

Impacto sobre la Salud de las Emisiones Electromagnéticas: Radars y Tecnología 5G

Memoria

Miguel Ángel Romero Fernández-Bravo

Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicaciones

Tecnologías de Radiocomunicación

Nombre del Consultor: José Antonio López Salcedo

18 de Junio de 2018

“Nuestras virtudes y nuestros defectos son inseparables, como la fuerza y la materia. Cuando se separan, el hombre deja de existir”. Nikola Tesla.

A mi familia.

A mis compañeros: Alicia y Javier, gracias por vuestro apoyo y ánimos.

A mis profesores.

Mención especial para “mis hermanas mayores” del colegio: Ana D., Ana G.M., Ana T., Lorena, Maite y Nerea. Gracias por cuidarme desde pequeño.

Con este Trabajo Fin de Máster en Ingeniería de Telecomunicaciones, se acaba mi larga etapa de estudiante, aunque nunca dejaré de aprender.



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-
NoComercial-SinObraDerivada
[3.0 España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

FICHA DEL TRABAJO FINAL

Título del trabajo:	<i>Impacto sobre la Salud de las Emisiones Electromagnéticas: Radares y Tecnología 5G</i>
Nombre del autor:	<i>Miguel Ángel Romero Fernández-Bravo</i>
Nombre del consultor/a:	<i>José Antonio López Salcedo</i>
Nombre del PRA:	Germán Cobo Rodríguez
Fecha de entrega (mm/aaaa):	Junio/2018
Titulación:	<i>Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicaciones</i>
Área del Trabajo Final:	<i>Tecnologías de Radiocomunicación</i>
Idioma del trabajo:	<i>Español - Castellano</i>
Palabras clave	<i>Radar, salud, cáncer, 5G, Radiaciones no ionizantes</i>
Resumen del Trabajo: <i>Con la finalidad, contexto de aplicación, metodología, resultados y conclusiones del trabajo.</i>	
Hoy en día, las telecomunicaciones han avanzado de forma exponencial para ayudarnos en muchos ámbitos. El uso de la tecnología radar, está cada vez más extendido, tanto en el ámbito militar, civil o a nivel de usuario. El Internet de la Cosas (IoT) cada vez cobra más importancia. Este crecimiento ha creado a una preocupación sobre el impacto hacia la salud que puedan tener las radiaciones no ionizantes, debido a que hay fuentes que asocian este tipo de radiaciones no ionizantes con el cáncer. El análisis de distintos tipos de radares y de la futura tecnología 5G, ayudará a comprender si existe o no un impacto directo contra la salud humana.	
Abstract:	
Nowadays, The telecommunications have advanced exponentially to help us in many areas. The use of radar technology is increasingly widespread, both in the military, civil area or user's level. The Internet of Things (IoT) is increasingly important. This growth has created a concern about the impact on health that non-ionizing radiation may have, due to the fact that there are sources that associate this type of non-ionizing radiation with cancer. The analysis of different types of radars and future 5G technology will help to understand if it exists or not a direct impact against the human health.	

Índice - Tabla de contenido

Capítulo 1. Introducción y Planificación del Trabajo Fin de Máster	8
1. Introducción	8
1.1 Contexto y justificación del trabajo	8
1.2 Objetivos del Trabajo	9
1.3 Enfoque y método seguido	10
1.4 Planificación del Trabajo	10
Capítulo 2: Desarrollo del trabajo	13
Parte I	13
1. Introducción a las Emisiones Electromagnéticas	13
1.1 Ondas Electromagnéticas	14
1.2 Magnitudes físicas y unidades de medida	14
1.3 Espectro electromagnético y frecuencias radar	16
2. Legislación y estándares internacionales. Radares y Tecnología 5G.....	18
2.1 Normativas, directivas y recomendaciones.....	18
3. Radiaciones no ionizantes y el efecto que producen sobre el cuerpo humano	20
3.1 Emisiones de Campos Electromagnéticos (CEM) y efectos sobre la salud	21
3.1.1 Caso de estudio: Uso de radar Cinemómetro de efecto Doppler.....	22
4. Emisiones Radar: Efectos Térmicos y No Térmicos	27
4.1 Mediciones sobre las emisiones radar	32
4.1.1 Monitorización de radiaciones no ionizantes procedentes de radares	32
4.2 Radares e Interferencias Electromagnéticas	35
5. Tipos de radares y usos	38
5.1 Radares para el control del tráfico aéreo.....	38
5.2 Radares de control meteorológico	40
5.3 Radares de uso militar.....	48
7. Conclusiones Parte I.....	50
Parte II.....	52
1. Introducción a la tecnología “5G”	52
2. Bandas de frecuencia asignadas para la tecnología 5G.....	53
2.1 Uso de la banda L en 1.5 GHz y posibles efectos sobre la salud	54
3. Aplicaciones de la tecnología 5G.....	55
4. Tecnología 5G y el impacto sobre la salud.....	58
4.1 Análisis de las posibles frecuencias 5G y la salud	58
5. Pruebas efectuadas hasta la fecha con la tecnología 5G	63
5.1 Caso de estudio del minibús en pruebas con tecnología 5G implantada.....	66

6. Mediciones del CEM en telefonía móvil aplicada a la tecnología 5G.....	67
6.1 Tecnología 5G y Antenas de emisión 3.5 GHz	71
7. Conclusiones Parte II	73
ANEXO I	74
Bibliografía	75

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Representación de la transmisión de una onda electromagnética entre un emisor y un receptor. ⁽³⁾	14
Ilustración 2: Espectro visible por el hombre y sus longitudes de onda asociadas. Nótese las longitudes de onda asociadas a radar, no son visibles por el hombre. Fuente: Ministerio de Sanidad.	16
Ilustración 3: Nombre, frecuencia y longitud de onda utilizado en los sistemas radar. Fuente: Christian Wolff	16
Ilustración 4: Ejemplos de radares y frecuencias asignadas. Fuente: Christian Wolff	17
Ilustración 5: Características técnicas del radar ATCR-33S NG.	18
Ilustración 6: Radiaciones No Ionizantes y Radiaciones Ionizantes. Longitudes de Onda y ejemplos. Fuente: rinconeducativo.org	20
Ilustración 7: Características técnicas Radar efecto Doppler Multiradar ⁽¹⁴⁾	24
Ilustración 8: Vista general del sistema radar ⁽¹⁴⁾	24
Ilustración 9: Ejemplo de Antena dipolo que trabaja en múltiples frecuencias. Fuente: https://www.southwestantennas.com	28
Ilustración 10: La exposición a una antena dipolo en las frecuencias a) 1 GHz, b) 3 GHz, y c) 10 GHz	29
Ilustración 11: Exposición a una antena plana truncada en las frecuencias de d) 1 GHz, e) 3 GHz, y f) 10 GHz	29
Ilustración 12: Radar de vigilancia tipo VHF. Fuente: www.aeroexpo.online	31
Ilustración 13: Tabla de especificaciones del radar modelo P-18	32
Ilustración 14: Medidor Radar EME Guard XS	33
Ilustración 15: Detalle del uso del aparato de medición EME Guard XS y los valores que devuelve	34
Ilustración 16: Especificaciones técnicas del aparato EME Guard XS Radar	34
Ilustración 17: Gráfica de los valores devueltos por el aparato EME Guard XS basados en los RD 1066/2001 y RD 299/2016	35
Ilustración 18: Plano de localización del Hospital Universitario Kyushu en Japón	36
Ilustración 19: a) Situación del Hospital con respecto a la antena radar del aeropuerto y el edificio gubernamental. b) Medida de las intensidades recibidas en cada planta del Hospital procedente de la antena radar del aeropuerto.	37
Ilustración 20: Distribución de la intensidad eléctrica	37
Ilustración 21: Radar para control de tráfico aéreo modelo ASR-NG®. Fuente: https://www.hensoldt.net	39
Ilustración 22: Composición de un Magnetron. Fuente: Enciclopedia Británica.	40
Ilustración 23: Esquema de funcionamiento de un radar meteorológico. Fuente: Creative Commons.	41
Ilustración 24: Radar WRM100	42
Ilustración 25: Especificaciones técnicas Radar WRM100	42
Ilustración 26: Radar incorporado en avión Boeing 787 Dreamliner. Fuente: https://www.airlinereporter.com	43
Ilustración 27: Representación de las regiones de campo cercano, zona de transición y campo lejano. Fuente: OSHA, Dept of Labor	44
Ilustración 28: Evolución cronológica de la tecnología móvil desde 1980 hasta la implantación del 5G. Fuente: Movistar	52
Ilustración 29: Comparación en tiempo de descarga con respecto a la actual tecnología 4G con la futura tecnología 5G, según distintos ejemplos ⁽²³⁾	56
Ilustración 30: Aplicaciones de la tecnología 5G en la empresa o industria ⁽²³⁾	56

Ilustración 31: Resumen de aplicaciones destinadas a la tecnología 5G. Fuente: Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital.....	57
Ilustración 32: Posibles bandas de frecuencias 5G en la UE ⁽²¹⁾	59
Ilustración 33: Antena UHF UTV-01/64 HALIFAX, CANADA. Fuente: http://www.sira.mi.it	60
Ilustración 34: Radar de Banda S tipo SPY-1 Radar. Fuente: http://missiledefenseadvocacy.org	62
Ilustración 35: Minibús Eléctrico EZ10 de conducción autónoma con tecnología 5G. Fuente: Telefónica de España.	64
Ilustración 36: Antena de array cuadrado y definición del área sobre la que se promedia la densidad de potencia.	65

Índice de Tablas

Tabla 1: Niveles de referencia para la exposición de personal que trabaje con campos eléctricos y magnéticos.	25
Tabla 2: Niveles de referencia para exposición del resto de personas para los campos eléctricos y magnéticos	26
Tabla 3: Valores límite de exposición. Han de cumplirse todas las condiciones. Directiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo y del consejo.....	28
Tabla 4: Resumen de la potencia máxima transmitida y la EIRP máxima para cumplir con los límites de exposición a CEM y RF según ICNIRP, FCC e IEEE. ⁽³⁰⁾	65
Tabla 5: Conversiones de Medida de unidades de Testa (T) y Gauss (G).....	67
Tabla 6: Valores recomendados por distintos organismos sobre la exposición a radiaciones no ionizantes. Fuente: Informe SATI Marzo 2012	70
Tabla 7: Valores recomendados por distintos países sobre la exposición a radiaciones no ionizantes. Fuente: Informe SATI Marzo 2012.....	70
Tabla 8: Características técnicas de una antena de emisión 5G de Ericsson	72

Capítulo 1. Introducción y Planificación del Trabajo Fin de Máster

1. Introducción

1.1 Contexto y justificación del trabajo

El objetivo del presente Trabajo Fin de Master (TFM), es el impacto en la salud de las radiaciones no ionizantes, en concreto, de las radiaciones electromagnéticas generadas por los radares de localización y/o posicionamiento, así como el impacto que tendrían las emisiones correspondientes con la nueva tecnología de comunicaciones de quinta generación “5G” que se encuentra en fase de pruebas.

Hoy en día vivimos en la sociedad de la información, la cual está en constante crecimiento, por lo que es muy importante tener en cuenta si los avances en las comunicaciones tienen impacto sobre la salud humana. Teniendo en cuenta los estudios existentes sobre las emisiones electromagnéticas y el posible impacto sobre la salud, se estudiará si existe una relación o indicio de que este tipo de radiaciones puedan influir negativamente a la salud de las personas.

Por un lado, el primer enfoque se realizará sobre los posibles riesgos o amenazas que las emisiones radar pueden generar. La posibilidad de mediciones correspondientes a estas emisiones en campo, es difícil, por lo que se recurrirá a los datos aportados por diversos estudios y se realizarán los cálculos correspondientes al control de dichas emisiones. También se tendrá en cuenta, que tanto las emisiones radar, como las emisiones de nueva generación “5G”, están sometidas a interferencias, ruidos, accidentes geográficos, diversos campos electromagnéticos, etc., y si las soluciones aportadas para el evitar este tipo de adversidades pueden generar o no un riesgo para la salud.

Por otra parte, en el caso de que ciertas emisiones puedan generar un riesgo para la salud, se estudiará cómo prevenirlas y las precauciones necesarias para que estas no afecten a la salud del personal que manipule el radar o de las personas que puedan recibir dicha radiación no ionizante.

En cuanto a la tecnología de quinta generación “5G”, se estudiará a qué campos se aplicará y en qué consistirá, teniendo en cuenta el tipo de emisiones que se realizarán y si estas podrían afectar a la salud.

Por último, se estudiará si existe relación causa-efecto entre las emisiones electromagnéticas y mutaciones genéticas en las personas.

1.2 Objetivos del Trabajo

Esta tarea comprende las siguientes actividades:

- Definición de las No Ionizantes. Emisiones Electromagnéticas.
- Radares y Emisiones Electromagnéticas.
- Tipos de Transmisiones Electromagnéticas.
 - o Radares militares
 - o Radares de control meteorológico
 - o Radares Marítimos
 - o Radares de control de velocidad
 - o Radares de control aéreo (tráfico y seguimiento)
- Efectos térmicos de las emisiones electromagnéticas.
- Interferencias electromagnéticas de los radares
 - o Interferencias con dispositivos
 - o Interferencias en dispositivos médicos
- Legislación y Estándares Internacionales.
- Efectos en la Salud en el uso y manipulación de radares según tipo.
- Estudios que relacionan el uso de radares y cáncer, ¿qué hay de cierto?
- Mutaciones genéticas asociadas a las radiaciones electromagnéticas emitidas por Radares.
- Mediciones realizadas para el control de emisiones electromagnéticas procedentes de radares.
- Introducción a la Tecnología de Quinta Generación “5G”.
- Ámbito de desarrollo de la Tecnología “5G”.
- Aplicaciones de la Tecnología “5G”.
- Frecuencias empleadas en futuros dispositivos con Tecnología “5G”.
- Impacto sobre la Salud en las E.M. procedentes de la tecnología “5G”.
- Pruebas Efectuadas hasta la fecha con la Tecnología “5G”.
- Anexos con bibliografías relacionadas con el ámbito de estudio acordado.

1.3 Enfoque y método seguido

El trabajo fin de máster, se ha enfocado al estudio de los diversos tipos de radares que operan en diferentes frecuencias. Para ello, se ha utilizado las especificaciones técnicas de dichos radares proporcionadas por los fabricantes, así como de los estudios en paralelo que las radiaciones no ionizantes emitidas por los radares puedan causar a la salud humana.

Para ello, se ha estudiado la legislación vigente y se han buscado métodos de medición según especificaciones y recomendaciones emitidas por organismos o por servicios militares.

Se han utilizado publicaciones y estudios en revistas de gran impacto, así como información obtenida por fabricantes de aparatos especializados en la medición de campos electromagnéticos.

1.4 Planificación del Trabajo

Durante el desarrollo del trabajo, hubo desviaciones causadas por factores externos que se contemplaron en el plan de contingencia, aun así, hubo que reestructurar el trabajo y los temas a desarrollar.

Para la realización del estudio de este proyecto se utilizarán las siguientes aplicaciones:

- Software libre GanttProject.
- Ordenador Apple MacBook Pro Intel Core i7 a 2.2 GHz. con 16 Gb de Memoria RAM y Sistema Operativo MacOS X 10.12.4.
- Software libre GanttProject.
- Editor de Textos Word.
- Bases de datos de investigación y desarrollo NCBI: Pubmed.
- Consultas bibliográficas sobre emisiones no ionizantes y legislación en ámbito de prevención sobre la salud.

A continuación, se muestra en una tabla la planificación temporal:

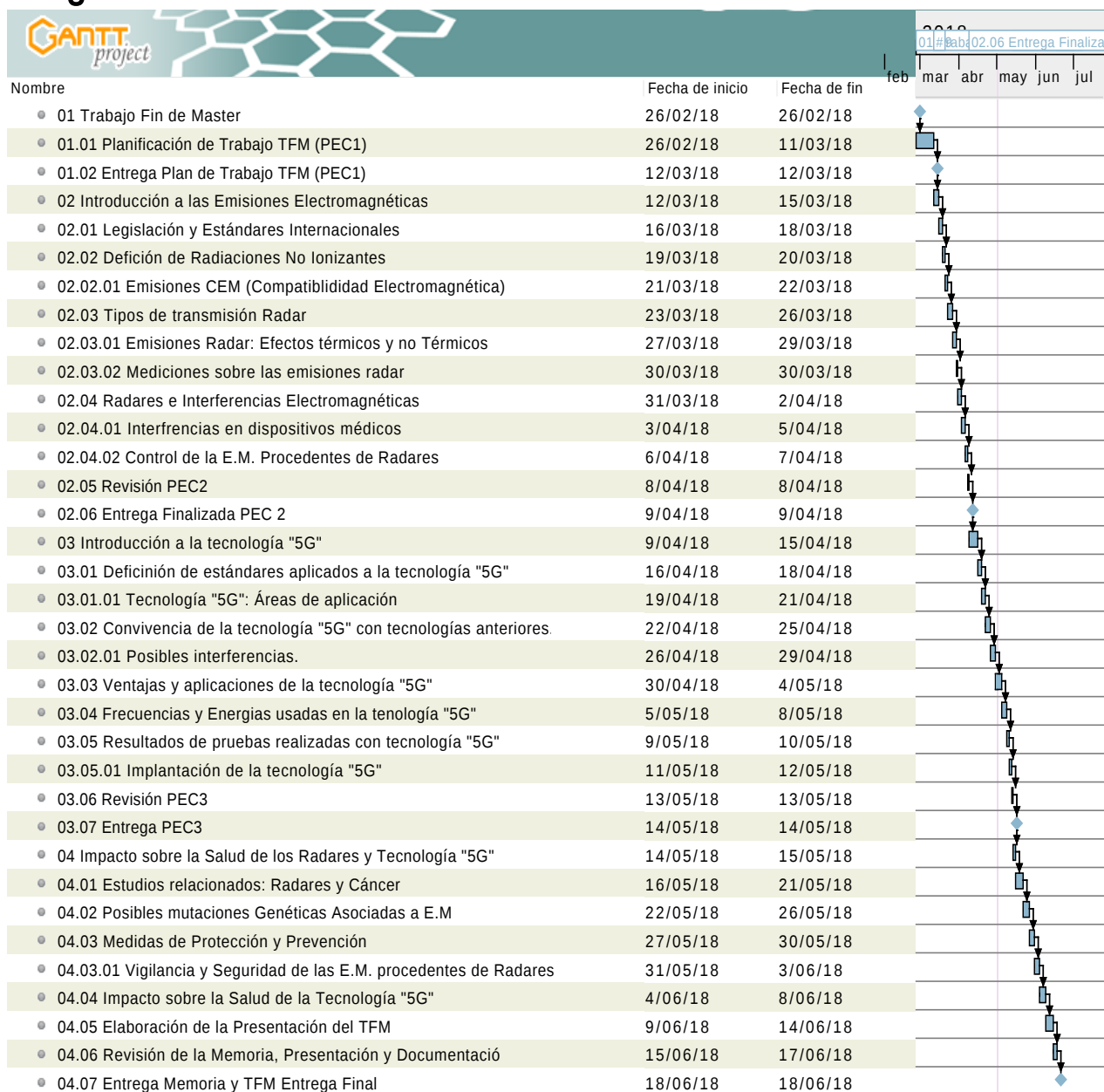
Código de la actividad	Nombre de la actividad	Precedencias
01	Planificación TFM	0
01.01	Elaboración Plan de Trabajo TF; (PEC 1)	01
01.02	Entrega Plan de Trabajo TFM (PEC 1)	01.01
02	Introducción a las Emisiones Electromagnéticas	01.02

Código de la actividad	Nombre de la actividad	Precedencias
02.01	Legislación y Estándares Internacionales	02
02.02	Definición de Radiaciones No Ionizantes	02.01
02.02.01	Emisiones CEM (Compatibilidad Electromagnética)	02.02
02.03	Tipo de transmisión Radar	02.02.01
02.03.01	Emisiones Radar: Efectos Térmicos y No Térmicos	02.03
02.03.02	Mediciones sobre las emisiones Radar	02.03.01
02.04	Radares e Interferencias Electromagnéticas	02.03.02
02.04.01	Interferencias en dispositivos médicos	02.04
02.04.02	Control de la E.M. Procedente de Radares (tipos)	02.04.01
02.05	Revisión PEC2	02.04.02
02.06	Entrega Finalizada PEC 2	02.05
03	Introducción a la Tecnología “5G”	02.06
03.01	Definición de Estándares aplicados a la Tecnología “5G”	03
03.02	Convivencia de la Tecnología “5G” con Tecnologías anteriores ya existentes	03.01
03.02.01	Posibles Interferencias	03.02
03.03	Ventajas y aplicaciones de la Tecnología “5G”	03.02
03.04	Frecuencias y Energías usadas en la Tecnología “5G”	03.03
03.05	Resultados de pruebas realizadas con tecnología “5G”	03.04
03.05.01	Implantación de la Tecnología “5G”	03.05
03.06	Revisión PEC 3	03.05.01
03.07	Entrega Finalizada PEC 3	03.06
04	Impacto sobre la Salud de los Radares y Tecnología “5G”	03.07
04.01	Estudios relacionados: Radares y Cáncer	04
04.02	Posibles mutaciones Genéticas asociadas a E.M procedentes de Radares	04.01
04.03	Medidas de Protección y Prevención	04.02
04.03.01	Vigilancia y Seguridad de las E.M. procedentes de Radares	04.03
04.04	Impacto sobre la Salud de la Tecnología “5G”	04.03.01
04.05	Elaboración de la Presentación del TFM	04.04
04.06	Revisión de la Memoria, Presentación y Documentación	04.05
04.07	Entrega Memoria y TFM – Entrega Final	04.06

También se observa la planificación de forma más resumida en el siguiente diagrama de Gantt:

Diagrama de Gantt

3



Capítulo 2: Desarrollo del trabajo

Parte I

1. Introducción a las Emisiones Electromagnéticas

Actualmente, vivimos en la Sociedad de la Información, unida a un incremento del desarrollo tecnológico de las telecomunicaciones, dando como resultado la creación del término “Tecnologías de la Información y de las Telecomunicaciones” (TIC). Las TIC están presente en todos los sectores hoy en día: enseñanza, finanzas, salud, etc. Esto conlleva a una demanda del uso de las telecomunicaciones, las cuales tienen que ser eficientes y proveer al usuario de las necesidades que éste requiera.

