

**Informe sobre  
radiofrecuencias y salud  
(2013-2016)**

**COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR  
EN RADIOFRECUENCIAS Y SALUD**

©2017 by *Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS).*  
*Apdo. Correos 155, 28230 Las Rozas (Madrid)*  
*comunicacion@ccars.org.es*  
*ccars.org.es*

**Editado por:** *Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación (COIT)*  
*Almagro 2,1º Izqda., 28010 Madrid*  
*secretariatecnica@ccars.org.es*

**Edición:** Enero 2017

**Impresión:** AINERGESA SERVICES S.L, LANGAYO

**ISBN:** 978-84-936910-3-5

**Deposito Legal:** M-2387-2017

*INFORME SOBRE  
RADIOFRECUENCIAS Y SALUD  
(2013-2016)*

Enero 2017



## PRESENTACIÓN

Desde enero de 2016 el Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS) ha iniciado una nueva etapa. El Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación (COIT) ha asumido la dirección y coordinación de las actividades del CCARS que hasta esa fecha eran desarrolladas por la Fundación General de la Universidad Complutense.

En esta nueva etapa, el CCARS pretende consolidar su trayectoria como el principal referente en España en materia de evaluación del estado de la ciencia sobre los efectos de las emisiones radioeléctricas sobre la salud. Nuestro objetivo es facilitar a la sociedad una información basada en las mejores evidencias científicas desde una posición libre e independiente que tenga en cuenta la dimensión científica, tecnológica, jurídica, institucional y social de exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias.

El CCARS asume la responsabilidad de colaborar con todas las instituciones y organizaciones, públicas y privadas, interesadas en la evaluación de riesgos para la salud y la exposición a radiofrecuencias. Ofrece su experiencia y conocimiento a los medios de comunicación y a los responsables políticos en los ámbitos estatal, autonómico y local para informar de forma clara y sencilla.

El presente documento supone la quinta edición del Informe del CCARS y comprende el período de enero de 2013 a junio de 2016.

Actualmente, la composición del Comité es la siguiente:

- Presidente: Sr. D. Francisco Javier Lafuente Martínez, ex Jefe de Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital General Universitario Gregorio Marañón de la Comunidad Autónoma de Madrid.
- Presidente de Honor: Emilio Muñoz Ruiz, profesor de Investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas en el área de Biología y Biomedicina.
- Secretario General: Miguel Ángel García García-Tuñón, investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Director Científico: Francisco Vargas, médico epidemiólogo y consejero técnico del Ministerio de Sanidad.
- Vocales:
  - Antonio Hernando Grande, Catedrático de magnetismo de la Universidad Complutense de Madrid desde 1980 y Director del Instituto de Magnetismo Aplicado de la Universidad Complutense de Madrid.
  - Agustín Gregorio Zapata, Doctor en Biología y Catedrático de Biología Celular de la Universidad Complutense de Madrid.

- Fernando Las-Heras Andrés, Ingeniero de Telecomunicación, Doctor Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid y Catedrático de Universidad en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Oviedo
- José Ignacio Alonso Montes, Ingeniero de Telecomunicación y Doctor Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid, y Catedrático en el Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones de la UPM.
- Narcís Cardona, Ingeniero de Telecomunicación por la UPC, Doctor Ingeniero de Telecomunicación y Catedrático de la Universitat Politècnica de València.
- Rafael Herranz Crespo, Licenciado en Medicina y Especialista en Oncología Radioterápica por la Universidad Complutense de Madrid, Profesor Universitario en las Universidades de Zaragoza, del País Vasco, y Complutense de Madrid desde 1973 hasta 2014.
- Ricardo de Ángel, Doctor en Derecho por la Universidad de Granada y Catedrático de Derecho Civil en la Facultad de Derecho de la Universidad de Deusto.

Aunque el CCARS asume la responsabilidad colectiva del contenido de este informe, la redacción de sus diferentes capítulos es responsabilidad de su autor o autores y no representan, necesariamente, la posición de la institución para la que trabajan. La distribución de la autoría de cada capítulo es la siguiente:

El prólogo de este informe que recoge una introducción histórica a los campos electromagnéticos y su interacción con la materia biológica, ha sido elaborado por Antonio Hernando.

