

La Organización Mundial de la Salud se pronuncia en que “todos estamos expuestos a una combinación compleja de campos eléctricos y magnéticos débiles, tanto en el hogar como en el trabajo, desde los que producen la generación y transmisión de electricidad, los electrodomésticos y los equipos

industriales, a los producidos por las telecomunicaciones y la difusión de radio y televisión” y que en ningún caso “se ha puesto en cuestión que por encima de determinados umbrales los campos electromagnéticos puedan desencadenar efectos biológicos”. Si bien la OMS afirma que “según experimentos realizados con voluntarios sanos, la exposición a corto plazo a los niveles presentes en el medio ambiente o en el hogar no producen ningún efecto perjudicial manifiesto, la exposición a niveles más altos, que podrían ser perjudiciales, está limitada por directrices nacionales e internacionales. La controversia que se plantea actualmente se centra en si bajos niveles de exposición a largo plazo pueden o no provocar respuestas biológicas e influir en el bienestar de las personas”.

En cuanto al carácter cancerígeno de las radiaciones, sus efectos “de primer orden” son descartados ya que si los hubiera, estos ya se podrían haber constatado. El dilema se centra en si son un factor cancerígeno débil o cancerígeno para un pequeño conjunto de la población.

A raíz de las investigaciones existentes se podría considerar que los campos magnéticos tienen un bajo potencial cancerígeno incluso a exposiciones altas pero dado que no se ha probado la nula existencia de riesgo se requiere aún mayor investigación en este sentido. Sobre todo si se tiene en cuenta la latencia característica de las enfermedades de cáncer, que puede superar los diez años. Además, debido al escaso período de tiempo que llevamos haciendo uso de la telefonía móvil no podemos aún estar seguros de los efectos que esta podría tener a largo plazo.

Por todo lo comentado anteriormente, se ha hecho necesario establecer los principios de prevención y de precaución, regulados por la normativa europea para el tipo de emisiones que nos concierne.

El principio de precaución establece que «cuando una actividad representa una amenaza o un daño para la salud humana o el medio ambiente, hay que tomar medidas de precaución incluso cuando la relación causa-efecto no haya podido demostrarse científicamente de forma concluyente».

Hasta hace no más de cinco años la situación en España en cuanto a la adopción de medidas de precaución era totalmente contraria a la de otros

países europeos. De esta forma, mientras estos apostaban por retirar la tecnología sin cables, sustituyéndolas por otras como la fibra óptica, en España cada vez crecía más la tecnología wi-fi. Sin embargo, hace poco se ha venido revirtiendo esta situación con lo que lentamente España está siguiendo la dirección europea.

2. OBJETIVOS

Este estudio tiene como objetivo principal comprobar que los niveles de radiación electromagnética existentes en el Campus de Las Lagunillas no superan las restricciones establecidas por la legislación. Estos niveles se encuentran definidos por el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, 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.

Se ha escogido esta localización debido a que es un entorno en el que transita gran cantidad de gente día a día, sobre todo gente joven más propensa al manejo de la telefonía móvil. Además, se trata de un lugar interesante a estudiar desde el punto de vista de un alumno y también, con una cierta comodidad para realizar las medidas.

Así pues, se han llevado a cabo mediciones de las intensidades de campo electromagnético de alta frecuencia procedentes de los tres tipos de torres de telefonía existentes, GSM900, GSM1800 y UMTS durante distintos días para después analizar los datos y compararlos con la normativa.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

En este estudio se eligió, como ya se ha comentado, el Campus de Las Lagunillas como lugar de medición. Las medidas de los valores máximos de densidad de potencia o intensidad se tomaron para tres bandas de frecuencia distintas durante varios días para cada una de ellas, con el propósito de comprobar la variación de los datos según el día e intentar obtener la máxima representatividad de los mismos. De igual modo, para cada banda de frecuencia en la que se tomaron las medidas se eligieron distintos intervalos de tiempo para observar también su posible variación dependiendo de la hora del día.