Para poder proveer de infraestructura a los usuarios, es necesario crear una red, no sólo de comunicaciones a través de cable, sino inalámbricas. El uso de las comunicaciones sin hilo, cada vez está más extendido, por lo que, se requieren infraestructuras para proporcionar dichas comunicaciones.

Las comunicaciones inalámbricas, se realizan a través de ondas electromagnéticas, que son enviadas por un emisor y recibidas por un receptor. El mismo emisor puede ser receptor al mismo tiempo, por ejemplo, un teléfono móvil o un radar de posicionamiento.

Las comunicaciones inalámbricas, se realizan mediante ondas electromagnéticas que generan Campos Electromagnéticos (CEM) de manera artificial, es decir, una corriente eléctrica variable produce un campo magnético⁽¹⁾, por lo que concluimos que las corrientes eléctricas y los imanes son fuentes generadoras de campos magnéticos.

Por consiguiente, los campos eléctricos se originan con diferencias de voltaje, es decir, cuanto más fuerte sea el voltaje, más fuerte será el campo resultante. Aunque no haya corriente, puede existir un campo eléctrico, pero cuando se origina la corriente, cambia la magnitud del campo magnético, aunque la fuerza del campo eléctrico quede igual.

En conclusión, podemos decir que la principal magnitud que caracteriza un campo electromagnético es su frecuencia, o la correspondiente longitud de onda. Esto resulta interesante en este estudio

debido al efecto sobre el organismo que producen los diferentes campos electromagnéticos, debido a que varía en función de su frecuencia.⁽²⁾

1.1 Ondas Electromagnéticas

Las ondas electromagnéticas, son generadas cuando existe un campo eléctrico y éste es variable. A su vez, engendra un campo magnético también variable que, al mismo tiempo, engendra un campo eléctrico. De esta forma, las ondas electromagnéticas se propagan en el vacío sin soporte material.

Las ondas electromagnéticas, son generadas a partir del movimiento de las cargas eléctricas en un metal conductor, y debido a esto, se originan ondas compuestas de campos eléctrico y de un campo magnético, cuya velocidad de propagación en el vacío es la velocidad de la luz ($c = 299.792.458$ m/s).

Las ondas radiadas, llevan asociadas una energía electromagnética, que es captada por una antena receptora⁽³⁾.

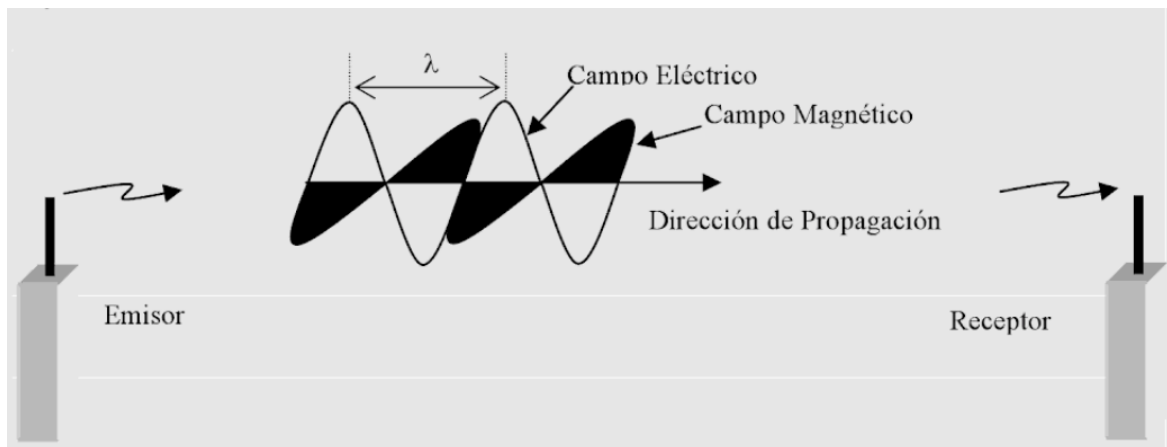


Ilustración 1: Representación de la transmisión de una onda electromagnética entre un emisor y un receptor.⁽³⁾

1.2 Magnitudes físicas y unidades de medida

Durante el desarrollo de este estudio, será necesario definir conceptos básicos de las magnitudes físicas y sus unidades de medida:

- Intensidad de Campo Eléctrico (E): Magnitud vectorial que corresponde a la fuerza ejercida sobre una partícula cargada independientemente de su movimiento en el espacio. Se mide en Voltios por metro (V/m).

- Intensidad de Campo Magnético (H): Es una magnitud vectorial que, junto con la inducción magnética, determina un campo magnético en cualquier punto del espacio. Se expresa en Amperios por metros (A/m).

- Densidad de Flujo Magnético o Inducción Magnética (B): Es una magnitud vectorial que da lugar a una fuerza que actúa sobre cargas en movimiento, y se expresa en Teslas (T). En un espacio libre y en materiales biológicos, la densidad de flujo o inducción magnética y la intensidad de campo magnético se pueden intercambiar utilizando la equivalencia:

$$1 \text{ A/m} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}.$$

- Densidad de Potencia (S): Magnitud utilizada para frecuencias muy altas, donde la profundidad de penetración en el cuerpo es baja. Es la potencia radiante que incide perpendicular a una superficie, dividida por el área de la superficie y se expresa en Vatios por metro cuadrado (W/m²).

- Índice de absorción específica de energía (SAR, Specific energy Absorption Rate): Es la potencia absorbida por unidad de masa de tejido corporal, cuyo promedio se calcula en la totalidad del cuerpo o en partes de este. El SAR de cuerpo entero, es una medida ampliamente aceptada para relacionar los efectos térmicos adversos con la exposición a las emisiones radio eléctricas. Ejemplo: Personas expuestas en el espacio adyacente a una antena. ⁽⁴⁾

El cálculo de la tasa SAR, se puede calcular a partir de un campo eléctrico, según las indicaciones del grupo ICNIRP ⁽⁵⁾:

$$SAR = \frac{1}{V} \cdot \int \frac{\sigma(r)|E(r)|^2}{\rho(r)} dr$$

El cálculo se realiza en función de la muestra, siendo σ la conductividad eléctrica, E la media cuadrática del campo eléctrico, ρ la densidad de la muestra y V el volumen de la muestra.

1.3 Espectro electromagnético y frecuencias radar

El espectro electromagnético, es usado para situar las frecuencias y longitudes de onda que se utilizan para transmitir información, en nuestro caso de estudio, es importante tener en cuenta el espectro utilizado y el ancho de banda asociado. Esto es debido a que la emisión de energía que utilizan los radares, varía desde las ondas de baja frecuencia, pasando por las ondas microondas, hasta frecuencias de 300 GHz.

A continuación, se puede observar en la ilustración 2, una descripción de las longitudes de onda y su posición dentro del espectro electromagnético no-ionizante:

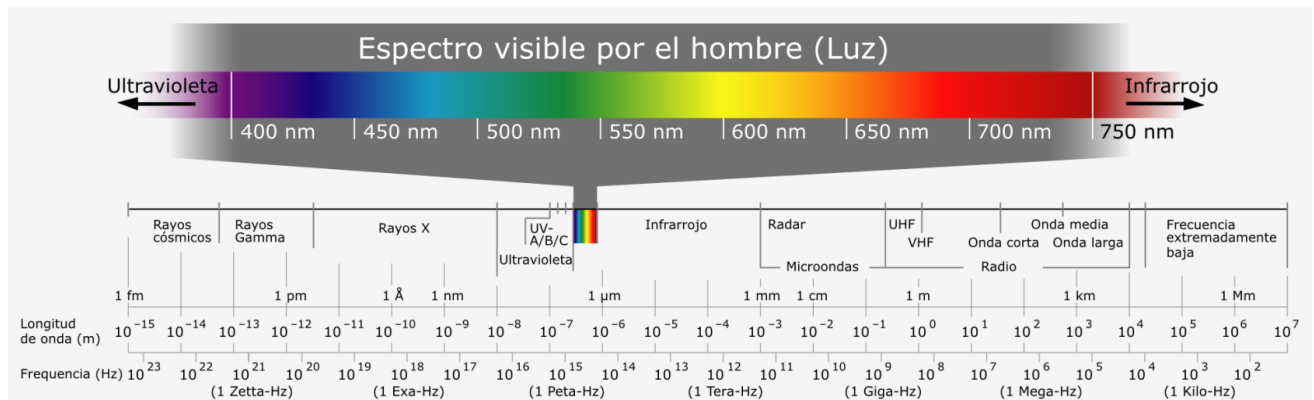


Ilustración 2: Espectro visible por el hombre y sus longitudes de onda asociadas. Nótese las longitudes de onda asociadas a radar, no son visibles por el hombre. Fuente: Ministerio de Sanidad.

En concreto, el estudio se centra en las frecuencias radar que vienen asociadas a longitudes de onda, como muestra la Ilustración 3. Cada frecuencia empleada por un radar, recibe un nombre según la organización de estándares IEEE (<http://www.ieee.org>). Como se observa, aparecen dos nomenclaturas, las correspondientes al estándar IEEE, que aparecen arriba, y la correspondencia a la nomenclatura anterior, que aparecen abajo. La división realizada por la IEEE es mucho más exacta, pero algunos fabricantes siguen utilizando las nomenclaturas anteriores.

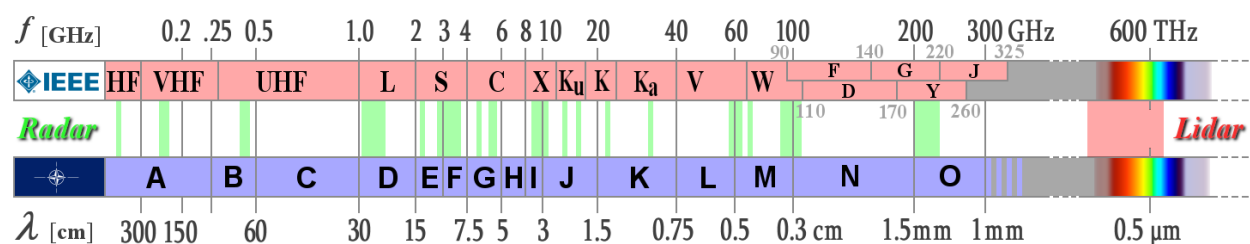


Ilustración 3: Nombre, frecuencia y longitud de onda utilizado en los sistemas radar. Fuente: Christian Wolff

Cada tipo de radar lleva asociado una longitud de onda (λ), es decir, podemos tener radares de frecuencia L o frecuencia S, con un rango de longitud de onda asociado. En la siguiente ilustración 4, se observa algún ejemplo de radares y la banda radar asignada:



Ilustración 4: Ejemplos de radares y frecuencias asignadas. Fuente: Christian Wolff

Como se observa en la ilustración 4 y a modo de ejemplo, un radar llamado ASR, puede ser del tipo: ATCR-33S NG ⁽⁶⁾. El fabricante proporciona las siguientes especificaciones, como se puede observar en la ilustración 5. En este apartado, se muestra la especificación a modo de información y aclaración del uso de bandas, para una futura comprensión.

TECHNICAL CHARACTERISTICS	
Frequency band	From 2700 to 2900 MHz
Maximum range	60/80/100 NM
Antenna rotation rate	15/12/10 rpm
Transmitter architecture	Modular, with fail soft capability at module and transistor level 8 modules (Dual Power output) > 17 KW 16 modules (Dual Power output) > 32 KW
Transmitted waveforms	Short Pulses: 1 us/10 μ s Short Pulses Long Pulses: 10 μ s/100 μ s/150 μ s
Frequency management	Burst to burst frequency diversity with capability of frequency selection over the S - Band
Cooling	Air Cooling
Conversion type	A/D Conversion @ IF level
Signal Processor	Adapting Moving Target Detector (A-MTD) including up to 12 FIR filters
Radar Processing Platform	COTS architecture based on last generation processors with use of standard interfaces
Use of C language algorithms running on LINUX OS	
Large plot processing capability	
LAN connections	3 (for each channel)
RMA	High reliability with a critical MTBF MTBF > 40,000 hours MTTR < 20 minutes
Availability better than 99,999 %	

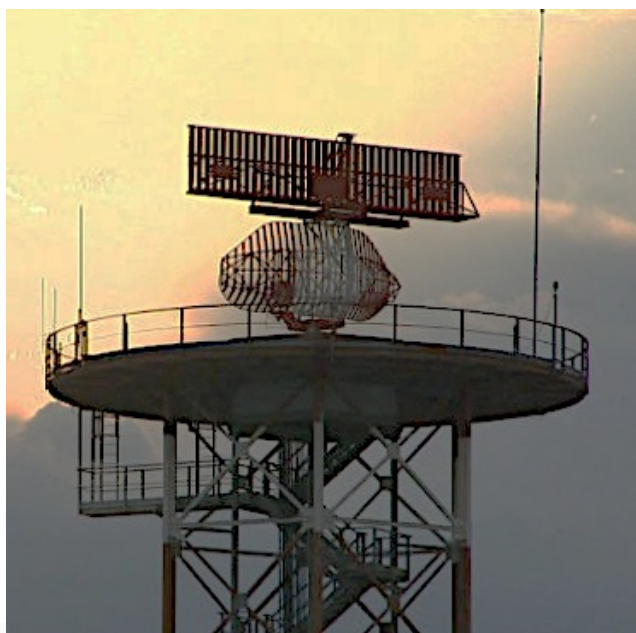


Ilustración 5: Características técnicas del radar ATCR-33S NG.

En concreto, este tipo de radar utiliza una frecuencia desde los 2700 MHz hasta los 2900 MHz. Está instalado sobre una antena rotativa con distintas velocidades de rotación (rpm) y trabaja en la frecuencia de banda S. La forma de transmisión de este radar es de pulsos cortos o pulsos largos, con una potencia de 17 KW o 32 KW, según el modelo.

2. Legislación y estándares internacionales. Radares y Tecnología 5G

Como se ha comentado con anterioridad, los radares generan campos electromagnéticos que se clasifican como radiaciones no ionizantes. Este tipo de radiaciones deben de cumplir estándares de seguridad en sus emisiones, debido a la energía que proporcionan para la transmisión de ondas.

En este apartado, se nombrarán las legislaciones vigentes y estándares de seguridad que deben de cumplir los dispositivos de emisión radar.

2.1 Normativas, directivas y recomendaciones.

En el caso del territorio español, el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, emite una recomendación bajo el Real Decreto 299/2016, de 22 de julio, sobre “La protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos”.⁽⁷⁾

El Real Decreto mencionado anteriormente, es solo una recomendación para la seguridad de los trabajadores que están expuestos a radiaciones generadas por campos electromagnéticos, en este caso, radares o en un futuro para la tecnología “5G”, sus efectos en la salud, se estudiarán más adelante.

Existen otras recomendaciones y directivas para fabricantes de sistema radar y tecnologías “5G”, en cuanto al control y seguridad de sus emisiones. A continuación, se citan las siguientes recomendaciones y normativas:

a) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) ⁽⁸⁾. Este comité tiene como objetivo velar por la seguridad del medio ambiente y de las personas contra los efectos adversos de las radiaciones no ionizantes. La mayoría de directivas y recomendaciones, están basadas en los estudios realizados por este comité.

b) Federal Communications Commission FCC 96-326 ⁽⁹⁾. La comisión Federal de Estados Unidos, emite directivas y recomendaciones para el uso de las radiaciones no ionizantes.

c) El Gobierno de Canadá emite un código de seguridad: “Safety Code 6: Health Canada's Radiofrequency Exposure Guidelines” ⁽¹⁰⁾. Este código, indica los límites de exposición a las radiaciones electromagnéticas, con rango de frecuencia entre 3 kHz y 300 GHz.

d) Directiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo ⁽¹¹⁾. El objetivo de esta directiva, es tratar sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos, en concreto, campos electromagnéticos.

En relación a estas directivas, normativas y recomendaciones, se puede basar un posible criterio sobre la existencia o no de un riesgo para la salud a tipo de exposiciones, no sólo para los trabajadores que manipulen radares o antenas de tecnología “5G”, sino que también es importante conocer si existe un riesgo para las personas expuestas a este tipo de radiación no ionizante, ya sea por cercanía o por uso indirecto.

Es importante señalar, que las normas se actualizan con relativa frecuencia, debido a los avances tecnológicos, y aunque las radiaciones no ionizantes, puedan parecer menos nocivas que las radiaciones ionizantes, la exposición a ellas es mucho más frecuente, debido a que las telecomunicaciones están presentes hoy en día y el uso de radares, ya sea instalados en satélites o bien, radares estacionales, ejerce un impacto sobre las personas.

3. Radiaciones no ionizantes y el efecto que producen sobre el cuerpo humano

Comprender el efecto de las radiaciones no ionizantes sobre el cuerpo humano, es algo difícil de entender, debido a que estamos hablando de ondas electromagnéticas que se emiten por el aire a través de cuantos¹ de luz y no son visibles. Este caso de estudio, se centra en las radiaciones no ionizantes generadas artificialmente, es decir, por el hombre.

El efecto que produce una radiación no ionizante sobre el cuerpo humano, no es igual al efecto de una radiación ionizante. Una radiación ionizante, significa que transporta una alta energía a través de cuantos de luz, que son capaces de romper enlaces moleculares, como por ejemplo: Rayos X o Rayos Gamma. En cambio, las radiaciones no ionizantes, tienen una longitud de onda larga y una frecuencia más baja, por lo que, al ser transportada a través de los cuantos, no son capaces de romper enlaces moleculares.

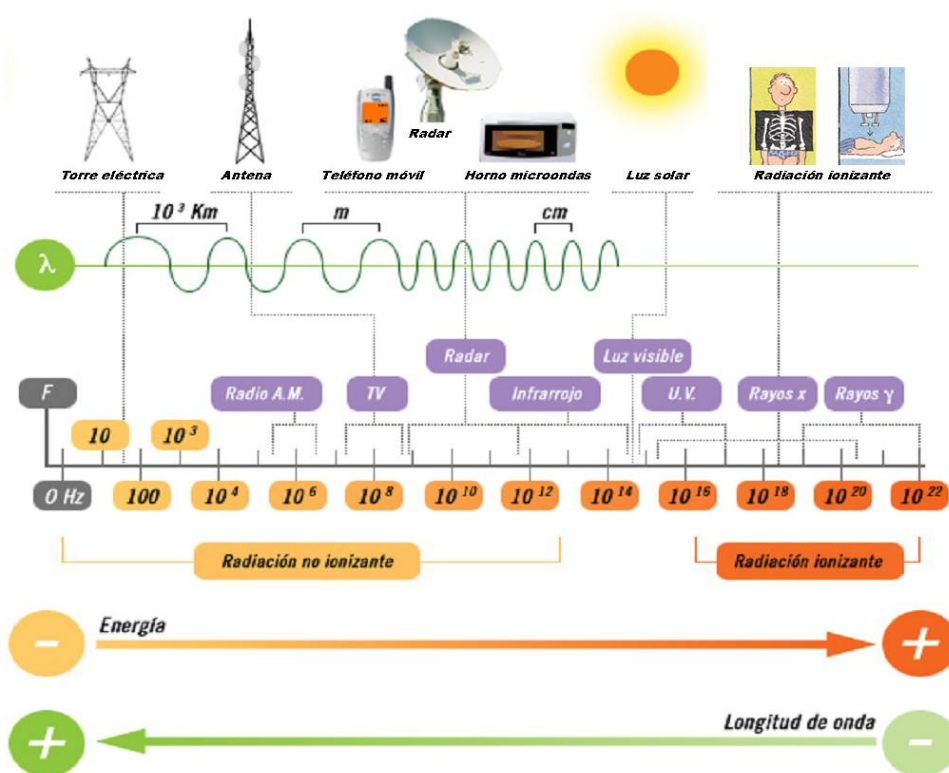


Ilustración 6: Radiaciones No Ionizantes y Radiaciones Ionizantes. Longitudes de Onda y ejemplos. Fuente: rinconeducativo.org

¹ Cantidad indivisible de energía, proporcional a la frecuencia del campo al que se asocia. (Fuente: RAE).