El capítulo 3 describe la metodología utilizada para realizar este informe y ha sido elaborado por Miguel Ángel García.

En el capítulo 4 sobre Dosimetría y evaluación de la exposición: el apartado 4.1 sobre las RF de las nuevas redes de telefonía móvil, ha sido redactado por Narcis Cardona; el apartado 4.2 sobre sistemas inalámbricos y efectos sobre la salud y el apartado 4.6 sobre normativa y niveles de exposición en España han sido elaborados por Jose Ignacio Alonso y el apartado 4.3 sobre campos electromagnéticos en milimétricas y Terahercios ha sido consignado por Fernando Las-Heras. En el apartado 4.4 sobre sobre las aplicaciones médicas de las RF y la exposición laboral a CEM, RD 299/2016 y Directiva 2013/35/UE han intervenido Rafael Herranz y Javier Lafuente, respectivamente. El apartado 4.5 sobre compatibilidad electromagnética de las RF ha sido redactado por Francisco Vargas.

El capítulo 5, que aborda los estudios experimentales en células y animales, ha sido elaborado por Agustín Gregorio Zapata.

Los estudios clínicos y epidemiológicos se abordan en el capítulo 6. Los apartados 6.1 Tumores cerebrales y 6.2 Hipersensibilidad electromagnética, han sido redactados por Francisco Vargas; mientras que el apartado 6.3, correspondiente a los Efectos sobre la reproducción y el desarrollo, ha sido redactado por Javier Lafuente y Miguel Ángel García.

La novedades normativas y el análisis de las principales resoluciones judiciales sobre riesgos derivados de la exposición a CEM, han sido analizadas, en el capítulo 7, por Ricardo de Ángel Yagüez.

El capítulo 8, sobre los Proyectos de investigación en RF, ha sido redactado por Francisco Vargas Marcos.

El resumen ejecutivo, presentación, las recomendaciones y las conclusiones han sido redactados por el Presidente, Secretario General, Director Científico y la Secretaría Técnica General del COIT, a partir de las aportaciones de todos los miembros del CCARS.

***Este informe está dedicado a la memoria de la Dra. Patricia Crespo del Arco tristemente fallecida en 2015 y que fue miembro del CCARS desde su fundación.***





## Índice de contenido

PRESENTACIÓN .....	5
1. RESUMEN EJECUTIVO .....	11
2. PRÓLOGO .....	15
3. METODOLOGÍA.....	31
4. DOSIMETRÍA Y EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN .....	35
4.1. Nuevas fuentes de Radiofrecuencia .....	37
4.2. Sistemas inalámbricos y efectos para la salud .....	44
4.3. Campos electromagnéticos en bandas de milimétricas y Terahercios (THz) .....	54
4.4. Aplicaciones médicas y exposición laboral a RF.....	60
4.5. Exposición a Radiofrecuencias y Compatibilidad electromagnética .....	69
4.6. Normativa y niveles de exposición en España.....	74
5. ESTUDIOS EXPERIMENTALES EN CÉLULAS ANIMALES .....	79
5.1. Percepción de los campos magnéticos por los organismos vivos .....	79
5.2. Efectos de los CEM sobre la biología de las células.....	81
5.3. Efectos de los CEM sobre las células madre embrionarias y adultas .....	82
5.4. Efectos de los CEM sobre distintos sistemas fisiológicos .....	84
5.5. Mecanismos celulares y moleculares de los efectos biológicos de los CEM .....	85
5.6. Conclusiones .....	86
6. ESTUDIOS CLÍNICOS Y EPIDEMIOLÓGICOS .....	87
6.1. Tumores Cerebrales .....	87
6.2. Hipersensibilidad Electromagnética.....	99
6.3. Efectos sobre la reproducción .....	114
7. ASPECTOS JURÍDICOS SOBRE RIESGOS DERIVADOS DE EXPOSICIÓN A CEM117	
7.1. Marco normativo .....	117
7.2. Jurisprudencia .....	124
7.3. Conclusiones .....	127
8. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN SOBRE RADIOFRECUENCIAS .....	129
9. CONCLUSIONES.....	135
10. RECOMENDACIONES .....	139
11. REFERENCIAS .....	141
12. GLOSARIO, SÍMBOLOS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS .....	175
13. COMPOSICIÓN CCARS .....	189
ANEXO 1: PÁGINAS CONSULTADAS .....	195