El trabajo de campo consistió de esta forma en la toma de datos en distintos puntos del campus, en los pasillos y zonas entre edificios, siendo un total de 23 puntos de medida.



Imagen 1. Mapa del Campus de Las Lagunillas con la distribución de los puntos de medida.

Para el primer barrido se midió la densidad de potencia máxima alcanzada en cada punto durante alrededor de cinco minutos ya que, aunque los datos suelen estabilizarse entre el primer y segundo minuto, estos suelen finalmente cambiar pasado un poco más de tiempo. Tras cinco minutos nos aseguramos prácticamente haber registrado el valor más alto de potencia. En el segundo y tercer barrido, al tratarse de una comprobación del primero, el intervalo se redujo a tres minutos de media.

Día	Banda de frecuencia (MHz)		
01/02/2018	900		
06/02/2018	900		
13/02/2018	900		
19/02/2018	1800	2100	
20/02/2018	1800	2100	
21/02/2018	1800		
08/03/2018	2100		
14/03/2018	900	1800	2100

Tabla 1. Distribución de las mediciones realizadas según los días dedicados a trabajo de campo.

Debido a que algunos datos presentaban variaciones significativas en determinados puntos se realizó una medida adicional un último día solamente para estas zonas. Se tratan de los puntos A6, B7, D7 y F7 para 900 MHz; F7, B7 y D9 para 1800 MHz, y E6, F7 y D9 para 2100 MHz. Los resultados de este día fueron más similares a los del resto de medidas, por lo que los datos más dispares fueron desechados y reemplazados por estos.

Para la toma de los datos se empleó el medidor de radiofrecuencia SPECTRAN HF-2025E, el cual se describe a continuación.

El aparato cuenta con varias teclas programadas enumeradas de 1 a 0. En el estudio se han usado las 7, 8 y 9 que equivalen a la Red GSM de 900 MHz, Red GSM de 1800 MHz y Red UMTS respectivamente.



Imagen 2. SPECTRAN HF-2025E con antena HyperLOG incorporada.

Todas las medidas se llevaron a cabo en el modo HOLD con el cual se ha intentado buscar el valor más alto de la densidad de potencia recibida en cada punto de medición.

Como modo de visualización se seleccionó EXPOS.-LIMITS, el cual permite visualizar en la parte inferior de la pantalla la densidad de potencia en sub-múltiplos de W/m^2 , según la intensidad que se reciba.

Estos valores de potencia se anotaron para cada punto al cabo del correspondiente intervalo de tiempo junto al nivel de potencia, expresado en dBm, asociado y la(s) frecuencia(s) correspondientes a ese nivel, que aparecen sobre dichos valores en la pantalla.

SPECTRAN HF permite del mismo modo obtener porcentajes relativos de los límites de exposición, siendo estos el ICNIRP y los tres tipos de Salz. En este

estudio no se han utilizado ninguno de los cuatro tipos puesto que no era necesario para el objetivo propuesto.

Con este aparato podemos realizar mediciones de una forma más o menos rápida según la antena que se incorpore a él. Las opciones son la antena SMA y la antena HyperLOG. Puesto que la antena SMA no permite realizar medidas de la densidad de potencia se escogió la HyperLOG.

El cable no se utilizó ya que se consideró que las medidas debían de ser lo suficiente precisas haciendo uso solamente de la antena. Por tanto, para tener un mejor manejo del instrumento se le incorporó un soporte a la antena.

Estas características fueron debidamente indicadas en el menú del aparato, de modo que se seleccionó la opción HL7025 para AntTyp, que se corresponde con la antena utilizada, y NONE para Cable.

Para las demás opciones del menú, se trabajó con las características estándar que se reflejan en las tablas 2.1 y 2.2.

Frecuencia	fLow	Center	fHigh	Span	RBW	VBW	SpTime
900 MHz	920	940	960	40	3 MHz	3 MHz	100
1800 MHz	1800	1840	1880	80	3 MHz	3 MHz	100
2100 MHz	2110	2140	2170	60	3 MHz	3 MHz	50

Tabla 2.1. Ajustes del menú utilizados.