Se puede observar en la ilustración 6, la diferencia entre radiaciones ionizantes y radiaciones no ionizantes. El peligro para la salud, se encuentra cuando más pequeña sea la longitud de onda y mayor sea la energía de la emisión.

3.1 Emisiones de Campos Electromagnéticos y efectos sobre la salud

El efecto sobre la salud de los campos electromagnéticos (CEM), difiere con respecto a las radiaciones ionizantes, en que se pueden producir efectos térmicos o no térmicos, capaces de afectar al sistema biológico de una persona. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) en cuanto a los sistemas radar y CEM, existe evidencia de incremento de algunos tipos de cáncer en usuarios de algunos tipos de radar y un incremento en la preocupación por las personas que viven cerca de instalaciones que usan sistemas radar.

Es importante, según la nota informativa de la OMS número 226, que se tomen precauciones en la fabricación de los aparatos tipo radar, así como que se sigan las directrices y normativas comentadas con anterioridad.

Cuando el cuerpo humano se expone a una energía emitida por un sistema radar, esta energía puede variar desde unos milivatios (mW), por ejemplo, radares de control de velocidad, hasta varios kilovatios (kW), que son empleados en radares de gran alcance.

Los radares más habituales, operan en radio de frecuencias que se sitúan en rangos entre los 300 MHz y 15 GHz, llamados habitualmente campos RF. En el caso de este tipo de emisiones, cuando los campos de RF se encuentran por debajo de 10 GHz, tienen capacidad de entrar en los tejidos del cuerpo humano, produciendo una absorción de energía que se transforma en calor.

La profundidad de penetración de un campo RF en el tejido, depende de la frecuencia y penetra más en el tejido cuanto menor es la frecuencia. Esta tasa de absorción es medida por la fórmula SAR, como se comentó con anterioridad. La tasa SAR recomendable para este tipo de campos RF, no debe de superar 4 W/kg, ya que una tasa superior puede producir efectos adversos contra la salud.

Cuando los campos RF tienen una frecuencia superior a 10 GHz, éstos son absorbidos por la superficie de la piel y no penetran en los tejidos humanos. En este caso, el tipo de medición es distinta y hay que seguir las siguientes recomendaciones:

- En primer lugar, la intensidad del campo se mide como densidad de potencia en vatios por metro cuadrado (W/m^2) o por microvatio ($\mu\text{W/m}^2$).
- En segundo lugar, si la exposición a estos campos RF supera la densidad de 1000 W/m^2 , existen efectos adversos contra la salud, tales como: Cataratas y quemaduras en la piel.

Sin embargo, se tienen en cuenta los siguientes factores que reducen la exposición humana a los campos RF, que son generados por los sistemas radar. Se consideran los siguientes factores:

a) Los radares envían pulsos electromagnéticos no continuos, esto conlleva a que la potencia promedio emitida sea mucho mejor con respecto a una potencia en el pico del pulso.

b) En el caso de radares, éstos son direccionales, es decir, la energía de RF que se genera está comprendida en haces estrechos, con semejanza a un haz de un reflector. Estos haces, tienen un nivel muy bajo con respecto al haz principal de emisión.

c) Cuando el radar tiene un rotor, o tiene elevador, las direcciones de los haces cambian, haciendo que la energía no sea constante en un punto.

d) Cuando se instalan este tipo de radares cuya peligrosidad es considerable, se instalan en zonas de difícil acceso y con restricciones.

No sólo existen emisiones de campos RF en cuanto a los radares hasta 15 GHz, el rango radar comprende las frecuencias desde los 3 KHz hasta los 300 GHz, como se estudiará más adelante, pero para comprender los efectos en la salud de los CEM, se ha utilizado este rango de frecuencia más común. En el siguiente apartado, a modo de caso de estudio, se expondrá los riesgos para la salud del uso de radares utilizados para la medición de velocidad, utilizando el efecto Doppler.

3.1.1 Caso de estudio: Uso de radar Cinemómetro de efecto Doppler

El principal motivo de preocupación, que llevó a realizar las guías de recomendación y directivas de uso y fabricación de dispositivos radar por parte de los fabricantes, mencionadas con anterioridad, ha sido notorio. Un ejemplo, es el caso de policías que usan radares portátiles, tipo pistola, para el control de velocidad. Se observó un incremento de cáncer testicular asociado con relación al uso

de este tipo de radares. El estudio: *“The Epidemiology of Cancer Among Police Officers”, (“La epidemiología del cáncer entre los oficiales de policía”)*⁽¹²⁾, se llevó a cabo cuando se detectó una incidencia bastante elevada entre los agentes de policía que utilizaban radares de efecto Doppler tipo pistola, para el control de velocidad en las carreteras, y diversos tipos de cáncer.

Este estudio, reporta una diversidad de casos documentados de agentes de policía cuya muerte se asociaba a algún tipo de cáncer, se puede observar en la tabla⁽¹³⁾ del propio estudio (no reproducida en este estudio debido a su longitud).

En concreto, este estudio evidencia lo siguiente: *“Traffic radar devices emit microwave radiation (10.5–36.0 GHz) that can enhance tumor growth by: changing ion flux across cellular membranes; reducing the activity of DNA repair enzymes; modifying gene expression (e.g., oncogenes); increasing cell proliferation rates; disrupting immune or endocrine function thus promoting tumor growth, or by enhancing the absorption of carcinogenic substances into cells”*.

Del párrafo anterior, se concluye que un dispositivo radar que emite microondas entre los 10.5 GHz y 36 GHz, afecta al crecimiento tumoral al cambiar el flujo de iones a través de las membranas celulares. Cuando una célula sufre un daño en el núcleo de su ADN, existe un mecanismo de reparación enzimática, que utiliza una copia de ARN para la reparación del núcleo, el problema ocurre cuando esta actividad enzimática se ve reducida y las enzimas de reparación de ADN modifican la expresión genética, llevando en consecuencia a una mutación celular. Si el daño celular va acompañado por un estrés oxidativo celular, esta célula se encuentra indefensa ante agentes externos que pueden producir también una mutación celular.

El estudio concluye con la asociación de varios tipos de cáncer, tales como: Linfoma de Hodgkin's, melanoma, cáncer de vejiga y testicular, y el uso y exposición prolongada a este tipo de radares.

Los datos procedentes de este estudio, son anteriores a 2004, actualmente, las recomendaciones y normativas vigentes, velan por la salud de los usuarios de este tipo de radar, e incluso, la sustitución de los mismos por aparatos de medición tipo láser.

En cuanto al uso de radares de efecto Doppler en España, actualmente y según fuentes de la Dirección General de Tráfico, los radares más utilizados son: “Multiradar C” y “Multanova”. Este tipo de radares son fijos, aunque algunos tienen la posibilidad de ser adaptados en el interior del vehículo. Los fabricantes de dichos radares, no proporcionan públicamente las especificaciones técnicas de los mismos, pero la calibración de dichos aparatos es obligatoria cada año por el Centro Español de Metrología⁽¹⁴⁾.

La consulta de los informes de calibración es pública, a continuación, a partir del informe⁽¹⁴⁾ realizado por el Centro Español de Metrología, podemos ver las especificaciones técnicas de un “Cinemómetro de efecto Doppler” modelo “Multaradar C/TCV”. Los parámetros técnicos, se pueden observar en la siguiente ilustración:

Características técnicas

Frecuencia de emisión de Antena	24,100 GHz $\pm$ 0,1 GHz (<i>Banda Ka</i>)
Ángulo de medición	20°
Ancho de lóbulos de radiación	Horizontal, 5° / Vertical, N/A
Atenuación Lóbulo secundario	Horizontal, 20 dB / Vertical, N/A
Rango de medición de velocidad	20 km/h a 300 km/h
Potencia radiada	$\approx$ 100 mW

Ilustración 7: Características técnicas Radar efecto Doppler Multaradar⁽¹⁴⁾



Ilustración 8: Vista general del sistema radar⁽¹⁴⁾

Como se aprecia en la ilustración 7, las características técnicas facilitadas muestran una antena que emite a 24.1 GHz, perteneciente a la banda Ka, con una potencia radiada aproximadamente de 100 mW. En este caso, no se debe calcular el valor de SAR, debido a que no es recomendado según el comité ICNIRP⁽⁶⁾, el cálculo se debería hacer según la densidad de potencia S en W/m². En ausencia de datos por parte del fabricante, se expresa la fórmula de cálculo y los valores límites establecidos para su uso seguro.

La densidad de potencia de onda plana equivalente (S), es la potencia por unidad de superficie normal a la dirección de la propagación de las ondas electromagnéticas (W/m²):

$$S = \frac{E^2}{\eta_0} = \eta_0 H^2 = EH$$

En el caso de ondas planas, existe una relación entre la densidad de flujo, la intensidad del campo magnético (H) y la intensidad del campo eléctrico (E) y tienen una relación intrínseca con la impedancia del espacio libre $\zeta_0 = 377$.

Los valores establecidos, se encuentran en las siguientes tablas (Fuente traducida: <http://www.etsist.upm.es>):

Tabla 1: Niveles de referencia para la exposición de personal que trabaje con campos eléctricos y magnéticos.

Niveles de referencia para exposición ocupacional para campos eléctricos y magnéticos.				
Rango de frecuencias	Intensidad de campo E (V/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo magnético B (μT)	Densidad de potencia onda plana equivalente Seq (W/m ²)
< 1 Hz	—	$1,63 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	—
1 - 8 Hz	20.000	$1,63 \cdot 10^5 / f^2$	$2 \cdot 10^5 / f^2$	—
8 - 25 Hz	20.000	$2 \cdot 10^4 / f$	$2,5 \cdot 10^4 / f$	—
0,025 - 0,82 KHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	—
0,82 - 65 KHz	610	24,4	30,7	—
0,065 - 1 MHz	610	$1,6 / f$	$2 / f$	—
1 - 10 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	$2 / f$	—
10 - 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 - 2000 MHz	$3 f^{1/2}$	$0,008 f^{1/2}$	$0,01 f^{1/2}$	$f/40$
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50

Tabla 2: Niveles de referencia para exposición del resto de personas para los campos eléctricos y magnéticos

Niveles de referencia para exposición ocupacional para campos eléctricos y magnéticos.				
Rango de frecuencias	Intensidad de campo E (V/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo magnético B (μT)	Densidad de potencia onda plana equivalente Seq (W/m ²)
< 1 Hz	—	$3,2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	—
1 - 8 Hz	10.000	$3,2 \cdot 10^4 / f^2$	$4 \cdot 10^4 / f^2$	—
8 - 25 Hz	10.000	$4000 / f$	$5000 / f$	—
0,025 - 0,8 KHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	—
0,8 - 3 KHz	$250 / f$	5	6,25	—
3 - 150 KHz	87	5	6,25	—
0,15 - 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	—
1 - 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	—
10 - 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 - 2000 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

Como se observa en las tablas 1 y 2, los valores que se han de tomar corresponden a los últimos de la tabla, que comprenden entre los 2 GHz y 300 GHz. En el caso del personal que manipule o tenga contacto con radares que emitan en ese rango de frecuencia, el nivel máximo permitido es de 50 W/m². En el resto de las personas, el nivel máximo recomendado es de 10 W/m².

En conclusión, el uso de aparatos radar con efecto Doppler debería de ser sustituido por otros tipos de aparato de mediciones, tipo láser. Debido a que, basándonos en los estudios precedentes, puede existir un riesgo a largo plazo debido a que las ondas pueden penetrar el tejido subyacente. Aunque la potencia de emisión del radar de este caso de estudio, es de 100 mW, está dentro de los límites establecidos, pero el uso continuado, por ejemplo, en una autovía donde puedan circular cientos de vehículos y se mida la velocidad de cada uno de ellos, supone una exposición continua de una clasificada como microonda, por lo que se sugiere, que estos aparatos no estén cerca del personal autorizado para su manipulación, así como, no se instalen dentro de coches, ya que la onda de efecto Doppler, no sólo rebota en la antena emisora/receptora, sino que índice en los que están detrás de la antena.

4. Emisiones Radar: Efectos Térmicos y No Térmicos

Las emisiones tipo radar u otras tecnologías que empleen bandas similares, pueden ejercer efectos térmicos y no térmicos sobre el cuerpo humano:

a) Se denomina efecto térmico, cuando un campo electromagnético genera calor sobre la superficie de la piel, penetrando en los tejidos. Normalmente, este tipo de campos suelen ser de tipo Radio Frecuencia (RF). Según la OMS, los efectos térmicos estudiados en animales con ondas tipo RF, demostraron efectos adversos sobre los animales de estudio, tales como: disminución de habilidad a la hora de realizar tareas mentales o resistencia física.

En cuanto a la repercusión de los campos RF en los humanos, los anteriores estudios sugieren que estos efectos adversos puedan ocurrir en humanos sujetos a exposiciones de cuerpo entero o zonas localizadas. Dichas exposiciones, pueden incrementar la temperatura del tejido 1°C ⁽²⁾.

En enero de 2018, se publicó el estudio: *“Temperature elevation in the human brain and skin with thermoregulation during exposure to RF energy”*⁽¹⁵⁾ (*Elevación de temperatura en el cerebro humano y la piel con termorregulación durante la exposición a energía de RF*). Los autores estudiaron el efecto térmico que ejercen las frecuencias entre 3 GHz y 10 GHz sobre el cerebro humano, discutiendo acerca de los valores SAR vigentes. El estudio, ayuda a comprender como se produce el calentamiento del cerebro debido a las frecuencias de emisión, así como la potencia emitida por las mismas.

El estudio, puede predisponer que va dirigido a usuarios de telefonía móvil, pero en realidad, las bandas en las que se trabajan actualmente los teléfonos móviles están por debajo de las frecuencias analizadas en el estudio. Es decir, estas frecuencias de 3 a 10 GHz pueden ser aplicables tanto a los radares que operen en las bandas S, C y X, y también a la tecnología 5G, que en la parte II de este estudio, se analiza la transmisión de datos en bandas de 3.5 GHz y bandas superiores a 6 GHz.

Los autores, realizan una comparación distinguiendo si se trata de una antena dipolo o plana. En la ilustración 9, se muestra un ejemplo de una antena dipolo para una mejor comprensión y el radio de acción en las distintas frecuencias en las que trabaja. A continuación, en la ilustración 10, se muestra cómo afecta al cerebro la exposición a estas frecuencias térmicamente, medido en W/kg. Teniendo en cuenta los siguientes valores de la tasa específica de absorción (SAR) recomendados, como se muestran en la siguiente tabla 3:

Tabla 3: Valores límite de exposición. Han de cumplirse todas las condiciones. Directiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo y del consejo.

Gama de frecuencia	Densidad de corriente para cabeza y tronco J (mA/m ²) (rms)	SAR medio de cuerpo entero (W/kg)	SAR localizado (cabeza y tronco) (W/kg)	SAR localizado (extremidades) (W/kg)	Densidad de potencia S (W/m ²)
Hasta 1 Hz	40	-	-	-	-
1 – 4 Hz	40/f	-	-	-	-
4 – 1000 Hz	10	-	-	-	-
1000 Hz – 100 kHz	f/100	-	-	-	-
100 kHz – 10 MHz	f/100	0,4	10	20	-
10 MHz – 10 GHz	-	0,4	10	20	-
10 – 300 GHz	-	-	-	-	50

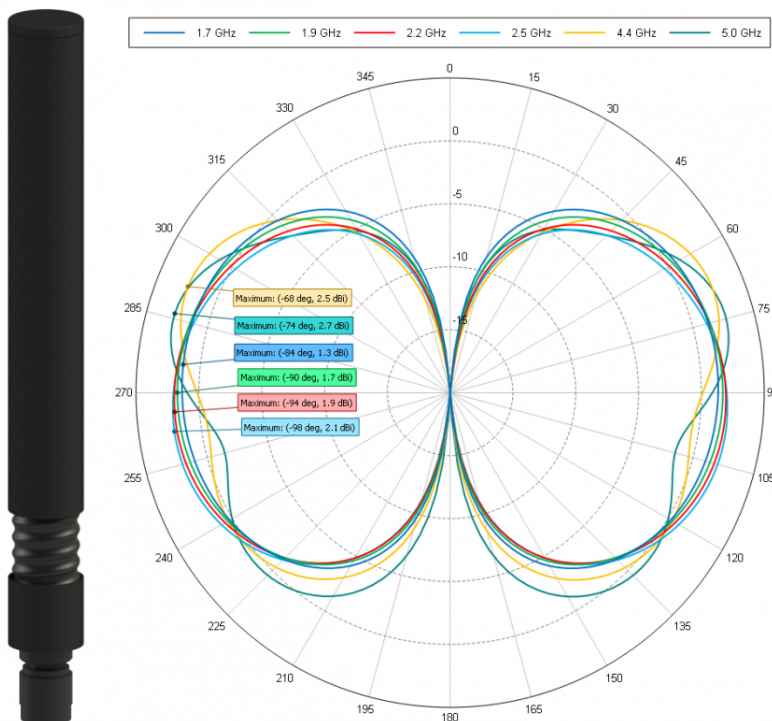


Ilustración 9: Ejemplo de Antena dipolo que trabaja en múltiples frecuencias. Fuente: <https://www.southwestantennas.com>

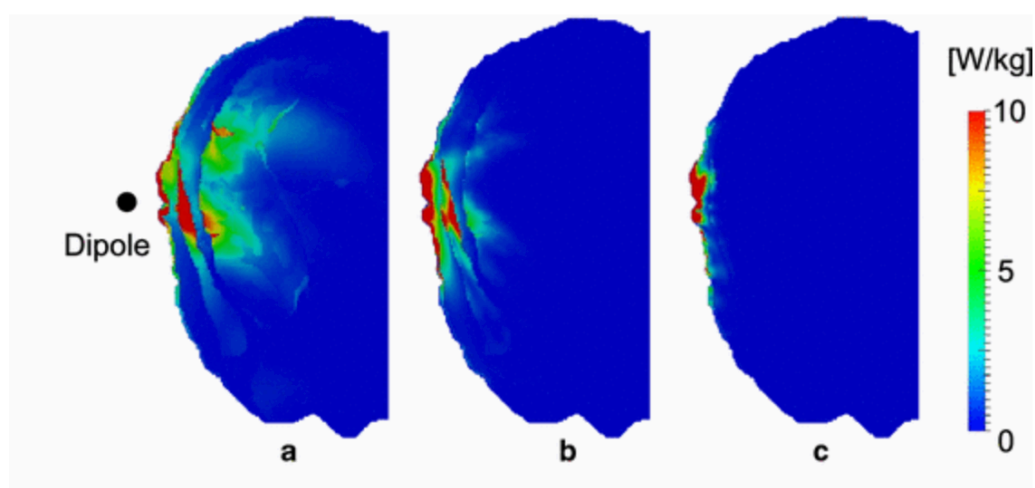


Ilustración 10: La exposición a una antena dipolo en las frecuencias a) 1 GHz, b) 3 GHz, y c) 10 GHz

Como se observa en la lustración 10, una frecuencia de 1 GHz, tiene o supera el límite establecido de 10 W/kg localizado en cabeza y tronco, así como en el caso b) que tiene una incidencia más superficial y el caso c), que es una incidencia menos localizada pero también supera o iguala la tasa de 10 W/kg.

En el caso de una antena plana, como muestra de ejemplo la ilustración 11, se observa que el efecto el área de absorción es mucho mayor que con una antena dipolo. En el caso d) de 1 GHz, el área que abarca es más mayor y penetrante, en comparación con el caso f) que el área superficial máxima de 10 W/Kg abarca más superficie de la cabeza en el límite SAR máximo, pero no llega a penetrar tan dentro de la cabeza como en el caso a).

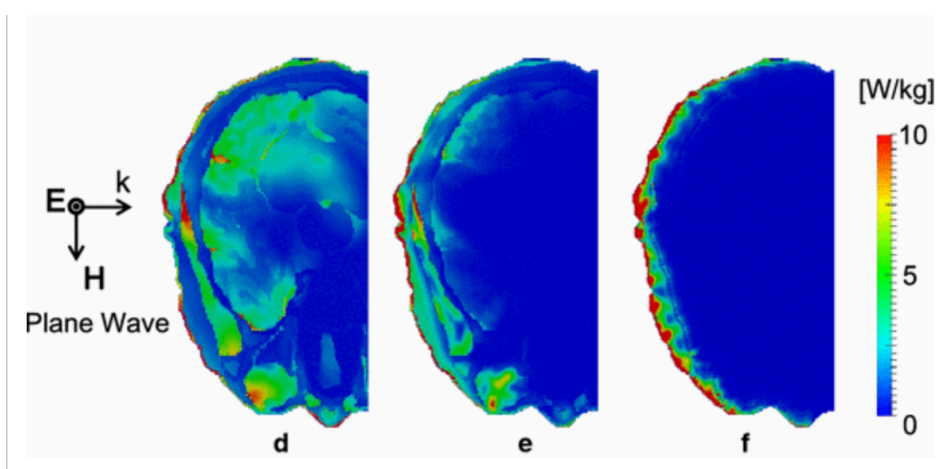


Ilustración 11: Exposición a una antena plana truncada en las frecuencias de d) 1 GHz, e) 3 GHz, y f) 10 GHz

Los autores concluyeron lo siguiente: *“La elevación máxima de temperatura en el cerebro apareció alrededor de su periferia. En las exposiciones con mayor intensidad, la elevación de la temperatura se hizo más grande y alcanzó alrededor de 40 ° C en el SAR máximo de 100 W / kg, y se hizo menor a frecuencias más altas. La elevación de la temperatura en el cerebro en el límite actual de 10 W/Kg es como máximo de 0,93°C. El efecto de la vasodilatación se hizo notable para elevaciones de la temperatura del tejido superiores a 1-2 ° C y para un SAR de 10 W/kg. La temperatura en la periferia fue inferior a la temperatura basal del cerebro (37°C).”*

Este estudio apoya las recomendaciones de la OMS y otros organismos en cuanto a la salud de las comunicaciones mediante campos electromagnéticos, en especial los efectos térmicos por RF.