Reflev	Range	Atten	Demod	Pulse	Disp	Unit	Marker	MPMode
0 dB	100 dB	Auto	Off	Std.	PkHold	dBm	-70 dB	Freq.

Tabla 2.2. Ajustes del menú utilizados comunes a las tres bandas de frecuencias.

En todo momento el aparato permaneció lo más alejado del cuerpo posible para evitar el apantallamiento producido por el mismo.



Imagen 3. Modo de uso durante las mediciones con SPECTRAN HF-2025E con antena HyperLOG y soporte incorporados.

Para asegurar que se tomaran los datos de la mayor intensidad posible en cada punto, el modo de trabajo consistió en ir cambiando la orientación del aparato tanto en el eje horizontal como vertical y hacer un barrido de la zona de forma que se midió tanto en el centro de las calles como cerca de los edificios y en las esquinas de los mismos. Este método recibe el nombre de *panning approach* (panoramización). En la mayoría de los casos se observó que la mayor densidad de potencia se recibía en posición horizontal o, con menor frecuencia, en un ángulo de 45° a la vertical.

Las fuentes de radiación que se detectaron son las del tipo CT1+ para los teléfonos móviles inalámbricos. En concreto se trata de las estaciones base, siendo el rango de frecuencias en los que se transmite 930-932 MHz. En este caso la radiación sólo se transmite al realizar una llamada. Se trata de una transmisión analógica no pulsada.

Las estaciones base más frecuentes son las sectoriales, que emiten fundamentalmente en una dirección, siendo la horizontal. Este tipo de

estaciones apenas emiten en la vertical y en todo caso, la mayor emisión en esta dirección se concentra en el contorno de la estación inferior a los 10 metros.

En cuanto a los teléfonos móviles inalámbricos el otro tipo de fuente de transmisión es la DECT, que en este caso no se ha detectado ya que su rango de frecuencias, para los teléfonos móviles, se encuentra entre 1880-1900 MHz.

Por otro lado, para los teléfonos móviles digitales, las radiofrecuencias medidas corresponden a las GSM Y UMTS. En el caso de las GSM son, por lo general, pulsadas, mientras que las UMTS no lo son.

Estos dispositivos emiten radiación al realizar una llamada, cuando establecen contacto con la estación base. Debido a esto, la radiación es mayor cuando nos encontramos en el interior de edificios o vehículos puesto que el material metálico que los recubre impide una buena recepción por lo que el dispositivo ha de incrementar la radiación emitida. Como en el estudio se ha medido en espacios abiertos sin cubierta, este no es el caso en el que nos encontramos. Podemos despreciar el apantallamiento de los techados en los pasillos ya que el material con el que fueron contruidos no supone una disminución particularmente significativa de la radiación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

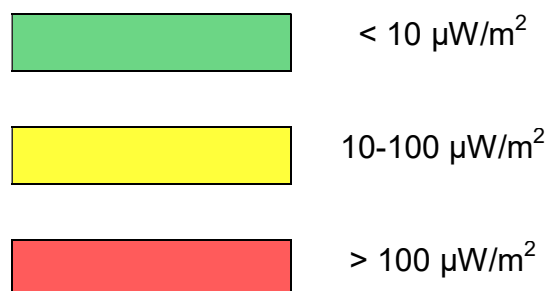
Todos los datos se han recogido en tablas, una para cada banda de frecuencia, en las que se incluyen tanto las densidades de potencia (intensidades) en cada punto, como el nivel de potencia en dBm, la frecuencia exacta y hora a la que se registraron. Como ejemplo se muestra la tabla 3.1

El nivel de potencia o L_w en dBm se define a partir de la siguiente relación:

$L_w = 10 \log W/W_0$, donde W_0 es la densidad de potencia de referencia correspondiente a 1 mW y W la densidad de potencia medida.

A partir de los datos de densidad de potencia de las tres medidas definitivas se ha calculado la media de ellas como valor representativo. Para las frecuencias se ha escogido la correspondiente al máximo valor de densidad de potencia encontrado. Estos valores se recogen en las tablas 3.2 y 3.3, en un formato que representa la ubicación geográfica de cada valor de modo similar a como se puede observar en el mapa.

También se han presentado estos datos de forma individual para cada banda de frecuencias en las tablas 3.4, 3.5 y 3.6. En ellas se ha otorgado un color diferente a cada celda según la siguiente escala de menor a mayor densidad de potencia:



Estas tres tablas se acompañan de su correspondiente visualización en el mapa, donde se puede apreciar mejor cuáles son las zonas en las que se reciben mayores intensidades para cada banda de frecuencia.

MEDIDAS 900 MHz												
Hora			Punto	Nivel de potencia (dBm)			Frecuencia (MHz)			Densidad de potencia ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)		
1ª medida	2ª medida	3ª medida		1ª medida	2ª medida	3ª medida	1ª medida	2ª medida	3ª medida	1ª medida	2ª medida	3ª medida
10:05	15:57	16:00	F1	-42	-44	-40	955	952	929	2,94	1,84	4,35
9:59	15:59	15:54	D1	-41	-38	-39	929	928	928	3,82	7,73	6,20
9:47	15:35	15:46	B1	-38	-32	-36	958	955	955	8,84	30,88	13,45
10:20	15:51	16:06	E2	-46	-45	-48	942	928	935	1,27	1,68	0,86
9:53	15:39	15:52	C2	-43	-38	-39	938	938	938	2,19	8,24	5,66
9:42	15:32	15:49	A2	-41	-39	-40	928, 958	942	953	3,81	6,90	4,72
10:25	15:53	16:03	F3	-47	-46	-42	928	929	928	0,95	1,18	3,15
10:13	15:43	16:11	D3	-40	-43	-44	929	928	928	4,45	2,21	1,71
9:35	15:28	16:17	B3	-40	-41	-41	958	928, 933	929, 955	4,87	4,22	4,12
10:31	15:02	16:42	E4	-43	-44	-38	938, 942	929	929	2,71	2,06	6,80
9:28	15:47	16:14	C4	-48	-46	-41	932	929, 955	928	0,76	1,32	3,54
9:24	15:25	16:21	A4	-51	-46	-48	954	931	954	0,40	1,23	0,79
10:36	14:58	16:45	F5	-39	-41	-38	928	928	938	6,24	3,71	8,19
13:54	15:07	16:39	D5	-33	-39	-37	928	933	928	23,82	5,58	8,91
9:17	15:21	16:24	B5	-38	-35	-36	928	928	928	8,08	13,97	13,02
10:42	14:55	16:48	E6	-33	-33	-34	928, 938	942	942	25,74	26,16	19,67
11:21	15:12	16:35	C6	-32	-40	-33	929	928	932	28,55	4,57	25,13
10:12*	15:15	16:27	A6	-26	-24	-29	928	928	928	107,42	174,69	64,52
10:48	14:49	9:50*	F7	-26	-28	-24	942	928	938	121,16	67,80	186,39
10:53	10:04*	16:52	D7	-28	-28	-25	928	928	932	80,43	69,01	158,19
11:10	10:18*	16:30	B7	-25	-27	-27	933	928	928	146,88	93,98	86,45
10:59	14:39	16:56	D9	-23	-26	-24	932	928	929	222,57	108,41	203,19
11:03	14:43	16:59	D11	-26	-27	-23	928	929	928	127,15	92,48	214,53

Tabla 3.1. Datos directos tomados en campo para la banda de frecuencia de 900 MHz. Los datos con el símbolo * son los correspondientes a la cuarta medida adicional que reemplazan los originalmente tomados en cada una de las respectivas medidas anteriores.