No sólo los efectos térmicos afectan al cerebro, como se ha visto en el estudio anteriormente citado, también pueden darse shocks y quemaduras, debido a que, cuando las frecuencias son menores de 100 MHz, los shocks y quemaduras pueden ser inducidos por las cargas de objetos metálicos ubicados cerca de los radares.

Cuando las ondas de un campo RF menor a 100 MHz que incidan en una persona, existe una alta absorción de las mismas en áreas pequeñas como tobillos, pero se ha de tener en cuenta que este tipo de circunstancias son poco usuales, ya que se combina con un pequeño ancho de haz, por lo que el potencial es muy pequeño y actualmente, se utilizan frecuencias más elevadas.

En consecuencia, estos efectos adversos podrían provocar o inducir en cataratas en los ojos, interacción en respuestas fisiológicas y termo-reguladoras, conforme esta temperatura aumente. Se aconseja el uso prudente y evitar la exposición permanente a campos de RF.

b) Se denomina efectos no térmicos, cuando la exposición a campos de RF es muy bajo como para generar calor, en el caso de mediciones tipo SAR, los resultados son valores por debajo de la media. Este tipo de exposición a campos RF de baja emisión, han reportado muchos estudios acerca de la movilidad de los iones de calcio, en especial, en el cerebro. Uno de esos estudios: *“Effect of amplitude modulated RF radiation on calcium ion efflux and ODC activity in chronically exposed rat brain”* ⁽¹⁶⁾ (*“Efectos de la radiación RF de amplitud modulada sobre los flujos de iones y actividad ODC en cerebros de ratas en exposición continua”*), muestra el efecto sobre la exposición a ratas a una radiación en frecuencia modulada de 112 MHz a 16 Hz. La observación de las ratas se llevó a cabo durante su desarrollo y crecimiento de las ratas. El nivel de potencia empleado fue de 1.0 mW/cm², con un SAR de 0.75 W/Kg.

Durante 35 días de exposición, se mostró un incremento de la actividad de la ornitina descaboxilasa² (ODC) y flujos de iones de Ca^{2+} en el cerebro de las ratas, indicando riesgos potenciales para la salud.

Las bandas citadas en este estudio, corresponden a las bandas radar HF y VHF. Un ejemplo de uso radar en estas bandas, puede darse en los radares de vigilancia tipo P-18 VHF, como muestra la ilustración 12:



Ilustración 12: Radar de vigilancia tipo VHF. Fuente: www.aeroexpo.online

Este modelo de radar P18, es un radar de tipo terrestre de vigilancia con un rango de 250 Km y una altitud de 35 Km. Tiene una potencia de 300 kW. Los datos obtenidos, indican una modernización actual del radar, como se puede observar en los datos facilitados por el fabricante³:

² La ornitina descaboxilasa (ODC) es una enzima que participa en el ciclo de la urea. Esta enzima es inducida por un gran número de estímulos biológicos, en los que se incluye la actividad convulsiva del cerebro. (Fuente: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/4953>)

³ <http://www.aerotechnica.ua/en/index.php?id=products&prod=2&prodid=51>

Specification of P-180MA

Parameter	Value	
	before modernization	after modernization
Range of working frequencies	150-170 MHz	140-180 MHz
Frequency agility:		
- method for frequency agility	electromechanical	electronic
- discrete steps	4 fixed frequencies	200 kHz
- frequency setting accuracy	n/a	±10 kHz
Types of transmitted probing pulses:		
- short pulse	6 μs	6 μs
- phase shift keyed signals:		
- 13-bit		13×6 μs
- 42-bit		42×6 μs
Transmitter pulse power	300 kW	8 kW

Ilustración 13: Tabla de especificaciones del radar modelo P-18

Como se observa en la ilustración 13, la potencia de transmisión del pulso ha bajado de 300 kW a 8 kW. Con esta reducción, podemos concluir una mejora en la seguridad del uso y transmisión de pulsos de este tipo de sistema radar, con respecto a la salud humana y de los usuarios que manipulen este radar (militares).

4.1 Mediciones sobre las emisiones radar

Actualmente, los trabajadores y operarios de que trabajan con emisiones ionizantes, llevan un dosímetro, que es un instrumento que llevan junto al cuerpo, que simula la radiación ionizante recibida durante un periodo de tiempo. Para los operarios que trabajan con aparatos radar y emisiones no ionizantes, existen monitores de medición. En el siguiente apartado, se estudia un ejemplo de un medidor que alerta de la sobre exposición a radiaciones no ionizantes.

4.1.1 Monitorización de radiaciones no ionizantes procedentes de radares

A modo de ejemplo ilustrativo, en el mercado existen aparatos de monitorización y medida de pulsos radar, en rangos de exposición entre 80 MHz y 30 GHz.

El aparato en concreto de estudio, es “EME Guard XS Radar”⁴. Este aparato, es capaz de detectar y medir los pulsos recibidos, generando una alerta en caso de sobreexposición con respecto a los niveles establecidos, cubre las necesidades y especificaciones de seguridad (RD 299/2016) frente a las emisiones RF, como se ha comentado en apartados anteriores, que son las que pueden generar mayor riesgo para la salud.

El uso es recomendado para ingenieros y técnicos de radar, así como a profesionales que están expuestos a este tipo de señales como militares o personal de aviación.

También podría ser de utilidad, no sólo para los trabajadores que están expuestos a este tipo de emisiones, sino a personas que habiten cerca de estaciones radar o incluso, sería interesante hacer un estudio de movilidad, para ver si se reciben emisiones de tipo radar en núcleos de población y comprobar que éstas están dentro de los límites establecidos.

En concreto, el aparato de medición de estudio, es un aparato ligero y fácil de llevar que consta de 3 sondas isotrópicas ortogonales, como podemos ver en la siguiente ilustración 14:



Ilustración 14: Medidor Radar EME Guard XS

En la siguiente ilustración 15, podemos observar como es la monitorización luminosa del aparato EME Guard XS:

⁴ http://www.temsystem.es/EME_Guard_XS_Radar.html

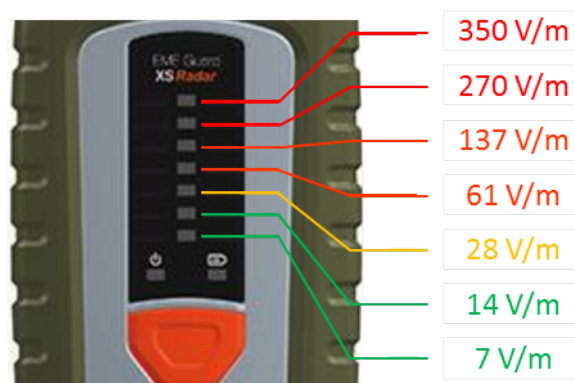


Ilustración 15: Detalle del uso del aparato de medición EME Guard XS y los valores que devuelve

En la siguiente ilustración podemos ver las especificaciones técnicas:

INCERTIDUMBRE	
Respuesta en Frecuencia	80-700 MHz : -2/+4 dB 0,7-2,7 GHz : -1/5 dB 2,7-6 GHz : +2/+7 dB 6-16 GHz : +4/+13 dB 16-30 GHz : -8/+1 dB
Isotropía Axial	100 MHz : $\pm 0,5$ dB 2,6 GHz : $\pm 0,7$ dB 5,5 GHz : $\pm 0,9$ dB
ALARMAS Y CONFIGURACIÓN	
Nivel de referencia	El umbral de alarma puede ajustarse en fábrica según las preferencias del usuario
Alarma Óptica	7 LEDs
Alarma Acústica	2 tonos (activados desde 5 a 350 V/m)
Indicador de batería baja	LED naranja intermitente
Actualización de alarma	1 segundo
CONFIGURACIÓN DE MEDIDA	
Periodo de medida	20 ms

Ilustración 16: Especificaciones técnicas del aparato EME Guard XS Radar

A continuación, se muestra una gráfica (ilustración 17) de los límites establecidos por el RD 1066/2001 y RD 299/2016. Esta gráfica es un resumen muy importante para entender los valores de seguridad establecidos por los Reales Decretos citados, así como por las recomendaciones citadas en apartados anteriores.

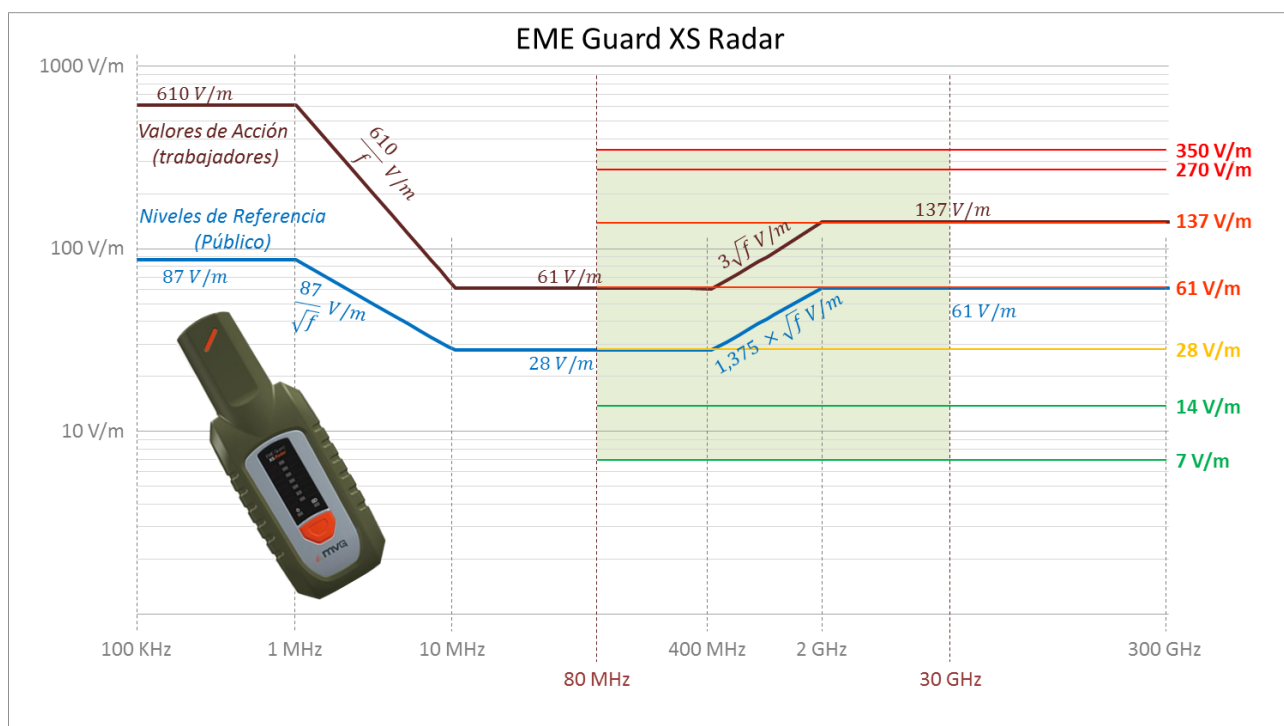


Ilustración 17: Gráfica de los valores devueltos por el aparato EME Guard XS basados en los RD 1066/2001 y RD 299/2016

Si se observa el rango de frecuencias comprendidas entre los 80 MHz y 30 GHz, existen diferentes valores de seguridad con respecto al uso del dispositivo, es decir, unos son los niveles de referencia al público (en línea azul) y otros los niveles de referencia para trabajadores (línea marrón). Una sobreexposición superior a los valores recomendados durante un tiempo prolongado, puede ocasionar daños en la salud anteriormente comentados.

4.2 Radares e Interferencias Electromagnéticas

Cualquier aparato que emita ondas electromagnéticas, puede interferir en dispositivos electrónicos o electromagnéticos. Las medidas que se toman para que este tipo de interferencias no ocurra, consiste en que, el umbral para que no se produzca el efecto de interferencia, esté muy por debajo de los niveles recomendados para la exposición humana a los campos de RF.

Aunque este tipo de medidas sean determinantes, puede ocurrir que los radares causen interferencias en algunos dispositivos médicos implantados en personas, como marcapasos o audífonos.

En el año 2001, se realizó un estudio titulado: *"Possible Electromagnetic Interference with Electronic Medical Equipment by Radio Waves Coming from Outside the Hospital"*⁽¹⁷⁾ (Posibles interferencias

electromagnéticas con aparatos y equipos médicos causadas por ondas de radio procedentes del exterior del Hospital).

Este estudio, se realizó en un Hospital que se encontraba en cercanías de un aeropuerto, facilitando el propio estudio un plano como se puede observar en la siguiente ilustración 18, para una mejor comprensión del mismo.

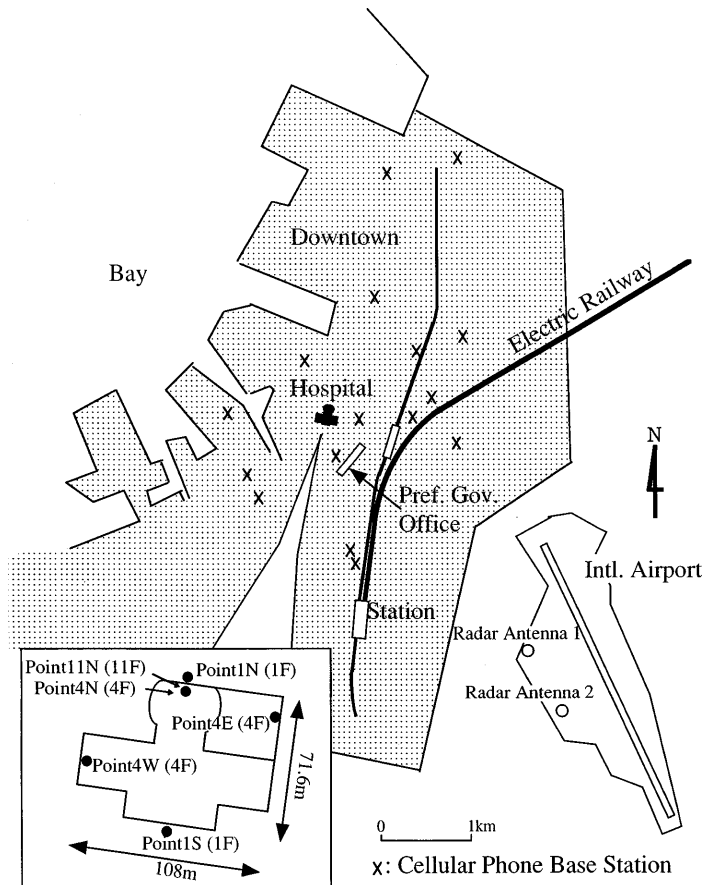


Ilustración 18: Plano de localización del Hospital Universitario Kyushu en Japón

Para la realización de este estudio, se tomaron medidas de los CEM procedentes de dos antenas radar situadas en el aeropuerto y también de las antenas de estaciones base de telefonía. Como se puede apreciar en la siguiente ilustración 19, delante del edificio del Hospital, se encuentra un edificio gubernamental, que hace de pantalla al hospital en cuanto a la recepción de las ondas electromagnéticas en las plantas más bajas, siendo más incidentes en las plantas más altas del Hospital (planta 10 y 11), donde el edificio gubernamental no ejerce de pantalla.

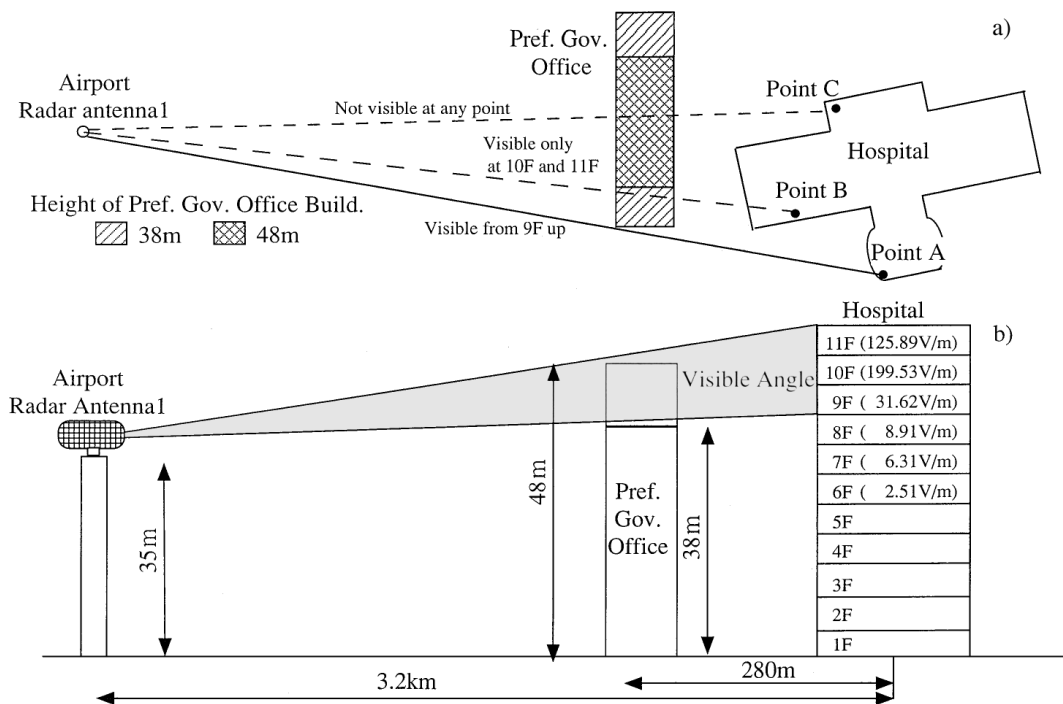
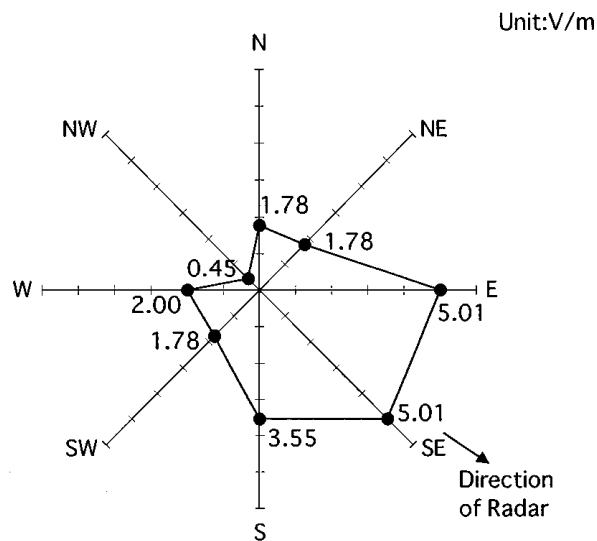


Ilustración 19: a) Situación del Hospital con respecto a la antena radar del aeropuerto y el edificio gubernamental. b) Medida de las intensidades recibidas en cada planta del Hospital procedente de la antena radar del aeropuerto.



2.79GHz Band, Horizontal Polarization

Ilustración 20: Distribución de la intensidad eléctrica en V/m

El estudio concluye: “Se midió la intensidad del campo eléctrico inducida por las ondas de radio que penetraban en nuestro hospital de 11 plantas, que estaba en construcción. La intensidad máxima observada fue de aproximadamente 200 V/m a 2,79 GHz, a partir de ondas de radar de vigilancia aeroportuaria. La intensidad máxima inducida por las ondas de radio de las estaciones base de teléfonos celulares fue de 1.78 V/m. Estos datos muestran que varias frecuencias de ondas de radio son comunes en esta área urbana y que inducen una fuerte intensidad de campo eléctrico. Esta

fuerte intensidad de campo eléctrico puede causar interferencia electromagnética (IEM) con equipos médicos electrónicos. La medición del entorno electromagnético debe ser realizada por cada hospital en áreas urbanas para prevenir IEM con equipos médicos electrónicos.”

El estudio, sólo hace referencia a las interferencias de los dispositivos electromagnéticos, pero omite si puede existir o no un efecto en la salud de las ondas recibidas por parte de la antena radar del aeropuerto. En este caso, se obtiene un valor aproximado de 200 V/m, en concreto, la planta 10 recibe 199.53 V/m y la planta 11, 125.89 V/m. Si nos basamos en las medidas recomendadas por el grupo ICNIRP y que todos los países han optado como recomendación, superan el umbral recomendado en esa frecuencia de 2.79 GHz, que es de un máximo de 137 V/m para trabajadores y manipuladores de radar y 61 V/m para el resto de personal. Por ejemplo, si un paciente está ingresado en las citadas plantas durante 1 mes, estará recibiendo haces de ondas electromagnéticas con una intensidad de campo superior a la recomendada.