	900 MHz				1800 MHz			2100 MHz			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
F	3,04		1,76		6,05		125,12				
	1,29		1,18		14,99		69,17				
	2,66		1,54		14,32		167,31				
E		1,27		3,86		23,86					
		2,12		1,10		51,80					
		2,36		1,56		172,02					
D	5,92		2,79		12,77		102,54		178,06		144,72
	1,51		1,75		5,91		35,51		129,19		102,87
	2,88		1,69		16,34		53,47		158,55		155,78
C		5,36		1,87		19,42					
		1,96		0,85		4,72					
		2,38		1,12		8,29					
B	17,72		4,40		11,69		109,10				
	3,85		1,99		5,07		93,37				
	5,17		1,40		5,39		92,13				
A		5,14		0,81		115,54					
		2,13		0,69		12,39					
		1,42		0,55		8,48					

Tabla 3.2. Valores medios de densidad de potencia S en $\mu\text{W}/\text{m}^2$.

	900 MHz			1800 MHz			2100 MHz				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
F	929 1854 2158		928 1870 2158		938 1853 2112		938 1810 2164				
E		928 1870 2133		938 1854 2133		942 1813 2157					
D	928 1867 2133		929 1814 2133		928 1875 2133		932 1870 2133		932 1870 2157		928 1816 2162
C		938 1853 2158		928 1867 2133		929 1869 2133					
B	955 1830 2168		958 1816 2166		928 1862 2138		933 1877 2162				
A		942 1867 2132		931 1814 2112		928 1862 2133					

Tabla 3.3. Frecuencia correspondiente a la intensidad máxima registrada en cada punto en MHz.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
F	3,04		1,76		6,05		125,12				
E		1,27		3,86		23,86					
D	5,92		2,79		12,77		102,54		178,06		144,72
C		5,36		1,87		19,42					
B	17,72		4,40		11,69		109,10				
A		5,14		0,81		115,54					

Tabla 3.4. Valores medios de densidad de potencia S en $\mu\text{W}/\text{m}^2$ para la banda de 900 MHz.



Imagen 4. Mapa del Campus de Las Lagunillas con escala de colores por zonas según la intensidad de potencia medida para la banda de 900 MHz.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
F	1,29		1,18		14,99		69,17				
E		2,12		1,10		51,80					
D	1,51		1,75		5,91		35,51		129,19		102,87
C		1,96		0,85		4,72					
B	3,85		1,99		5,07		93,37				
A		2,13		0,69		12,39					

Tabla 3.5. Valores medios de densidad de potencia S en $\mu\text{W}/\text{m}^2$ para la banda de 1800 MHz.



Imagen 5. Mapa del Campus de Las Lagunillas con escala de colores por zonas según la intensidad de potencia medida para la banda de 1800 MHz.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
F	2,66		1,54		14,32		167,31				
E		2,36		1,56		172,02					
D	2,88		1,69		16,34		53,47		158,55		155,78
C		2,38		1,12		8,29					
B	5,17		1,40		5,39		92,13				
A		1,42		0,55		8,48					

Tabla 3.6. Valores medios de densidad de potencia S en $\mu\text{W}/\text{m}^2$ para la banda de 2100 MHz.