También cabe cuestionar la radiación recibida en el edificio gubernamental, debido a que las últimas plantas hacen un efecto de “apantallamiento” con respecto al resto de plantas del Hospital.

Se debería de haber sugerido un estudio más exhaustivo de exposición a este tipo de radiación y las recomendaciones de protección frente a las radiaciones no ionizantes de los edificios.

5. Tipos de radares y usos

Hoy en día, los radares se utilizan para dar servicio en muchas situaciones, debido a que proporcionan información importante en tiempo real. A continuación, se citarán fuentes de radar más comunes:

5.1 Radares para el control del tráfico aéreo

Los radares para el control del tráfico aéreo, son usados a nivel mundial para el rastreo y ubicación de una aeronave, es decir, se puede seguir una aeronave desde el momento que despegue hasta su aterrizaje, pudiendo el sistema radar controlar dicho aterrizaje.

Este tipo de radares, se recomiendan que sean instalados en zonas elevadas, para que el haz de ondas que emite no incida sobre las personas, edificios o a nivel terrestre.

Un ejemplo de radar de control de tráfico aéreo, se puede observar en la siguiente ilustración 21:

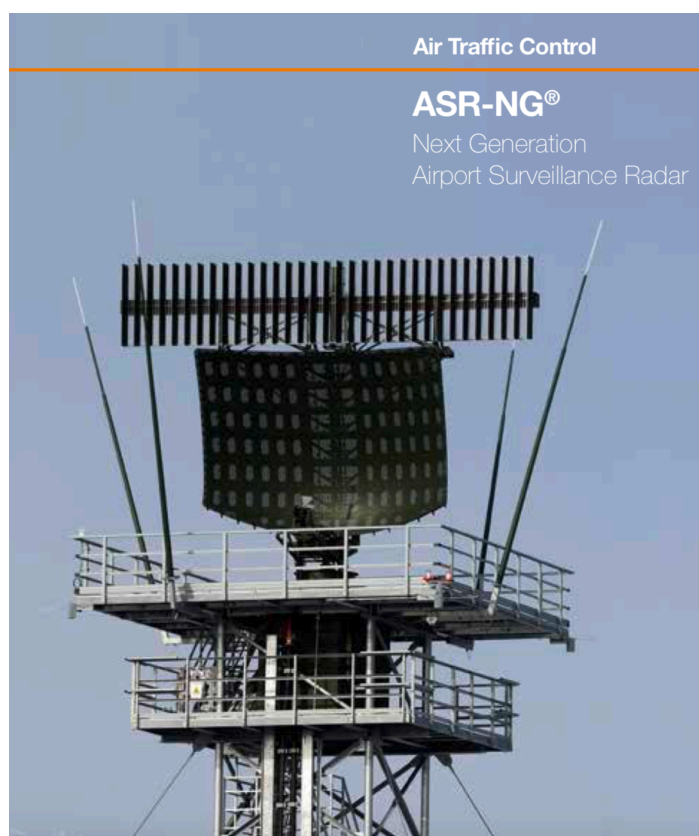


Ilustración 21: Radar para control de tráfico aéreo modelo ASR-NG®. Fuente: <https://www.hensoldt.net>

En las especificaciones técnicas del radar, suministradas por el fabricante⁵, se puede observar que el radar trabaja en un ancho de banda de 2.7 GHz a 2.9 GHz en modo primario de vigilancia (PSR) y en frecuencia de 1030 MHz a 1090 MHz en modo secundario (SSR).

En el caso de estudio comentado en el punto 4.2, referente a un radar situado en un aeropuerto, cuyo haz incidía en las plantas altas de un hospital, es parecido a los valores obtenidos por el modelo de radar ASR-NG, por lo que, la precaución sobre interferencias o posibles efectos en la salud, pueden aplicarse a este caso según el estudio anterior.

Es importante tener en cuenta, mantener un radio prudente, que no haya algún edificio u hospital que, por su altura, interceda en el haz del radar de tráfico aéreo.

⁵ https://www.hensoldt.net/fileadmin/hensoldt/Solutions/Air/Surveillance_Reconnaissance/0482_17_AS-NG_military_brochure_E_intranet.pdf

5.2 Radares de control meteorológico

Los radares de control meteorológico, suelen estar situados en los aeropuertos junto con los radares de control de tráfico aéreo, pero también pueden estar situados en otras zonas, incluso en zonas urbanas.

Este tipo de radares, operan en frecuencias más altas que los radares de seguimiento aéreo, pero tienen potencia promedio mucho más bajas. Habitualmente, se clasifican los radares meteorológicos por el ancho de banda que utilizan, es decir, hay radares de Banda X, Banda C o Banda Ka, dependiendo del uso que se necesite para la predicción. Pueden ser radares meteorológicos de tipo microondas o de efecto Doppler.

Hoy en día, los radares meteorológicos son de gran utilidad, no sólo para el control aéreo, sino para el control naval, campos de cultivo, información de estado de carreteras y previsiones. En este caso de estudio, se centrará en un tipo de radar meteorológicos que trabaja en la Banda C, que comprende entre los 4 GHz hasta los 8 GHz.

El motivo por el cual se ha elegido este tipo de radar, es por la frecuencia de emisión, que pertenece al rango de microondas, debido a que, para la emisión de estas ondas electromagnéticas, utiliza un magnetrón, como podemos ver en la siguiente ilustración 22:

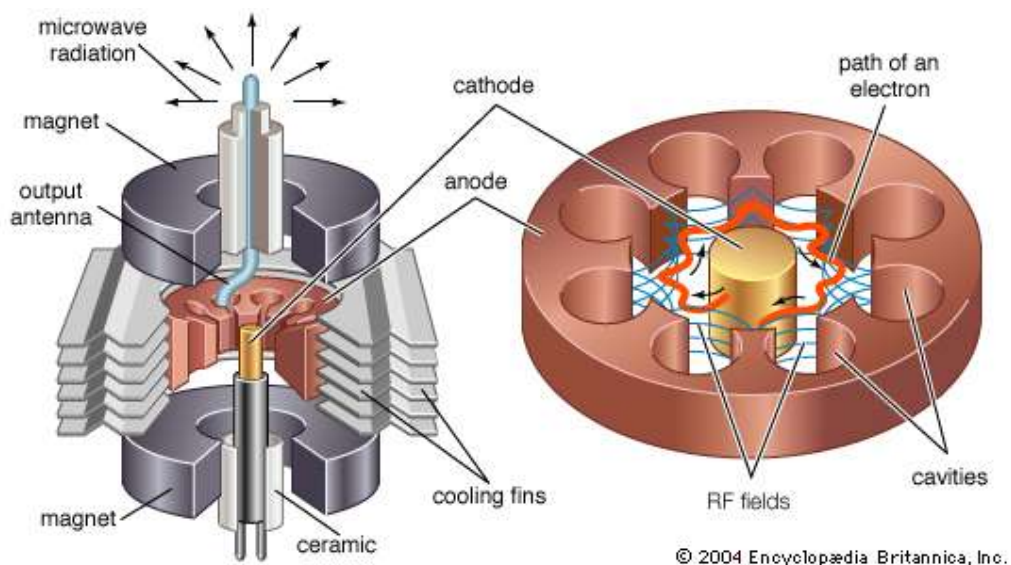


Ilustración 22: Composición de un Magnetrón. Fuente: Enciclopedia Británica.

El magnetrón⁽¹⁸⁾ es un aparato usado también en el ámbito doméstico, puesto que es el componente principal en los hornos microondas para calentar comida o líquidos y dependiendo de la cantidad de vatios que asignemos de potencia, calentará más o menos la comida en un determinado periodo de tiempo.

El funcionamiento del magnetrón, consiste en un tubo de vacío de diodo que contiene un cátodo cilíndrico y un ánodo coaxial. Al aplicar una corriente continua entre ambos, crea un campo eléctrico. Después, se aplica un campo magnético longitudinalmente por un imán externo, si es conectado a una línea resonante, actúa como un oscilador. Con este sistema, se pueden generar frecuencias muy altas y ráfagas de muy alta potencia en corto tiempo.

Un ejemplo de un radar de seguimiento meteorológico, sería el modelo WRM100 de Vaisala⁶, como podemos ver en la siguiente ilustración 24. El motivo por el cual se elige este tipo de modelo de radar, es por su frecuencia de emisión de ondas y su potencia.

Este tipo de radares, se sitúa en zonas altas donde no existe ningún obstáculo ni población, y las ondas se pueden dirigir a una dirección en concreto, gracias a la rotación de antena. Es importante recordar, que las ondas microondas, emiten RF que son capaces de tener un efecto térmico y de calentar y alterar tejido interno. Al estar estos radares situados en zonas altas, con un ángulo de elevación de la antena por encima del horizonte, no supone un riesgo para la salud de la población, sólo supondría un riesgo manipular este radar en funcionamiento o estar expuesto durante un determinado tiempo en el haz de emisión.

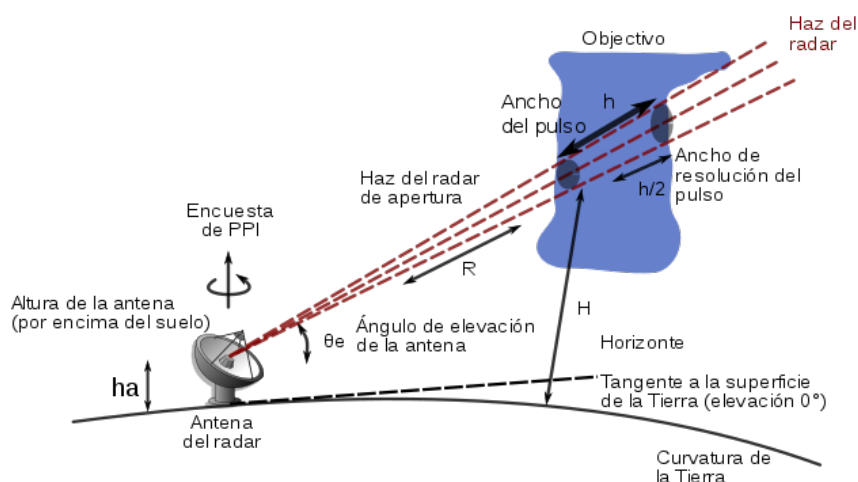


Ilustración 23: Esquema de funcionamiento de un radar meteorológico. Fuente: Creative Commons.

⁶ <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/WRM100-Datasheet-B210697EN-F.pdf>



Ilustración 24: Radar WRM100

Las especificaciones de este modelo de radar, indican que está compuesto por un magnetrón que emite un pico de potencia de 250 kW, como podemos ver en la siguiente ilustración:

Transmitter

Transmitter tube	Coaxial magnetron VMC-2033A
Modulator type	Solid state
Frequency range	5.5 ... 5.7 GHz
Peak power	250 kW
Pulse widths	0.5, 0.8, 1.0, or 2.0 μ s.
Duty cycle	0.12%
Phase stability	< 0.5° rms
Pulse Repetition Frequency	50 ... 2400 Hz
Average Power	300 W, 0.0012 duty cycle
Modes	STAR or LDR

Ilustración 25: Especificaciones técnicas Radar WRM100

Como se observa en la ilustración 25, el rango de frecuencia es de 5.5 a 5.7 GHz, con una potencia media de 300 W. Es importante recordar que, si hubiera un mantenimiento de antena o del magnetrón del radar, y este no fuera apagado correctamente o entrara en funcionamiento por accidente, el operador recibiría una fuente de energía capaz de dejarle efectos no reversibles en su organismo.

En los radares meteorológicos que se usan en aviación, están incorporados en la parte inicial del mismo, comúnmente llamada morro, que es donde se encuentra el radar de navegación junto con el meteorológico, como se observa en la ilustración 26.



Ilustración 26: Radar incorporado en avión Boeing 787 Dreamliner. Fuente: <https://www.airlinereporter.com>

El uso y manipulación de radares en aviones, está sometido a advertencias de manipulación y de seguridad. Desde los años 1980, existe una recomendación del departamento de transportes de la Administración Federal de Aviación, emitida desde Washington, D.C.⁽¹⁹⁾

Esta recomendación, se dirige a operadores de tierra que operen o reparen con los radares incorporados en los aviones, sea de uso civil o militar, sobre todo, cuando se esté comprobando y realizando test en tierra para comprobar el correcto funcionamiento del radar.

Lo importante de este estudio, se basa en el cálculo de las distancias de seguridad. Este tipo de cálculos, están recogidos en la actualidad en muchos manuales, por ejemplo, en guías de pilotos para el manejo de radares meteorológicos de a bordo. El cálculo que se emplea para las distancias de seguridad, se basa en determinar el campo cercano / campo lejano de intersección⁽²⁰⁾.

Consideramos campo cercano y campo lejano, a las regiones del campo electromagnético que se generan alrededor de un objeto, en nuestro caso un radar. Cerca de la antena, hay un

comportamiento no radiactivo, que es el llamado campo cercano, mientras que el comportamiento radiactivo, es decir, cuando se emite más radiación, se encuentra a mayores distancias, por lo que es llamado campo lejano. En la ilustración 27, se observa la diferencia entre campo cercano (Near-Field Region), zona de transición y campo lejano (Far-Field Region).

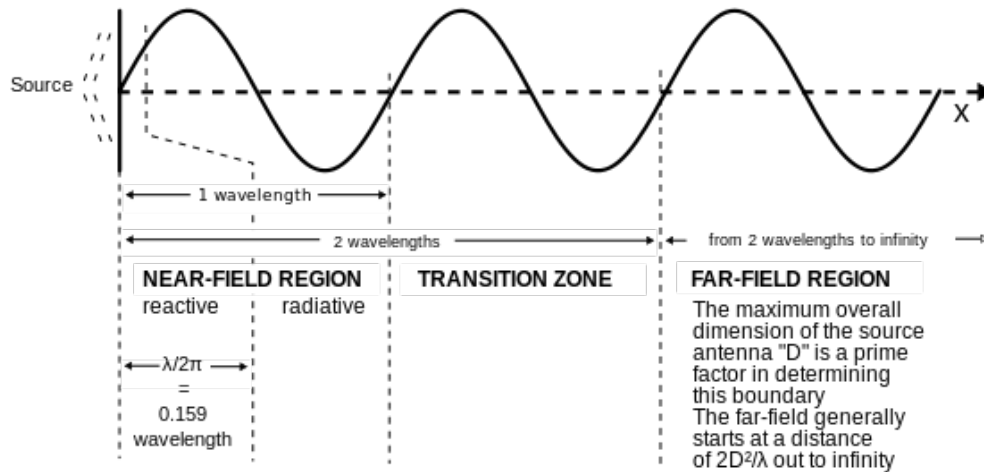


Ilustración 27: Representación de las regiones de campo cercano, zona de transición y campo lejano. Fuente: OSHA, Dept of Labor

Las medidas del campo cercano o campo lejano, son consideradas de la siguiente forma:

- Si la distancia (d) $> 3\lambda$, consideramos como campo lejano.
- Si $d < 3\lambda$, consideramos campo cercano.
- Si el punto de medida está en “campo cercano”, es necesario medir la intensidad del campo eléctrico (V/m) y la intensidad del campo magnético (A/m) por separado, por lo que la medida se ha de realizar con dos sondas isotrópicas, una para campo eléctrico y otra para campo magnético.

En este caso, y siguiendo la recomendación anteriormente citada, el cálculo se realiza de la siguiente forma:

La distancia del campo cercano / campo lejano de intersección, se calcula:

$$R_i = \frac{G \cdot \lambda}{8 \cdot \pi}$$

Dónde R_i , es la distancia de intersección de la antena, en metros. G es la ganancia de la antena y λ es la longitud de onda en metros.

Por otro lado, se tiene que calcular la distancia de seguridad de 10 mW/cm^2 que nos indica la recomendación, es decir, para una densidad de potencia en campo lejano de 10 mW/cm^2 , la distancia desde la antena se debe calcular con la siguiente fórmula:

$$R_s = \sqrt{\frac{G \cdot P}{400 \cdot \pi}} \text{ o también } R_s = \sqrt{\frac{G \cdot P}{40 \cdot \pi \cdot PDsl}}$$

Dónde R_s es la distancia mínima de seguridad en metros. P sería la potencia media transmitida en vatios y G sería la ganancia de la antena. También la podemos calcular si sabemos el valor de $PDsl$, que es la Densidad de Potencia deseada de límite de seguridad que se mide en mW/cm^2 .

Una vez obtenidos los valores, se determina el procedimiento. Si el valor de R_s es menor que el valor de R_i , se utiliza la distancia R_i como mínima distancia de seguridad.

Por el contrario, si la distancia R_s es mayor que la distancia R_i , se utilizará la distancia R_s , como distancia mínima de seguridad.

Por último, los valores vienen dados en mW/cm^2 , y como se ha observado en las tablas 1 y 2 anteriores, los valores de límite máximo de densidad vienen dados en W/m^2 . La conversión, se haría de la siguiente manera:

La recomendación, indica un valor de densidad seguro para operarios de tierra de radar de 10 mW/cm^2 , este valor sería equivalente a W/m^2 , si se realiza la siguiente conversión:

$$\frac{1mW}{cm^2} = \frac{10^{-3}W}{cm^2} \cdot \frac{10^4cm^2}{m^2} = 10W/m^2$$

Es decir, si tenemos 10 mW/cm^2 , serían $10 \cdot 10 W/m^2 = 100 W/m^2$, con lo que supera el límite establecido en la tabla 1 para operarios que manejen aparatos de emisión electromagnética, debido a que el valor máximo establecido es de 50 W/m^2 . Se recomendaría utilizar algún tipo de traje especial que apantalle la radiación electromagnética.

Un caso de ejemplo sería dado por los valores típicos de un radar meteorológico de un avión:

- Diámetro de la antena: 56 cm
- Frecuencia de transmisión: 9375 ± 30 MHz
- Longitud de onda: 3.2 cm
- Duración del pulso: 1.5 μs
- Repetición del pulso: 400 Hz
- Pico de potencia: 40 KW

- Potencia media: 24 W
- Ganancia de la antena: 1000 (30 dB)

Con estos datos, se procede al cálculo del ejemplo tipo de un radar meteorológico para intentar averiguar cuál sería la distancia de seguridad:

Distancia (R_i) sobre el campo cercano / campo lejano de intersección:

$$R_i = \frac{G \cdot \lambda}{8 \cdot \pi} = \frac{1000 \cdot 0.032}{8\pi} = 1.27 \text{ m}$$

Distancia (R_s) a 10 mW/cm² del límite de seguridad

$$R_s = \sqrt{\frac{G \cdot P}{400 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{1000 \cdot 24}{400 \cdot \pi}} = 4.37 \text{ m}$$

En este caso, se observa que la distancia R_s es mayor que la distancia R_i , por lo tanto, la distancia mínima de seguridad es de 4.37 metros.

Según se observa en la tabla 1, el valor recomendado para trabajadores que trabajan en zonas de con emisiones electromagnética es de 50 W/m², este valor pasaría a ser 5 mW/cm², por lo cual, si empleamos la fórmula que contiene el valor de la densidad de potencia límite recomendada, quedaría:

$$R_s = \sqrt{\frac{G \cdot P}{40 \cdot \pi \cdot PDsl}} = \sqrt{\frac{1000 \cdot 24}{40 \cdot \pi \cdot 5}} = 6.18 \text{ m}$$

En este caso, el valor de R_s sigue siendo mayor que el valor de R_i , por lo que la distancia mínima de seguridad sería 6.18 metros.

La importancia de mantener la distancia de seguridad a la hora de trabajar con radares de emisiones de campo electromagnéticos, se ha comentado con anterioridad. Un operador que no trabaje con un adecuado traje de seguridad y el radar está operativo, puede sufrir daños de visión e incluso daños en los tejidos blandos.

Por último, si tomamos como ejemplo, el radar meteorológico mostrado en la ilustración 24 y sus datos técnicos:

Transmitter

Transmitter tube	Coaxial magnetron VMC-2033A
Modulator type	Solid state
Frequency range	5.5 ... 5.7 GHz
Peak power	250 kW
Pulse widths	0.5, 0.8, 1.0, or 2.0 μ s.
Duty cycle	0.12%
Phase stability	< 0.5° rms
Pulse Repetition Frequency	50 ... 2400 Hz
Average Power	300 W, 0.0012 duty cycle
Modes	STAR or LDR

Antenna

Type	Center-fed parabolic reflector
Reflector diameter	4.5 m
Gain (typical)	45 dB
Beam width	< 1.0°
Peak side lobes at main polarization planes	< -28 dB
Weight (4.5 m reflector)	620 kg

Tenemos un radar que opera a una frecuencia de 5.5 GHz a 5.7 GHz, cuya longitud de onda será:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{5.6 \cdot 10^9} = 0.053 \text{ m}$$

Dónde c es la velocidad de la luz expresada en metros y f la frecuencia expresada en Hz.

La ganancia de la antena es de 45 dB, que equivale a 31622.77 en lineal. La potencia media es de 300 W. Se toma como valor recomendado de densidad de potencia en 5 mW/cm² y se procede a calcular los valores de R_i y R_s :

$$R_i = \frac{G \cdot \lambda}{8 \cdot \pi} = \frac{31622.77 \cdot 0.053}{8 \cdot \pi} = 66.68 \text{ m}$$

$$R_s = \sqrt{\frac{G \cdot P}{40 \cdot \pi \cdot PDsl}} = \sqrt{\frac{31622.77 \cdot 300}{40 \cdot \pi \cdot 5}} = 122.67 \text{ m}$$

En este caso R_s es mayor que R_i , por lo que se tomaría el valor de 122,67 m como distancia de seguridad en este modelo de radar.

Se recuerda que, los radares meteorológicos no suelen ser situados en zonas urbanas o en tal caso, están en zonas altas, no existe riesgo de exposición para la población. Sólo en el caso de que se manipulara el radar estando encendido y cerca de él.

5.3 Radares de uso militar

Existe una gran variedad de radares de uso militar, dependiendo del uso que al que esté destinado, éstos pueden estar instalados en bases militares, barcos, aviones o unidades móviles de combate. Estos radares pueden utilizar frecuencias, según se observa en la ilustración 4, que pueden ir desde bajas frecuencias de 1KHz hasta 300 GHz, dependiendo del uso requerido del radar.

El principal problema, según la OMS, radica en las potencias pico de emisión de algunos de estos radares que llegan a ser de 1 MW o incluso mayores, debido a que, algunas bases militares están situadas cerca de poblaciones.

Aunque, habitualmente, las antenas apuntan en dirección hacia el cielo para aprovechar las propiedades de la troposfera o la ionosfera, hay radares que apuntan a zonas bajas para el control de llegada de vehículos cuando están en zona de combate. Debido a esto, no hay preocupación aparente para la población que viva cerca de este tipo de bases militares, siempre y cuando, no ocurra el caso de que un edificio de uso público o privado interfiera en altura con el haz del radar.

Los aviones de combate, suelen tener instalados radares de seguimiento y control balístico. Este tipo de radares se utiliza para el control del disparo y el seguimiento del mismo. Este tipo de radares, si puede afectar al personal de tierra, debido a que las potencias de estos radares suelen ser muy altas en kW, y la antena de emisión suele ser muy pequeña, por lo que la densidad de energía puede llegar a 10kW/m^2 . El personal de tierra especializado que manipule este tipo de radar, debe de utilizar una protección especial y el público en general no debería de estar expuesto a estas emisiones en pruebas de tierra.

El uso de los radares militares, siempre ha habido una preocupación, como se ha observado en anteriores estudios, sobre los efectos directos o indirectos sobre la salud de los operadores o personal expuesto a las emisiones radar. Como último estudio más reciente, en enero de 2018, se publicó el siguiente documento: *“Radio frequency radiation-related cancer: assessing causation in*

the occupational/military setting”⁷ (“Cáncer relacionado con la radiofrecuencia: evaluación de la causalidad en el entorno laboral / militar”).

El citado estudio, realiza un análisis cuestionándose si el uso de la radiación RF en entornos militares puede producir cáncer, por lo que se utilizaron análisis de casos de pacientes previamente expuestos a este tipo de radiaciones, sobre todo, se centró en personal que trabaja en equipos de comunicación y radar. El estudio se enfocó a un tipo de cáncer hemato-linfoide, que es un tipo de leucemia linfoblástica, y en un estudio estadístico de análisis de porcentaje del ese tipo de cáncer.

El análisis del estudio, concluyó que “las exposiciones incurridas en los entornos militares evaluadas, aumentaron significativamente el riesgo de cáncer hemato-linfoide”. A partir de esta deducción, los autores recomiendan que la exposición a este tipo de emisiones debe de ser reducida sustancialmente. Se ha de tener en consideración el uso de medidores de exposición a radiaciones no ionizantes, y que el personal esté monitorizado, ya que los estudios analizados con anterioridad y los estudios recientemente realizados en este estudio, suponen una causa-efecto del cáncer hemato-linfoide y las exposiciones de ondas electromagnéticas de radio frecuencia.

⁷ <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.003>

7. Conclusiones Parte I

A lo largo del tiempo, desde que Nikola Tesla estableciera los principios teóricos del futuro radar⁽²¹⁾, definiendo potencias y frecuencias, el uso de los radares ha crecido exponencialmente, desde el uso militar más explícito en la Segunda Guerra Mundial, hasta nuestros tiempos.

Actualmente, la terminología radar resulta familiar, ya sea por los radares de control de velocidad o por los radares de control meteorológico, debido a que estos dos tipos de radares son lo más conocidos por la población. No tanto los radares de seguimiento aéreo o los radares de uso militar, que suelen ser más conocidos por ser utilizados por personal más especializado.

El uso de los radares va ligado a campos electromagnéticos. Conforme se ha ido avanzando en el uso de los radares, también se ha ido investigando el efecto que tiene sobre el hombre las radiaciones no ionizantes, procedentes de campos electromagnéticos. Debido a que, estos pueden producir efectos térmicos o no térmicos en el organismo humano.

Desde los años 50, existen estudios realizados a operadores de radar y personal que manipulaba los radares, observándose reacciones adversas por la exposición prolongada a campos electromagnéticos. Incluso, en los años 70, se advirtió que el uso de radares de efecto Doppler por parte del departamento de policía de Estados Unidos, estaba ligado a un incremento de varios tipos de cáncer.

En consecuencia, varios organismos, incluidos la Organización Mundial de la Salud, establecieron recomendaciones y directivas de uso dirigidas a los efectos radar sobre la salud humana. Actualmente, este tipo de recomendaciones se han convertido, en el caso del territorio español, en Reales Decretos para el uso, manejo y manipulación de los campos electromagnéticos.

A lo largo de este estudio, se han comentado diversos tipos de radares según su función y frecuencia, asociándolos con publicaciones sobre los efectos sobre la salud que las radiaciones de campo electromagnético puedan ejercer sobre las personas, por lo que probablemente, si existe una causa-efecto que pueda desencadenar una enfermedad asociada al uso no controlado de un radar, por ejemplo, un radar de efecto Doppler.

El control de las emisiones de los campos electromagnéticos, ha generado mucha controversia a lo largo de los años. Un uso indebido de frecuencias, potencia o situación de un radar, puede desencadenar efectos sobre la salud humana, no sólo en casos aislados donde se presentaron náuseas, diarreas, desorientación o mal estar general, sino también en casos reportados de leucemias, cáncer de próstata o vejiga, entre otros.

Esto es debido a que, los campos electromagnéticos, en determinadas frecuencias, son capaces de alterar cadenas de ADN, teniendo como consecuencia mutaciones en las cadenas de ADN generando proteínas defectuosas. Este tipo de mutaciones, si no son reparadas por el organismo, conllevan a un posible desarrollo de cáncer. (Ver ANEXO I).

La situación de los radares, en especial, los radares de seguimiento utilizados en aeropuertos civiles o militares, deben de ser controlados mediante dispositivos de medición de campos electromagnéticos, con el fin de evaluar y valorar si las poblaciones cercanas reciben una densidad de potencia superior a la recomendada, sobre todo en edificios altos donde el haz del radar pueda afectar directamente.

En cuanto a las recomendaciones sobre la exposición a los campos electromagnéticos, sería importante hubiera un seguimiento para su cumplimiento, debido a lo anteriormente comentado en algunos apartados, los límites de exposición fluctúan según quien realice la directiva o bien hacia quien vaya dirigida la exposición al campo electromagnético.

En conclusión, se necesitan realizar más estudios de campo sobre cómo puede afectar, no sólo a las interferencias de aparatos electromagnéticos, si no a la salud humana el uso de distintos tipos de radar, así como, dotar a los operadores de cualquier tipo de radar de medidores de exposición a campos electromagnéticos. Una recomendación para un futuro estudio, sería dotar a usuarios de a pie, de dispositivos de medición, tanto si están cercanos a aeropuertos o bases militares, como si no lo están, para evaluar si las radiaciones no ionizantes (algunas procedentes de telefonía móvil, las cuales, hasta ahora no hay evidencia de que tengan efectos adversos con la salud) recibidas por parte de esos usuarios, pertenecen a frecuencias y potencias asociadas a diversos tipos de radares, y así hacer un estudio de desambiguación, sesgando las radiaciones no ionizantes recibidas por antenas o terminales de telefonía móvil, con respecto a radiaciones no ionizantes recibidas por sistemas radar.

Parte II

1. Introducción a la tecnología “5G”

Se refiere el término tecnología “5G”, como a la quinta generación, según se observa en la ilustración 28, de comunicaciones inalámbricas, cuya predecesora es la actual LTE (Long Term Evolution) o “4G”, según la organización de estándares 3GPP⁽²²⁾.

Actualmente, sólo existen pruebas realizadas por fabricantes y operadores móviles sobre las comunicaciones a través de nueva tecnología 5G. Esto es debido, principalmente, a que existe una controversia en el uso de esta tecnología, debido a que cada país está adoptando distintas bandas de uso.

La tecnología 5G, trata de mejorar la velocidad y latencia de transmisión con respecto a la actual tecnología 4G de comunicaciones. Esto supone una inversión y coste muy elevado en cuanto a la realización de pruebas y a la implantación, por este hecho, las fechas de implantación son aproximadas y pretenden que entre el año 2019 o 2020, los estándares de comunicaciones 5G estén establecidos, sobre todo, para poder interactuar con otros países.

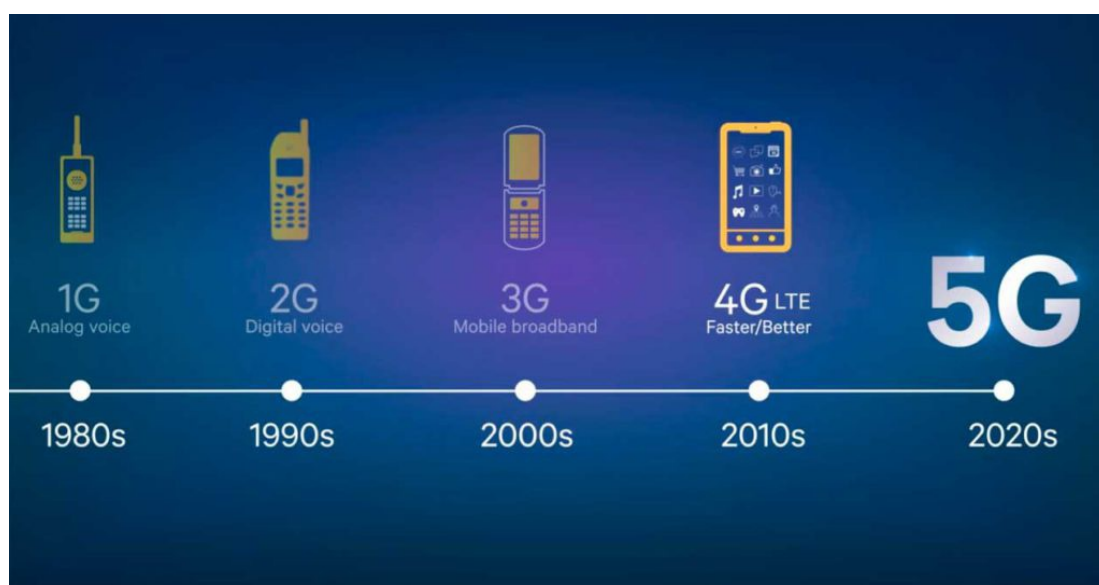


Ilustración 28: Evolución cronológica de la tecnología móvil desde 1980 hasta la implantación del 5G. Fuente: Movistar

El uso de la tecnología 5G, no sólo va dirigido a los móviles, se pretende que las comunicaciones inalámbricas (Wireless), sean las que manejen desde las comunicaciones por Internet, televisión,

aparatos domóticos, robots, etc., hasta la transmisión de información de gran volumen en el menor tiempo posible, teniendo también como objetivo, reducir las conexiones por cable.

En España, se implantarán las bandas de comunicaciones según la legislación acordada por la Unión Europea⁽²³⁾, hay que tener en consideración que las bandas asignadas en la UE, no son las mismas que en el caso de Estados Unidos, China o Japón, por ejemplo. Por lo que, en este caso, se centrará el estudio en España y en las directrices marcadas por la UE.

2. Bandas de frecuencia asignadas para la tecnología 5G

El estudio de las frecuencias asignadas a las comunicaciones 5G, se centrará en las bandas actualmente designadas para su pendiente implantación, así como comprobación de los problemas que las mismas bandas puedan generar en la salud.

Actualmente, y según la armonización de las frecuencias implantadas en España⁽²³⁾, las bandas asignadas y el uso serán las siguientes:

1- Frecuencias 3.4 a 3.8 GHz: Estas frecuencias se dividen en dos frecuencias:

1.1 – Frecuencias de 3.4 a 3.6 GHz: Estas frecuencias son adjudicadas y se utilizarán para la prestación de servicios 5G. Su uso irá destinado a la radiolocalización y bandas de guardia.

1.2 – Frecuencias de 3.6 a 3.8 GHz: Esta banda queda libre para usos futuros.

2- Frecuencia de 700 MHz: Esta frecuencia es usada para la difusión de televisión digital, llamada TDT. Esta banda, quedará a disponibilidad de usos futuros según se acordará en futuras consultas. Esta banda, permitirá la prestación de servicios de comunicaciones electrónicas.

3- Frecuencia de 26 GHz: Aunque la frecuencia asignada es de 26 GHz, comprende frecuencias de 400 MHz para uso inmediato y 500 MHz para otras limitaciones. El resto de la banda será utilizada para radioenlaces del servicio fijo punto a punto de redes troncales de telefonía móvil, aunque todavía no están determinadas las condiciones técnicas de utilización.

Como se observa, en la definición de las bandas asignadas, no existe todavía nada claro sobre el uso de las mismas y a qué irán destinadas exactamente, aunque existen otras bandas de frecuencia

de utilidad para servicios 5G, según el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. Estas bandas sí que están destinadas a usos más específicos.

En concreto, la banda 1.5 GHz o banda L, que se utilizará para incrementar los enlaces descendientes, es utilizada por telefonía móvil, así como por sistema de posicionamiento global como GPS, GLONASS o sistema de navegación Galileo. En concreto GPS, utiliza las frecuencias 1176.45 MHz (L5), 1227.60 MHz (L2), 1381.05 MHz (L3) y 1575.42 MHz (L1).

Sabiendo que la banda L, es una banda que ya está en uso, se intentará una licitación de la misma para que las frecuencias libres puedan ser utilizadas para otros fines.

Por otro lado, existe también la banda 2.3 – 2.4 GHz, que actualmente se está utilizando para los servicios de telemetría y para radioenlaces móviles de televisión. Si esta banda se utilizara para el uso de telefonía móviles, sólo se podría usar mediante acceso compartido licenciado (LSA).

2.1 Uso de la banda L en 1.5 GHz y posibles efectos sobre la salud

En relación con la banda L en frecuencia de 1.5 GHz, que en principio se utilizará para dar apoyo a los enlaces de telefonía móvil relativos a la tecnología 5G, existen evidencias que relacionan un deterioro cognitivo cuando hay una exposición a las microondas en esta frecuencia. Aunque existen muchos estudios que relacionan el deterioro cognitivo en personas expuestas a este tipo de ondas, cabe mencionar un estudio en el año 2017: *“Study on dose-dependent, frequency-dependent, and accumulative effects of 1.5 GHz and 2.856 GHz microwave on cognitive functions in Wistar rats”*⁽²⁴⁾ (Estudio sobre los efectos de dosis-dependientes, de las frecuencias-dependientes y los efectos acumulativos de las microondas de 1.5 GHz y 2.856 GHz en las funciones cognitivas en ratas Wistar).

El citado estudio, aunque se realizó con ratas de laboratorio, intenta establecer una relación mucho más sistemática sobre los efectos acumulativos de las ondas microondas en diferentes frecuencias, utilizando la misma densidad de potencia promedio. Durante el estudio, se observó una disminución en el aprendizaje espacial y en la memoria, así como fluctuaciones de las actividades eléctricas del cerebro, en los ratones que fueron expuestos a una densidad de potencia de 10 mW/cm². Se examinaron los cerebros de las ratas, encontrándose *“evidencias morfológicas en el hipocampo”*, asociadas a una disminución de un componente celular que forma parte de la célula, en concreto de los ribosomas, provocando trastornos metabólicos en las proteínas neuronales, también se asoció a un incremento del estrés oxidativo celular.

La importancia de este estudio, se debe a la posible aplicación sobre la tecnología 5G y a las potencias empleadas, ya que no queda muy claro qué tipo de potencia se empleará en las transmisiones y bajo qué frecuencias. Actualmente, las recomendaciones están basadas en no superar los 50 W/m² de densidad de potencia, pero para algunas aplicaciones de la tecnología 5G, sobre todo si se pretende dar una mayor cobertura en interiores, que es necesaria una potencia de emisión mayor.

El estudio, concluye con una recomendación: *“Nuestros resultados mostraron que el declive cognitivo inducido por microondas fue determinado en gran medida por su poder en lugar de la frecuencia. Los efectos de las lesiones también se encontraron en los grupos de exposición acumulativa. Nos preocupa especialmente la dosis de seguridad, los efectos de las lesiones y los efectos acumulativos de las microondas, que podrían ser muy valiosos en el futuro.”*

3. Aplicaciones de la tecnología 5G

Actualmente, esta tecnología está en fase de pruebas, las pruebas realizadas han ido dirigidas entorno a la transmisión de un gran volumen de datos en el menor tiempo posible y en dirigir aparatos, como robots o autómatas, desde puntos lejanos sin apenas latencia ni retardo.

La mayor expectativa de esta tecnología, es que el servicio 5G mejore las prestaciones actuales de las telecomunicaciones, en concreto, la banda ancha móvil de transmisión de datos mejorará, debido a que, en las pruebas realizadas, se han conseguido transmisiones de 100 Mbit/s, obteniendo picos de 1 Gbit/s⁽²²⁾. El objetivo de esta mejora, es ofrecer una experiencia al usuario en cuanto a una mejor definición de voz e imagen y prestación del servicio, por ejemplo, una mayor interacción con el Internet de las Cosas (IoT)⁽³⁴⁾.

En cuando a las comunicaciones que requieran un ancho de banda muy elevado, la tecnología 5G permitirá transferir grandes volúmenes de datos en un menor tiempo con respecto a la tecnología actual, e incluso mantener y gestionar conexiones simultáneas. Mantener comunicaciones simultáneas a gran velocidad, permite que se pueda usar un gran número de dispositivos a la vez y que el Internet de las Cosas, sea más cercano.

En cuanto a las comunicaciones móviles, serán más fiables con una menor latencia, se calcula que serán entorno a 1 ms, frente a la latencia de las redes operativas actuales 4G, que es de 20 a 30 ms. Este tipo de mejora, está enfocada a vehículos autónomos, sistemas de seguridad o servicios de telemedicina.

El objetivo principal de la tecnología 5G, enfocada al uso público, consiste en prestar una mayor cobertura en interiores, aumentar el ancho de banda de las conexiones y que éstas sean más estables.

Según la Comisión Europea ⁽²³⁾, la previsión para el 2025 será que este servicio esté implantado y en uso en toda la UE. El citado documento, nos ofrece una comparativa, según podemos ver en la Ilustración 29, de las ventajas de las comunicaciones 5G con respecto a la actual tecnología 4G:

WHAT WE WILL BE ABLE TO DO IN 2025 WITH BETTER CONNECTIVITY?

 Time to download a 	 2017 4G average download speed = 25 Mbps	 2025 5G
Digital book – 1 MB	0.32 second	3.2 milliseconds
Song – 5 MB	1.6 seconds	16 milliseconds
TV show (HD) – 450 MB	2.4 minutes	1.44 seconds
Film (HD) – 1500 MB	8 minutes	4.8 seconds

Ilustración 29: Comparación en tiempo de descarga con respecto a la actual tecnología 4G con la futura tecnología 5G, según distintos ejemplos ⁽²³⁾.

Como se observa en el cuadro comparativo de la ilustración 29, el tiempo de descarga de una película en alta definición (HD), que ocupe 1.5 Gb aproximadamente, tendrá un tiempo de descarga de 4.8 segundos, con respecto a los 8 minutos actuales que ofrece la tecnología actual 4G. Aunque esto no suponga a priori una ventaja, porque el tiempo de espera actual tampoco es muy elevado, pero sí que permitirá a los operadores de televisión, ofrecer o alquilar películas (o series) casi en tiempo real y sin espera, es decir, ver una película sin demora y en alta definición en cualquier hogar.