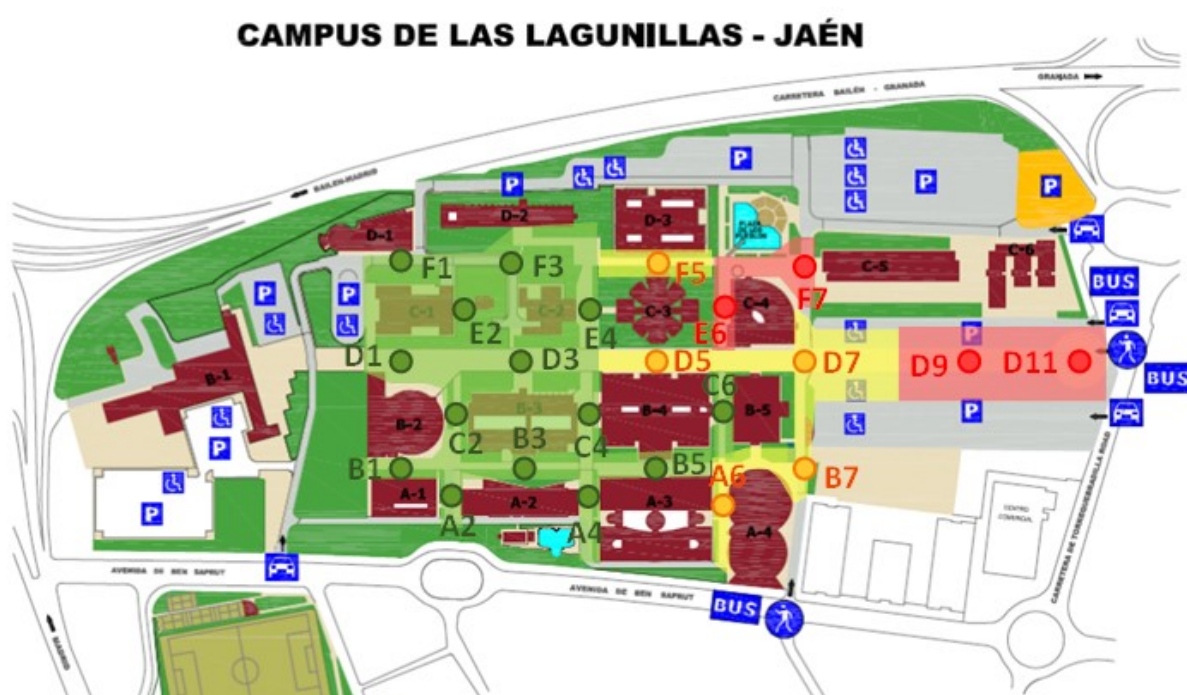


Imagen 6. Mapa del Campus de Las Lagunillas con escala de colores por zonas según la intensidad de potencia medida para la banda de 2100 MHz.

Como podemos observar, en los tres casos hemos obtenido las medidas más elevadas en la zona de los aparcamientos (D7, D9 y D11), y la intensidad va decreciendo a medida que nos alejamos de esta hacia la zona de la biblioteca (D1, C2, B1). Esto puede deberse a que exista una estación base cercana a la zona de aparcamientos que al emitir en esa área haga que las intensidades en las proximidades sea más elevada que en la zona opuesta.

También podemos señalar que las densidades superan los $100 \mu\text{W}/\text{m}^2$ en un área mayor para el caso de la banda de los 900 MHz. Podemos intuir que es debido a que es a estas frecuencias a las que emiten las estaciones base y, como hemos comentado, lo más probable es que alguna esté situada cerca de la parte este del campus.

Por el contrario, las menores intensidades que se detectan en comparación con las otras dos bandas son las tomadas en la de 1800 MHz.

A continuación se muestran los distintos anchos de banda de diferentes compañías telefónicas y el número de frecuencias registradas en nuestro estudio de cada una de ellas. Los datos que hemos obtenido reflejan el mayor número de registros provenientes de Orange y Movistar. Además, tenemos una cantidad de registros claramente mayor en el ancho de banda utilizado por la compañía Orange para la banda de 900 MHz, con lo que es probable que la estación base cercana al campus pertenezca a ésta.

Subida (MHz)	Bajada (MHz)	Operador	Registrados
880,1-885,1	925,1-930,1	Orange	41
885,1-890,1	930,1-935,1	Orange	8
890,1-895,1	935,1-940,1	Movistar	6
895,1-900,1	940,1-945,1	Movistar	5
900,1-904,9	945,1-949,9	Movistar	0
904,9-914,9	949,9-959,9	Vodafone	9

Tabla 4.1. Anchos de banda utilizados por las distintas operadoras en la banda de 900 MHz y número de registros obtenidos dentro de cada una de ellas.

Subida (MHz)	Bajada (MHz)	Operador	Registrados
1710,1-1730,1	1805,1-1825,1	Movistar	18
1730,1-1750,1	1825,1-1845,1	Vodafone	2
1750,1-1755,1	1845,1-1850,1	Yoigo	4
1755,1-1760,1	1850,1-1855,1	Yoigo	11
1760,1-1764,9	1855,1-1859,9	Yoigo	2
1764,9-1784,9	1859,9-1879,9	Orange	32

Tabla 4.2. Anchos de banda utilizados por las distintas operadoras en la banda de 1800 MHz y número de registros obtenidos dentro de cada una de ellas.

Subida (MHz)	Bajada (MHz)	Operador	Registrados
1900-1905		Orange	0
1905-1910		Vodafone	0
1910-1915		Movistar	0
1915-1920		Yoigo	0
1920-1935	2110-2125	Yoigo	9
1935-1950	2125-2140	Orange	33
1950-1965	2140-2155	Vodafone	1
1965-1980	2155-2170	Movistar	26

Tabla 4.3. Anchos de banda utilizados por las distintas operadoras en la banda de 2100 MHz y número de registros obtenidos dentro de cada una de ellas.

Por último, hemos comparado los datos recogidos con los niveles de referencia para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos recogidos en el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, 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.

Este Reglamento establece que si los valores medidos cumplen con los niveles de referencia esto será una garantía del respeto de las restricciones básicas pertinentes.

Los niveles de referencia se han calculado, tal como indica el Reglamento, a partir de la fórmula: $f/200$, donde f es la frecuencia en MHz correspondiente a la intensidad máxima registrada en cada punto. El resultado de esta operación es la densidad de potencia equivalente de onda plana en W/m^2 pero para comparar mejor los niveles de referencia obtenidos con las densidades de potencia medidas se han expresado los resultados en $\mu W/m^2$.

Como se puede observar en las tablas 5.1, 5.2 y 5.3, las densidades de potencia recogidas en este estudio son aproximadamente un millón de veces inferiores a las establecidas como niveles de referencia. Por tanto, podemos asegurar que las restricciones básicas establecidas están lejos de superarse y se puede considerar que el entorno del campus de Las Lagunillas es una zona en la que no se da una excesiva contaminación electromagnética.

Densidad de potencia media medida ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	NIVELES DE REFERENCIA (400-2000 MHz) S equivalente de onda plana ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)		
3,04	4775000	4760000	4645000
5,92	4645000	4640000	4640000
17,72	4790000	4775000	4775000
1,27	4710000	4640000	4675000
5,36	4690000	4690000	4690000
5,14	4640000	4710000	4765000
1,76	4640000	4645000	4640000
2,79	4645000	4640000	4640000
4,40	4790000	4640000	4645000
3,86	4690000	4645000	4645000
1,87	4660000	4645000	4640000
0,81	4770000	4655000	4770000
6,05	4640000	4640000	4690000
12,77	4640000	4665000	4640000
11,69	4640000	4640000	4640000
23,86	4640000	4710000	4710000
19,42	4645000	4640000	4660000
115,54	4640000	4640000	4640000
125,12	4710000	4640000	4690000
102,54	4640000	4640000	4660000
109,10	4665000	4640000	4640000
178,06	4660000	4640000	4645000
144,72	4640000	4645000	4640000

Tabla 5.1. Comparación entre las densidades de potencia medias obtenidas y las establecidas como niveles de referencia por la legislación para la banda de 900 MHz.