En cuanto al uso de la tecnología 5G en empresas, como se observa en la ilustración 30, tendrá diferentes usos:

 Factories of the future interconnected machines, robots, automated processes, goods, remote workers in real time	 Doctors operating remotely or closely monitoring patients at home
 Cities turning to intelligent energy consumption or traffic lights based on real-time needs	 Connected cars driving on European roads

Ilustración 30: Aplicaciones de la tecnología 5G en la empresa o industria ⁽²³⁾

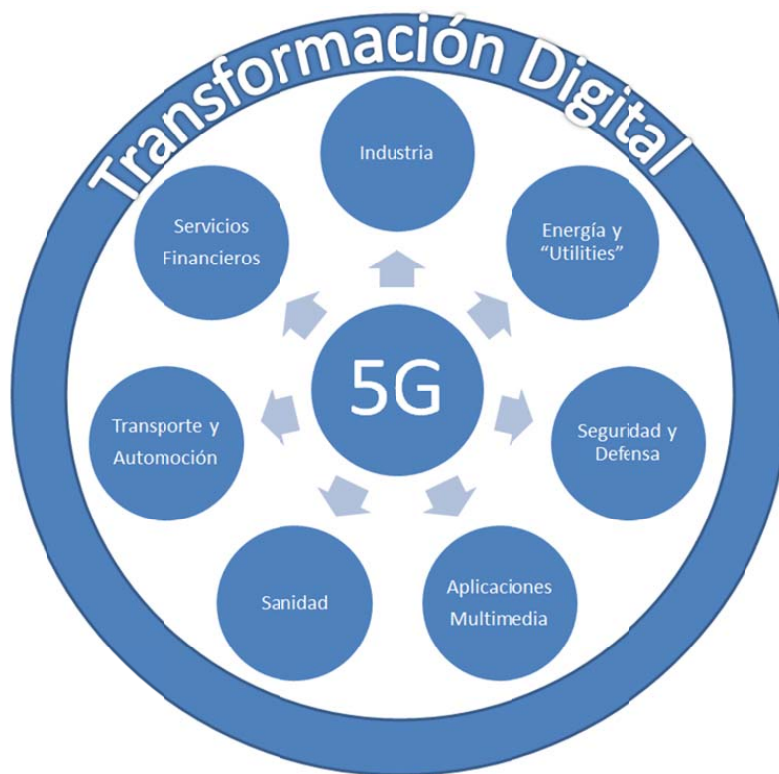


Ilustración 31: Resumen de aplicaciones destinadas a la tecnología 5G. Fuente: Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital

En resumen, la aplicación y utilidad de la tecnología 5G será aplicable a negocios y ciudadanos, mejorando en los siguientes casos:

a) Las fábricas, industrias y negocios podrán interconectar máquinas, robots y procesos automáticos, para que los trabajadores puedan trabajar en tiempo real en distintas sedes, intercambiando gran cantidad de información, e incluso pudiendo mejorar el teletrabajo, debido a que se podrá trabajar en remoto con las maquinarias sin apenas latencia.

b) En el campo de la medicina, los doctores podrán diagnosticar y realizar operaciones a pacientes desde distintos hospitales, utilizando robots tipo “da Vinci”. También, se podrá monitorizar pacientes en casa, en tiempo real.

c) En cuanto a las ciudades y sus habitantes, se podrá aprovechar de una forma inteligente y eficiente la energía, así como la gestión de tráfico.

d) Los vehículos, podrán estar conectados a la red de carreteras europeas, las cuales informen del tráfico en tiempo real, accidentes y asistencia en carretera.

4. Tecnología 5G y el impacto sobre la salud

Actualmente, y teniendo en cuenta la fecha de elaboración de este estudio, no existe información específica ni clara sobre el impacto en la salud que podrían tener las nuevas frecuencias que, se utilizarán para la transmisión masiva de información y las telecomunicaciones, que intenta implantarse con la tecnología 5G. Como ocurre en el punto 2.1, podemos utilizar estudios anteriores para aplicarlos, y así suponer qué podría ocurrir si no hay un control previo sobre las emisiones.

En España, existe un comité llamado “Comité científico asesor en radiofrecuencias y salud” (CCARS), cuyos miembros son expertos en medicina, física, química y biología, entre otras especialidades y velan por la salud de los ciudadanos con respecto a las emisiones electromagnéticas. Dicho comité, publicó un análisis desde el punto de vista científico sobre la tecnología 5G y la salud ⁽²⁴⁾. Dicho análisis, afirma que hasta ahora: *“no hay ninguna evidencia científica de que si se cumplen los niveles legales haya efecto nocivos para la salud”*, y defendiendo que: *“no hay pruebas que demuestren que haya daños para la salud de las emisiones por debajo de los límites legales establecidos que son superiores a los que utilizan las empresas de telefonía”*, basándose en estudios científicos (que no están citados en dicho análisis), no se puede concluir que la tecnología 5G sólo se vaya a aplicar a la telefonía móvil, sino que será una forma de comunicación alternativa al cable, por consiguiente, será utilizada también para conexiones ultra rápidas en Internet, emisión de televisión en alta definición (o ultra alta definición), así como el Internet de las Cosas, por lo que el estudio se debería de ampliar a todos los ámbitos que ofrece la tecnología 5G.

4.1 Análisis de las posibles frecuencias 5G y la salud

El análisis de la tecnología 5G y el efecto sobre la salud, se realizará sobre los estudios publicados hasta el momento por revistas especializadas, así como las frecuencias de uso y las precauciones, si hubiera que tomarlas, para evitar riesgo para la salud. También, se asocian las frecuencias usadas en la tecnología 5G con las frecuencias radar a las que pertenecen, con el fin de evitar posibles incidentes.

La tecnología 5G, está en pruebas, no es una tecnología implantada y tampoco es una tecnología que a en principio se vaya a implantar de una forma simultánea en todo el mundo, o en este caso, en la UE, por lo que se centra el estudio en las frecuencias aprobadas hasta ahora en el “Plan Nacional 5G”⁽²³⁾.



Ilustración 32: Posibles bandas de frecuencias 5G en la UE⁽²¹⁾

Se procede al estudio de las posibles bandas de frecuencia asociadas a la tecnología 5G en la UE, según se muestra en la ilustración 32. Se empezará el análisis de menor a mayor frecuencia.

a) Bajas frecuencias entorno a 700 MHz.

Las bandas de baja frecuencia, menores a 1 GHz, han reportado casos severos contra la salud debido a la potencia de emisión de las antenas en frecuencias entorno a 700 MHz. En concreto, en 1997 se publicó un estudio: “Graves efectos de la exposición a la radiación de radiofrecuencia ultra alta (UHF) en tres ingenieros de antenas”⁽²⁶⁾.

El citado estudio, se basa en la banda de emisión UHF 785 MHz y en tres técnicos de antenas que manipularon una antena de UHF tipo “Sira 2-wavelength”, en paneles de 4 niveles, como muestra la ilustración 33, con aproximadamente 1.75 KW de potencia media por *array* de entrada por canal que estaba en uso:



Ilustración 33: Antena UHF UTV-01/64 HALIFAX, CANADA. Fuente: <http://www.sira.mi.it>

El estudio refiere a tres operadores, que estaban cercanos a las antenas y estaban en “la región relacionada con “campo cercano” de la antena, en dicha región, en el que la onda electromagnética no se ha formado completamente”⁽²⁶⁾, es decir, este campo es igual al campo cercano en los radares como se comentó en el punto 5.2 correspondiente a la Parte I de este estudio.

Los tres ingenieros, fueron expuestos a las ondas electromagnéticas durante un tiempo estimado de entre 50 segundos a 2 minutos y, con una densidad de potencia de onda de 20 mW/cm^2 , que equivale a 200 W/m^2 . Este nivel supera los niveles máximos recomendados por la ICNIRP, que recomienda para las frecuencias entre 400 y 2,000 MHz emplear la fórmula $f/40$, siendo f el rango de frecuencia de emisión. En este caso, sería 785 MHz por lo que el nivel recomendado de exposición es de 20 W/m^2 , aproximadamente.

En consecuencia, los tres operarios se vieron expuestos a una emisión que supera 10 veces el límite recomendado para esas frecuencias. Los efectos adversos contra la salud, fueron inmediatos y presentaron sensación de dolor intenso de cabeza, en concreto en el lado izquierdo. También sintieron dolor de nuca, brazo derecho y sensación parecida a la ver sufrido una insolación.

Los tres operarios experimentaron, no a la vez, si no en distintos intervalos de tiempo, las mismas reacciones, tales como: vómitos, diarrea, eritema, dolor de cabeza, malestar y parestesia.

Este incidente, puede ser útil para comprender que la manipulación de las antenas y radares, deben de estar controladas, debido a las consecuencias de los incidentes, tanto para el personal que opera como en el caso de la población. Estas antenas, suelen estar situadas en zonas lejanas a la población y en sitios altos, para evitar un contacto cercano a las mismas. Aun así, sería recomendable que los operarios utilizasen un tipo de traje para evitar futuros incidentes.

Actualmente, no está especificada la potencia que se utilizará para la extensión de la cobertura, y si esta se utilizará en interiores de edificios, lo que sí habrá que tener en cuenta, será que esté por debajo de los límites recomendados de densidad de potencia de 10 W/m^2 .

b) Frecuencias medias entre 3.4 a 3.8 GHz.

Este tipo de frecuencias, pertenecen al rango de microondas. En concreto, pertenecería a la banda S radar, según la ilustración 3. Esta banda es la utilizada también por radares de vigilancia, por ejemplo, para el uso naval como se observa en la ilustración 34. El uso destinado para la tecnología 5G, es para un mejor compromiso de cobertura y capacidad, así como comunicaciones ultra fiables.

En el caso que, esta frecuencia vaya destinada al uso de mejorar la telefonía móvil, habría que evaluar la potencia de emisión, por el interés que podría suscitar en la seguridad en general, debido a que los rangos de exposición para el cuerpo humano (medidos en SAR), para la exposición de frecuencias entre 3 a 4 GHz, debe de ser $\text{SAR} = 0.02 \text{ W/kg}$ por entrada de 1 W/m^2 .

Un estudio realizado en 1956, ya revelaba efectos adversos contra la salud en la banda S radar (y también a la banda X que comprende las frecuencias de 8 a 12 GHz): “Physical Evaluation of Personnel Exposed to Microwave Emanations”⁽³³⁾ (Evaluación física del personal expuesto a emanaciones de microondas).

El estudio dividió a un grupo de 226 personas según los años de exposición a estos radares, formando 3 grupos de 0 a 2 años, de 2 a 5 años y de 5 a 12 años. También se creó un grupo de control.

Los tres grupos mostraron un número similar de células blancas, comparable al grupo de control, pero si hubo un decrecimiento significativo en un 25% de granulocitos, que es un tipo de glóbulo blanco presente en la sangre, en concreto, los granulocitos son formados por neutrófilos, eosinófilos y basófilos. También se reportó problemas oculares y sensación de vibración o zumbidos si estaban cerca de las antenas emisoras.



Ilustración 34: Radar de Banda S tipo SPY-1 Radar. Fuente: <http://missiledefenseadvocacy.org>

c) Altas frecuencias > 6 GHz.

Las altas frecuencias superiores a 6 GHz, se emplearán para alta capacidad de transmisión de datos para temas específicos.

Un estudio publicado en 2018, hace referencia a las altas frecuencias, en concreto a campos electromagnéticos que abarcan las frecuencias entre los 2 GHz y 120 GHz. Este estudio se centra en los insectos: “Exposure of Insects to Radio-Frequency Electromagnetic Fields from 2 to 120 GHz”⁽²⁸⁾ (Exposición de insectos a campos electromagnéticos de radiofrecuencia de 2 a 120 GHz). Este estudio, aunque se centra en los insectos, puede ser relevante no sólo para la salud humana, sino para el mantenimiento del ecosistema, y puede ser un inicio para una investigación más exhaustiva sobre las bandas superiores a 6 GHz y posibles efectos adversos contra la salud en las personas.

El estudio concluye lo siguiente: *“Investigamos la potencia electromagnética de radiofrecuencia absorbida en cuatro insectos reales diferentes en función de la frecuencia de 2-120 GHz. Se usaron imágenes de Micro-CT para obtener modelos realistas de insectos reales. A estos modelos se les asignaron parámetros dieléctricos obtenidos de la literatura y se usaron en simulaciones de dominio de tiempo de diferencia finita. Todos los insectos muestran una dependencia de la potencia absorbida en la frecuencia con una frecuencia máxima que depende de su tamaño y propiedades dieléctricas. Los insectos muestran un máximo en la potencia de radiofrecuencia absorbida en longitudes de onda que son comparables a su tamaño corporal. Muestran un aumento general de*

la potencia de radiofrecuencia absorbida por encima de 6 GHz (hasta las frecuencias donde las longitudes de onda son comparables a su tamaño corporal), lo que indica que, si las densidades de potencia utilizadas no disminuyen, sino que cambian (parcialmente) a frecuencias más altas, la absorción en los insectos estudiados aumentará también. Un desplazamiento del 10% de la densidad de potencia incidente a frecuencias superiores a 6 GHz conduciría a un aumento en la potencia absorbida entre el 3-370%. Esto podría conducir a cambios en el comportamiento, la fisiología y la morfología de los insectos a lo largo del tiempo debido al aumento de la temperatura corporal debido al calentamiento dieléctrico. Los insectos estudiados que son más pequeños de 1 cm muestran un pico en la absorción a frecuencias (superiores a 6 GHz), que actualmente no se usan a menudo para telecomunicaciones, pero que están planificados para su uso en la próxima generación de sistemas de telecomunicaciones inalámbricas. A frecuencias superiores a la frecuencia máxima (longitudes de onda más pequeñas), la potencia absorbida disminuye ligeramente.”

Se deduce que, un aumento de la potencia de RF absorbida por encima de los 6 GHz, la densidad de potencia no disminuye, sino que cambia parcialmente a frecuencias más altas, la absorción en los insectos aumenta. En concreto, un desplazamiento del 10% de la densidad de potencia conduce a un aumento de la potencia absorbida entre el 3-370%, con consecuencias de cambio de comportamiento morfológico y fisiológico debido a un calentamiento dieléctrico.

5. Pruebas efectuadas hasta la fecha con la tecnología 5G

Las pruebas realizadas por las compañías telefónicas, así como empresas de fabricación de componentes electrónicos, se están llevando a cabo a un ritmo lento. Las pruebas realizadas en distintos países, se han centrado en la comunicación y envío de grandes cantidades de datos de forma inalámbrica, así como monitorización de fábricas y autómatas de forma remota. Este estudio se centrará en las pruebas realizadas en España.

En abril de 2018, en Talavera de la Reina (Toledo), se realizó por parte de la compañía Telefónica de España, una prueba de conducción de un vehículo autónoma, sin conductor⁽²⁹⁾. En concreto, se trata de un minibús eléctrico EZ10 (como muestra la ilustración 35), diseñado por la compañía EasyMile⁸, en el cual se ha instalado un terminal 5G diseñado por la compañía Ericsson y la plataforma CarMedia Solutions⁹.

⁸ <http://www.easymile.com>

⁹ <http://www.carmedia.tech>



Ilustración 35: Minibús Eléctrico EZ10 de conducción autónoma con tecnología 5G. Fuente: Telefónica de España.

La demostración, se ha realizado en la banda de 3.5 GHz, siendo el minibús capaz de recibir 4 TB de información en sus sensores diariamente. Debido a esto, el ancho de banda debe de ser muy grande para poder transferir información en tiempo real con una mínima latencia.

La antena de transmisión 5G, se encuentra en una unidad móvil de Telefónica Movistar, y es la que da cobertura exclusiva al minibús. La información específica de la antena 5G, no es proporcionada por parte del fabricante Ericsson, pero sí remite a un estudio realizado por el organismo IEEE acerca de: “Exposure to RF EMF From Array Antennas in 5G Mobile Communication Equipment”⁽³⁰⁾ (Exposición a RF CEM desde antenas array en equipos de comunicación móvil 5G).

Este estudio, recomienda el uso de antenas y de la exposición de las mismas, dependiendo de la frecuencia de emisión, según podemos observar en la tabla 4, y realizado sobre una antena de dipolos rotados a 45°, según se observa en la ilustración 36.

	f (GHz)	Array area (cm ²) $2 \times 2 = 10 \times 10$ elements	Maximum transmitted power (dBm)			Maximum EIRP (dBm)		
			ICNIRP	FCC	IEEE	ICNIRP	FCC	IEEE
Portable ¹ applications ($d = 0.5$ cm)	10	9.0 – 230	13 – 20	7 – 18	16 – 28	24 – 45	18 – 43	27 – 53
	20	2.3 – 56	13 – 16	2 – 13	12 – 24	24 – 41	13 – 38	23 – 49
	30	1.0 – 25	13 – 14	1 – 10	11 – 20	24 – 39	12 – 35	22 – 45
	40	0.56 – 14	13	1 – 8	9 – 20	24 – 38	12 – 33	20 – 45
	50	0.36 – 9.0	13	1 – 6	9 – 18	24 – 38	12 – 31	20 – 43
Mobile ² applications ($d = 20$ cm)	10	9.0 – 230	20 – 26	18 – 26	27 – 31	37 – 45	37 – 43	42 – 53
	20	2.3 – 56	16 – 26	14 – 26	24 – 28	37 – 41	37 – 39	39 – 49
	30	1.0 – 25	16 – 26	13 – 26	21 – 27	37 – 41	37 – 38	38 – 46
	40	0.56 – 14	15 – 26	13 – 26	21 – 27	37 – 40	37 – 38	38 – 46
	50	0.36 – 9.0	15 – 26	13 – 26	21 – 27	37 – 40	37 – 38	38 – 46

¹ FCC terminology used to denote devices intended to be used at a distance of less than 20 cm from the human body.

² FCC terminology used to denote devices intended to be used at a distance of 20 cm or more from the human body.

Tabla 4: Resumen de la potencia máxima transmitida y la EIRP¹⁰ máxima para cumplir con los límites de exposición a CEM y RF según ICNIRP, FCC e IEEE.⁽³⁰⁾

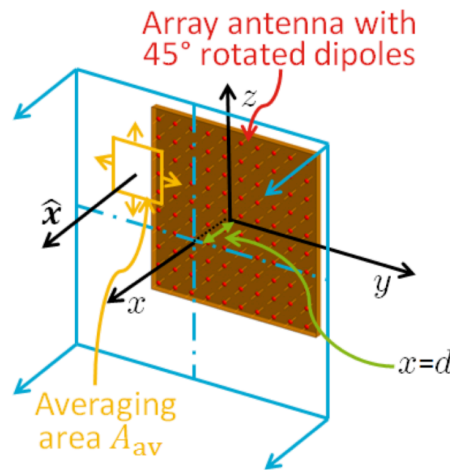


Ilustración 36: Antena de array cuadrado y definición del área sobre la que se promedia la densidad de potencia.

El citado estudio, es bastante completo y ayuda a comprender las radiaciones emitidas por las antenas que trabajen en altas frecuencias bajo la tecnología 5G, y evitar posibles efectos adversos contra la salud.

El estudio concluye con una recomendación acerca de los estándares empleados para la exposición a los campos de RF y CEM, debido a que pueden existir variaciones bastante grandes en los niveles máximos de potencia transmitida. También se concluye que, los niveles de exposición cercanos al cuerpo, en cuanto a potencia máxima transmitida, recomendados por la ICNIRP y la FCC, están por debajo de lo que se especifica hoy en día para las tecnologías de comunicaciones móviles. Es decir, se necesita realizar una resolución acerca de los hallazgos encontrados en el estudio ya que puede

¹⁰ RF EMF Exposure Limits and Limitis on Maximum Equivalent Isotropically Radiated Power. (Límites de Exposición de CEM RF y Límites de la Potencia Máxima equivalente radiada isotrópicamente).

tener un impacto negativo en el rendimiento y el coste de los futuros sistemas de comunicación móvil.

En resumen, recomienda una armonización global de los límites de exposición a los CEM de RF para las frecuencias superiores a 6 GHz, con un margen de seguridad similar a las frecuencias que se encuentran por debajo de los 6 GHz, para proteger de los efectos adversos para la salud, según las recomendaciones establecidas.

5.1 Caso de estudio del minibús en pruebas con tecnología 5G implantada

En el caso del vehículo minibús en pruebas, la banda que se utiliza es de 3.5 GHz, similar a la empleada en los dispositivos inalámbricos (routers) de emisión WiFi.

Estos dispositivos pueden emitir en dos bandas de 2.4 GHz o 5 GHz, según el protocolo que empleen. La OMS y los organismos como ICNIRP, publican sobre los posibles efectos en la salud de las tecnologías de RF, las señales WiFi se encuentran dentro del rango de RF que los expertos en salud no concluyen si son perjudiciales para la salud si se cumplen los límites establecidos.

Estos límites utilizan una potencia de 100 mW, que es inferior a la potencia de emisión de un teléfono móvil (2W), pero hay que tener en cuenta que esta emisión de potencia es en continuo, es decir, una persona que trabaje en un entorno donde el medio de comunicación sea WiFi, estará sometido a emisiones constantes de potencia en 100 mW. En el siguiente apartado, se profundiza sobre estos casos y los efectos adversos que pueda tener sobre la salud, en el caso de las emisiones en banda 3.5 GHz empleadas en la tecnología 5G.

En este caso, para proveer de cobertura al minibús, podemos deducir que una potencia de 100 mW no abarcaría la cobertura suficiente para que el minibús reciba una buena señal, sin interferencia y sin atenuación, es decir, si la antena está fija y el vehículo recorre una distancia de 5 km, habrá momentos en los que se encuentre alejado de la antena emisora, por lo que disminuirá la velocidad de transferencia y aumentará la latencia, de ahí que se tenga que compensar con un aumento de la potencia de emisión.