Densidad de potencia media medida ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	NIVELES DE REFERENCIA (400-2000 MHz) S equivalente de onda plana ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)		
1,29	9070000	9345000	9270000
1,51	9270000	9350000	9335000
3,85	9150000	9215000	9105000
2,12	9345000	9350000	9270000
1,96	9265000	9250000	9255000
2,13	9320000	9280000	9335000
1,18	9350000	9240000	9350000
1,75	9070000	9050000	9110000
1,99	9080000	9030000	9070000
1,10	9265000	9270000	9080000
0,85	9330000	9335000	9280000
0,69	9110000	9250000	9070000
14,99	9265000	9080000	9065000
5,91	9375000	9370000	9350000
5,07	9310000	9320000	9350000
51,80	9065000	9250000	9270000
4,72	9345000	9360000	9350000
12,39	9310000	9310000	9345000
69,17	9270000	9255000	9050000
35,51	9350000	9320000	9335000
93,37	9385000	9370000	9055000
129,19	9350000	9350000	9335000
102,87	9350000	9080000	9080000

Tabla 5.2. Comparación entre las densidades de potencia medias obtenidas y las establecidas como niveles de referencia por la legislación para la banda de 1800 MHz.

Densidad de potencia media medida ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	NIVELES DE REFERENCIA (400-2000 MHz) S equivalente de onda plana ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)
2,66	10000000
2,88	
5,17	
2,36	
2,38	
1,42	
1,54	
1,69	
1,40	
1,56	
1,12	
0,55	
14,32	
16,34	
5,39	
172,02	
8,29	
8,48	
167,31	
53,47	
92,13	
158,55	
155,78	

Tabla 5.3. Comparación entre las densidades de potencia medias obtenidas y las establecidas como niveles de referencia por la legislación para la banda de 2100 MHz.

5. CONCLUSIONES

Tras haber realizado mediciones en campo de las intensidades y analizar los datos obtenidos, se ha podido llevar a cabo el principal objetivo de este trabajo, el cual era comparar los niveles de densidad de potencia reales en el Campus de Las Lagunillas con los establecidos como niveles de referencia en la legislación española y comprobar que no se superan los mismos.

A la vista de los resultados obtenidos en este breve estudio, hemos podido comprobar que las intensidades producidas por los campos electromagnéticos en el entorno de la Universidad de Jaén quedan muy lejos de superar las restricciones legales y, por tanto, podemos decir se trata de un entorno en el que no se da un caso significativo de electrosmog.

Sin embargo, como se ha comentado anteriormente en este trabajo, las restricciones que aparecen en la legislación son simplemente una aproximación fruto del consenso y pueden cambiar en cualquier momento. Además, los niveles a los que las radiaciones resultan peligrosas para la salud podrían variar de igual modo, sobre todo teniendo en cuenta la escasez de conclusiones claras y precisas acerca de los riesgos que estas suponen. Debido a la dificultad que presenta estudiar dichos riesgos dado el corto periodo en el que las radiaciones electromagnéticas se han visto en aumento, entre otros, es complejo llegar a afirmaciones rotundas sobre este tema. Con esto, a pesar de los resultados positivos obtenidos en este estudio, es aún necesario continuar investigando en el área de la contaminación electromagnética y los riesgos asociados, y observar el avance de los estudios sobre este tema.

6. BIBLIOGRAFÍA

Gil Gil, José María y Lambea Olgado, Manuel. “Contaminación Electromagnética”. Tercera edición. E.T.SI. Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid. 2005.

Torres O., Javier Ignacio y Alzate A., Luis Hildebrando. “Efectos de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes en sistemas biológicos”. Revista Médica Risaralda, 12 (2), pp. 44-53, Noviembre 2006.

Luquin Bergareche, Raquel. “Contaminación por radiación electromagnética en personas vulnerables: tutela preventiva y generación de otras fuentes de energía”. Actualidad Jurídica Ambiental. Diciembre 2013.

Méndez, Alberto; Román, Francisco y Ramírez, Antonio. “Alteraciones fisiológicas por exposición crónica a intensos campos electromagnéticos no ionizantes”. Acta Médica Colombiana, vol. 20, n° 5, pp. 214-221. Sep-Oct, 1995

Balmori, Alfonso. “Posibles efectos de las ondas electromagnéticas utilizadas en la telefonía inalámbrica sobre los seres vivos”. Ardeola 51 (2), pp. 477-490. 2004.