6. Mediciones del CEM en telefonía móvil aplicada a la tecnología 5G

Para realizar las mediciones de los campos magnéticos, se utilizan medidas en términos de Amperios por metro (A/m), pero conforme se ha ido comentando a lo largo de los puntos de estudio, la mayoría de las investigaciones que hacen mención sobre campos electromagnéticos, se refieren a ellos en medidas de densidad de flujo magnético, que se suele expresar en unidades de microTeslas (μT), en natoTeslas (nT) o en miliGauss (mG). En la siguiente tabla 5, se observa las conversiones de medida:

microTesla (μT)	natoTesla (nT)	miliGauss (mG)
1	1000	10
0,001	1	0,01
0,1	100	1

Tabla 5: Conversiones de Medida de unidades de Testa (T) y Gauss (G)

La normativa española establece en el Real Decreto 1066/2001 un límite de exposición máximo para las personas de 100 μT , para campos electromagnéticos de frecuencia de 50 Hz. Cuando el rango de frecuencia es de 1 Hz a 1 MHz, las recomendaciones especifican límites de exposición únicamente para evitar efectos nocivos en el funcionamiento del sistema nervioso, por lo cual, se deduce que la exposición a un campo electromagnético por debajo de 100 μT no provoca ningún efecto nocivo para la salud humana. Pero este tipo de estudio y de rangos está orientado para la red eléctrica, es decir, para la energía que puedan recibir los transformadores de las torres o bases de antenas. Pero no concluye ni explica que ocurre cuando las ondas de RF transmiten a una frecuencia superior como ocurre, por ejemplo, en los routers WiFi que emiten a una frecuencia de 2.4 GHz, y así poder tomarlo como referencia para las transmisiones en 3.5 GHz de la tecnología 5G.

Para ello, tenemos que deducir que, al emitirse estas frecuencias por debajo de 100 mW, el campo magnético que genera es bastante inferior al de una red eléctrica, aunque su frecuencia sea mayor, por lo cual, los límites en μT son más seguros y rara vez se superan las 100 μT que marca la normativa.

Para centrar el estudio de la medición de las emisiones de los campos electromagnéticos, se recurre al organismo IEEE, que se apoya al mismo tiempo en la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), ya que son los organismos que más certifican los dispositivos electrónicos, cuyo marcaje

aparece con las siglas FCC y realizan mediciones y certificaciones de los aparatos utilizados para las comunicaciones sin hilos.

Las estaciones base que utilizan potencias de transmisión⁽³¹⁾, están determinadas por los límites de la FCC y por las necesidades del servicio que prestan. Para los operadores de telefonía móvil, FCC permite una Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) de 500 W por canal, dependiendo de la zona de cobertura y la altura de la torre. Una estación base puede usar hasta 21 canales por sector. Para otros servicios la PIRE máxima puede variar, pero en general esta debe de ser menor de 1000 W. En Europa, la potencia máxima radiada es de 100 mW.

Otro factor que determina el nivel de exposición debido a una estación base es el tipo de antenas que usa. Las antenas de las estaciones base son de dos tipos:

- Omnidireccionales, que emiten por igual en todas las direcciones en el plano del horizonte.
- Direccionales, que emiten hacia el frente.

La PIRE es aquella potencia con la que habría que alimentar una antena isotrópica, para que esta crease la misma intensidad de campo en un punto dado del espacio, que la que crean un transmisor determinado con su antena dirigida en la dirección de máxima radiación hacia ese punto del espacio.

$$\text{PIRE (W)} = P_t \cdot G_{\text{iso}}$$

P_t = Potencia del transmisor en W.

G_{iso} = Ganancia de la antena respecto a la antena isotrópica en veces.

$$\text{PIRE (dBm)} = P_t + G_{\text{iso}}$$

P_t = Potencia del transmisor en W.

G_{iso} = Ganancia de la antena respecto a la antena isotrópica en dB.

- La densidad de potencia que puede ser expresada y referida a la PIRE en la esfera en que se considera:

$$||\text{Densidad de Potencia}|| = \frac{P_t \cdot G_{\text{iso}}}{4\pi d^2}$$

En el caso de la telefonía móvil, el tipo de antena más común, consiste en una agrupación sectorial, con conjuntos de antenas direccionales que transmiten y reciben en sectores separados de unos 120° y están apuntando al horizonte. Estas antenas producen un haz muy estrecho en el plano vertical y de unos 120° en el plano horizontal, por lo que a medida que el haz se aleja de la antena una parte de la energía llega al suelo para dar cobertura dentro del área. La densidad de potencia contenida en este haz decrece al alejarnos de la antena de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia ⁽³¹⁾.

La exposición que una persona pueda recibir de una estación base, depende de la distancia a la que se encuentre de la misma y el ángulo al que esté por debajo del haz principal. A nivel del suelo, el nivel de campo es relativamente pequeño cuando estamos cerca de la base de la torre, debido a que el haz pasa directamente por encima. Para la mayoría de las estaciones, el nivel de campo va aumentando a medida que nos alejamos de la base hasta un nivel máximo, entorno de 50 a 200 metros, donde vuelve a decrecer.

Volviendo al Real Decreto 1066/2001, el Estado español permite que se exponga a las personas a niveles de $450 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en comunicaciones a través de telefonía móvil y hasta $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en comunicaciones UMTS, WiFi, DECT, WiMAX, etc. Estas exposiciones comparadas, por ejemplo, con la de otros países son supera 100 veces la recomendación en Suiza, que es de $4,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

En la siguiente tabla 6, se puede observar los límites actuales recomendados por diversos organismos internacionales, de exposición en las frecuencias actuales de telefonía móvil. En el caso de la tecnología 5G, nos interesan los límites que están por debajo de los 700 MHz, que aún no están evaluados, y los que están por encima de los 2 GHz, que siguen pendiente de evaluación, pero, se puede hacer una aproximación de cómo podrían ser los límites establecidos en un futuro.

En la tabla 7, podemos ver los diversos países y los límites que están establecidos, según las directrices que adopta cada país. Como se observa, no todos los países de la Unión Europea tienen establecidos los mismos límites. Hay algunos que son mucho más restrictivos en cuanto a los valores máximos de exposición. Esto es debido a que cada país realiza basa los criterios en estudios previos establecidos por sus propios asesores, y siempre están por debajo de los valores que marcan los organismos, como FCC o ICNIRP.

Como dato curioso, en la tabla 6, existen distintos valores recomendados por los organismos encargados de emitir las recomendaciones, por ejemplo, para una frecuencia de 900 MHz, ICNIRP recomienda un valor de $450 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ y la FCC recomienda $600 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Tabla 6: Valores recomendados por distintos organismos sobre la exposición a radiaciones no ionizantes. Fuente: Informe SATI Marzo 2012

Organización	Frecuencia		
	900 MHz ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) - (V/m)	1800 MHz ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) - (V/m)	2 GHz ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)
ICNIRP (OMS)	450 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ó 41 V/m	900 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ó 58 V/m	1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
CENELEC (UE)	450 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ó 41 V/m	900 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ó 58 V/m	1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
ANSI	600 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	1200 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	1333 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
IEEE	600 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	1200 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	1333 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
FCC	600 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	

Tabla 7: Valores recomendados por distintos países sobre la exposición a radiaciones no ionizantes. Fuente: Informe SATI Marzo 2012

País	Frecuencia		
	900 MHz ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) (V/m)	1800 MHz ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) (V/m)	2 GHz ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)
España	450 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ó 41 V/m	900 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ó 58 V/m	1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Alemania			
Dinamarca (*)			
Finlandia			
Francia			
Gran Bretaña			
Grecia			
Holanda			
Irlanda (*)			
Portugal			
Suecia (*)			
Austria			
Eslovaquia			
Eslovenia			
Estonia			
Letonia			
Hungría			
Australia			
Nueva Zelanda			
Bélgica	112,5 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	225 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	250 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Italia	2,4 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ó 3 V/m	6 V/m	
Luxemburgo	2,4 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ó 3 V/m	2,4 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ó 3 V/m	2,4 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Suiza	4,2 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ó 4 V/m	6 V/m	
Estados Unidos	600 $\mu\text{W} / \text{cm}^2$	1200 $\mu\text{W} / \text{cm}^2$	1333 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Canadá			
Japón			

(*) Sin legislación específica

Teniendo en consideración las actuales normativas a cerca de las emisiones aceptadas en telefonía móvil convencional, en el siguiente apartado, se estudiará en concreto un tipo de antena de tecnología 5G con una emisión en banda de 3.5 GHz.

6.1 Tecnología 5G y Antenas de emisión 3.5 GHz

En este apartado, se estudia un modelo genérico de antena de fabricante Ericsson que, probablemente sea la utilizada en las pruebas de control autónomo de un minibús en Talavera de la Reina (Toledo), por parte de Telefónica de España.

En concreto, el modelo de antena del fabricante Ericsson, aparece reflejado en un estudio-test de cobertura utilizando la tecnología 5G en banda de 3.5 GHz. El estudio realizado por Ericsson "5G NR Tested 3.5 GHz Coverage Results" ⁽³²⁾ (Resultado del banco de pruebas en 5G Nuevo Radio), se basa en un banco de pruebas realizado con la nueva tecnología 5G, para mejorar la experiencia, la capacidad y la cobertura, sobre todo dentro de edificios.

En lo que se refiere a este estudio, lo interesante es conocer las características técnicas de la antena, así como de las especificaciones, para comprobar si cumple o hay algún posible desvío sobre la normativa vigente en cuanto a emisiones.

La frecuencia utilizada por la antena es de 80 MHz, en la banda de 3.5 GHz. El terminal tiene una potencia de transmisión de 200 mW. En la siguiente tabla 8, podemos ver las características de la antena a modo resumen, donde se observa que la antena tiene una potencia de salida que oscila entre los 5 W y los 200 mW.

En el apartado 6, están definidos los límites máximos de emisión permitidos, éstos son de 100 mW, por lo que esta antena duplica la potencia de salida.

Utilizando los cálculos de distancia de seguridad de campo cercano / campo lejano, comentados en la Parte I de este estudio, apartado 5.2, se realizan los cálculos de distancia de seguridad para la citada antena Ericsson de 3.5 GHz.

Distancia (R_i) sobre el campo cercano / campo lejano de intersección:

$$R_i = \frac{G \cdot \lambda}{8 \cdot \pi} = \frac{501.18 \cdot 0.08571}{8\pi} = 1.71 \text{ m}$$

Distancia (R_s) a 5 mW/cm² del límite de seguridad

$$R_s = \sqrt{\frac{G \cdot P}{40 \cdot \pi \cdot 5}} = \sqrt{\frac{501.18 \cdot 5}{40 \cdot \pi \cdot 5}} = 1.99 \text{ m}$$

En este caso, el valor de R_s es mayor que el valor de R_i , en consecuencia, la distancia de seguridad sería de aproximadamente 2 metros.

Key parameter	System	
Carrier frequency	3.5 GHz	
Bandwidth	80 MHz (3.460 – 3.540 GHz), 1 carrier	
Radio access	OFDM	
Duplex	TDD	
Maximum modulation	256 QAM in DL, 64 QAM in UL	
Subcarrier spacing	75 kHz	
Subframe length	0.2 ms	
Symbol duration	13.3 μ s + CP 0.94 μ s	
Duplex scheme	TDD (DL:UL=48:2)	
	TRP	Terminal
Antenna gain	27 dBi	5 dBi
Total output power	5 W	200 mW
EIRP	64 dBm	24 dBm/direction
Half-power beamwidth (HPBW)	6 deg. in azimuth 12 deg. in elevation	90 deg. in azimuth and elevation per antenna element

Tabla 8: Características técnicas de una antena de emisión 5G de Ericsson

En resumen, como se ha comentado en anteriores casos, es necesario que se profundice e investigue los efectos adversos contra la salud en las emisiones menores de 6 GHz, en concreto, esta emisión de 3.5 GHz, que no cumple la norma establecida de un máximo de 100 mW de potencia. Aunque no hay estudios definitivos ni concluyentes que den indicio a pensar que un campo electromagnético de emisión continua inalámbrica en una frecuencia de 80 MHz a una potencia que oscila entre 5 W y 200 mW, tenga un efecto adverso contra la salud, aunque sí hay recomendaciones de no superar la potencia máxima de 100 mW en Europa.

7. Conclusiones Parte II

A partir del 2020 en adelante, se producirá un hito importante en la historia de las telecomunicaciones inalámbricas, debido a la utilización de nuevas frecuencias de emisión de ondas electromagnéticas, asociadas a dispositivos capaces de transmitir y recibir información en tiempo real con un periodo de latencia mínimo, con el objetivo de interactuar con el usuario y prestar servicios avanzados.

En realidad, la tecnología 5G pretende una mejora en los tiempos de transmisión y latencia de la actual tecnología inalámbrica 4G, implantada en telefonía móvil. Es un paso más en el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas para conseguir velocidades de transmisión cercanas al cable, pero no sólo centradas en la telefonía móvil, sino en el Internet de las Cosas, telemedicina, gestión remota de fábricas y un largo etcétera.

El inconveniente de esta tecnología, es que no existe un acuerdo de transmisión a nivel mundial. Las frecuencias varían dependiendo de los países en donde se están realizando las pruebas y la pre-implantación de la tecnología 5G. Esto también generará que los fabricantes de dispositivos móviles, televisión e incluso vehículos autómatas, tengan que lanzar al mercado dispositivos que soporten estas tasas de transmisión de datos, lo que generará una obsolescencia programada de los anteriores dispositivos.

En cuanto a los temas referentes a la salud, no hay una documentación específica ni recomendaciones exclusivas para la tecnología 5G, es decir, no hay documentación concreta que establezca qué medidas de seguridad se han de tomar para las antenas emisoras y las actuales pruebas no ofrecen datos de las mismas.

Sería recomendable, que las pruebas realizadas lleven asociadas pruebas de emisiones de radiación no ionizante, bien sea por aparatos de medición específicos o bien cumpliendo las actuales recomendaciones.

ANEXO I

Durante la realización de este estudio, se realizó un análisis de las publicaciones en revistas de gran impacto sobre los efectos de las ondas microondas y de las ondas de radio frecuencia y la relación con efectos adversos contra la salud.

En septiembre de 2016, la revista PLOS ONE publicó un estudio: *“1800MHz Microwave Induces p53 and p53-Mediated Caspase-3 Activation Leading to Cell Apoptosis In Vitro⁽³⁷⁾ (La onda microonda en 1800 MHz induce a la activación de caspasa-3 mediada por p53 y p53 que conduce a la apoptosis celular in vitro)*, que aunque este estudio no está asociado a bandas radar anteriormente estudiadas, ni a las actuales bandas de futura implantación 5G, trata sobre la frecuencia de 1800 MHz, que actualmente se utiliza en la telefonía móvil GSM y 4G/LTE.

Es importante destacar la importancia de este estudio, debido a la relación que existe en la aparición de diversos tipos de cáncer y la mutación de la proteína p53. La proteína p53 juega un factor muy importante en la apoptosis (muerte programada) celular, estudios recientes, informan que una exposición de células de mamíferos a radiación de microondas de 1800 MHz puede tener efectos adversos, en este caso, a inducción de la apoptosis celular.

Los pasos que se siguieron para la conclusión de este estudio fueron los siguientes:

- Se midió la intensidad de la radiación de microondas de varios dispositivos con un detector de radiación no ionizante, similar al que aparece en el punto 4.1.1 de la Parte I de este estudio.
- Se utilizaron células de ratón del tipo NIH/3T3 (tipo de células embrionarias de ratón) y células U-87 MG (cultivo de células humanas procedentes del cerebro). Ambos tipos de célula fueron receptoras de radiación no ionizante a una frecuencia de 1800 MHz, con una intensidad de 1209 mW/m²
- Después, se analizaron las células y se comprobó el daño celular en las cadenas de ADN, en concreto, la que codifican la proteína p53 relacionada con la actividad caspasa-3 (la caspasa es una enzima que media en el proceso de apoptosis celular).
- El resultado del análisis concluyó que una exposición a un campo electromagnético, en concreto a la frecuencia 1800 MHz, disminuyó la viabilidad de las células de ratón y humanas y aumentó la actividad enzimática de la captasa-3 y otros procesos relacionados con la oxidación celular, por lo que se concluye que este análisis celular proporciona nuevos conocimientos sobre los mecanismos fisiológicos subyacentes a la apoptosis celular inducida por microondas.

Bibliografía

1. Giancoli, Douglas C. *FISICA VOLUMEN 2 Principios con Aplicaciones*. s.l. : PRENTICE HALL MEXICO, 2010.
2. (OMS), Organización Mundial de la Salud. [En línea] <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatIsEMF/es/>.
3. Huidobro, J. M. Huidobro Moya y J. M. *Radiocomunicaciones : viajando a través de las ondas*.
4. Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas. [En línea] <https://www.boe.es/buscar/pdf/2001/BOE-A-2001-18256-consolidado.pdf>.
5. *ICNIRP Guidelines For Limiting Exposure To The Time-Varying Electric, Magnetic And Electromagnetic Fields (Up To 300 GHz)*. ICNIRP. s.l. : <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>.
6. www.leonardocompany.com. [En línea] <http://www.leonardocompany.com/en/-/atcr-33s-ng>.
7. (BOE), Boletín Oficial del Estado. [En línea] https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-7303.
8. [En línea] <https://www.icnirp.org>.
9. [En línea] https://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/Orders/1996/fcc96326.pdf.
10. Canadá, Gobierno de. [En línea] <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/radiation/safety-code-6-health-canada-radiofrequency-exposure-guidelines-environmental-workplace-health-health-canada.html>.
11. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:179:0001:0021:ES:PDF>. [En línea]
12. Michael Wirth, MSPH, PhD, 1 John E. Vena, PhD et Cols. The Epidemiology of Cancer Among Police Officers. [En línea] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3655699/>.
13. [En línea] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3655699/table/T1/?report=objectonly>.
14. Metrología, Centro Español de. [En línea] <http://www.cem.es/sites/default/files/cem-2011-cemb-082119001-77.3-2011525103721.pdf>.
15. Sachiko Kodera, Jose Gomez-Tames and Akimasa Hirata. BioMedical Engineering OnLine. [En línea] <https://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12938-017-0432-x>.
16. R Paulraj, J Behari and A R Rao. *Effect of amplitude modulated RF radiation on calcium ion efflux and ODC activity in chronically exposed rat brain*. s.l. : <https://pdfs.semanticscholar.org/00ed/7add36f9a4c9360b551c5571f6b33264654c.pdf>.
17. *Possible Electromagnetic Interference with Electronic Medical Equipment by Radio Waves Coming from Outside the Hospital*. Eisuke Hanada, et Cols. 4, 2001, Journal of Medical Systems, Vol. 25.
18. Británica, Enciclopedia. [En línea] <https://www.britannica.com/technology/magnetron>.
19. DC, Departament of Transportation Federal Aviation Administration Washington. [En línea] https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC20-68B.pdf.
20. Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 14, 449–477, 2009. [En línea] <https://pdfs.semanticscholar.org/5379/aadf0ed108025d96a8589d67bd6d3193575a.pdf>.

21. [En línea] <http://www.teslascience.org/pages/tesla.htm#radar>.
22. (3GPP), The 3rd Generation Partnership Project. [En línea] <http://www.3gpp.org>.
23. Digital, Ministerio de Energía Turismo y Agenda. [En línea] http://www.minetad.gob.es/telecomunicaciones/5G/Documents/plan_nacional_5G_en.pdf.
24. Cols., Shengzhi Tan et. Study on dose-dependent, frequency-dependent, and accumulative effects of 1.5 GHz and 2.856 GHz microwave on cognitive functions in Wistar rats. *Nature*. [En línea] <http://www.nature.com/articles/s41598-017-11420-9>.
25. España, Telefónica de. [En línea] https://www.telefonica.com/documents/23283/141414776/Ciudades+Tecnológicas+5G_Présentación_JM+final.pdf/c99e5118-468e-f683-f207-2a4b756f8948?version=1.0.
26. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1128704/>
27. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5008560/>
28. *Exposure of Insects to Radio-Frequency Electromagnetic Fields from 2 to 120 GHz*. Arno Thielens, Duncan Bell, David B. Mortimore, Mark K. Greco, Luc Martens & Wout Joseph. *Nature*.
29. España, Telefónica de. [En línea] <https://www.telefonica.com/es/web/sala-de-prensa/-/telefonica-presenta-el-primer-caso-de-uso-5g-con-conduccion-autonoma-y-consumo-de-contenidos>
30. BJÖRN THORS, THOMAS BOLIN et Cols. IEEEAccess. *Exposure to RF EMF From Array Antennas in 5G Mobile Communication Equipment*. [En línea] <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7546896>.
31. IEEE. [En línea] http://ewh.ieee.org/soc/embs/comar/exposicion_estaciones_base.pdf
32. https://www.ericsson.com/assets/local/publications/conference-papers/5g_nr_sub6_coverage.pdf
33. *Physical Evaluation of Personnel Exposed to Microwave Emanations*. Barron, C. I. Love, A. A. Baraff, A. A. 2 de 1956, IRE Transactions on Medical Electronics IRE Trans. Med. Electron. Medical Electronics, IRE Transactions on PGME-4.
34. Systems, CISCO. [En línea] https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf.
35. Europa, Comisión de la Unión. [En línea] http://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=47917.
36. Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud. [En línea] <http://ccars.org.es/noticias/183-el-ccars-protagoniza-una-jornada-sobre-tecnologia-5g-en-segovia>.
37. Fuqiang Xing, Qiuqiang Zhan et Cols. 1800MHz Microwave Induces p53 and p53-Mediated Caspase-3 Activation Leading to Cell Apoptosis In Vitro. *PLOS ONE*. [En línea] <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0163935>.