## Índice de tablas

Tabla 1. Palabras clave para la búsqueda de publicaciones.....	33
Tabla 2. Límites de exposición a RF a frecuencias usadas por las redes Wi-Fi.....	46
Tabla 3. Niveles de potencia máxima y alcances típicos para dispositivos Bluetooth.....	47
Tabla 4. Niveles de Referencia para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (0Hz-300GHz, valores RMS) .....	76

## Índice de figuras

Figura 1. Franz Anton Mesmer.....	16
Figura 2. El mesmerismo permanece vivo en 2014.....	17
Figura 3. Líneas de campo magnético creado por una barra de acero imanada .....	20
Figura 4. Líneas de campo magnético creado por una barra de magnetita.....	20
Figura 5. Se representa el dipolo magnético generado por el spin del protón.....	23
Figura 6. CEM en una Resonancia Magnética (RM) .....	24
Figura 7. Origen de la conocida como piedra de Magnes. ....	30
Figura 8. Número de estaciones base que superan un porcentaje de densidad de potencia recibida respecto al límite de la ICNIRP .....	41
Figura 9. Tipos de marcapasos implantables.....	72

## 1. RESUMEN EJECUTIVO

El principal objetivo de este informe es actualizar las evidencias científicas sobre radiofrecuencias y salud publicadas en el período comprendido entre enero de 2013 y junio de 2016.

La metodología utilizada es similar a la de informes anteriores. Se han priorizado para su inclusión en el proceso de revisión los estudios mejor diseñados y que tienen una elevada calidad metodológica. Este tipo de estudios aportan información objetiva y relevante para establecer directrices y recomendaciones sobre los efectos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia sobre la salud humana.

Es necesario recordar que no todos los estudios que se publican tienen el mismo valor científico. El CCARS ha valorado el peso y la calidad de la evidencia de cada estudio seleccionado para su revisión. Aunque la búsqueda ha sido exhaustiva, algunos artículos no han sido citados por su baja calidad metodológica.

Son numerosos los estudios observacionales que obtienen información sobre los supuestos riesgos de las radiofrecuencias (antenas de telefonía móvil y uso del teléfono móvil) mediante encuestas y entrevistas. Los resultados de este tipo de estudios son muy subjetivos y parciales, carecen de evaluaciones objetivas de la exposición a los campos electromagnéticos y están sometidos a numerosos sesgos que hacen irrelevantes sus conclusiones para la evaluación y gestión del riesgo. Lo mismo puede decirse de otros estudios (experimentales y epidemiológicos) que no aportan datos sobre dosimetría, no utilizan un grupo control, o no permiten su replicación.

En esta edición del informe se han incluido nuevos capítulos que revisan las evidencias sobre aspectos novedosos como la redes de telefonía de cuarta generación, las aplicaciones de los sistemas inalámbricos (Wi-Fi), los campos electromagnéticos en bandas de milimétricas o Terahertzios (escáneres de aeropuertos), la compatibilidad electromagnética y los dispositivos implantables, el uso de las RF en medicina y la legislación sobre exposición laboral a campos electromagnéticos.

El análisis crítico de las evidencias respalda que no existen razones técnicas ni sanitarias que justifiquen la imposición arbitraria y discrecional de límites de exposición más exigentes que los recomendados por la OMS-ICNIRP y la Unión Europea. La aplicación de límites más restrictivos implicaría aumentar el número de antenas con el consiguiente impacto visual, social y económico.

Los niveles de exposición de la población a las RF de los dispositivos Wi-Fi, que están bien estudiados en condiciones realistas de funcionamiento, son muy inferiores a los recomendados por las agencias y comités científicos (OMS-ICNIRP, FCC y el IEEE). Las conclusiones y recomendaciones del anterior informe del CCARS (CCARS, 2013) sobre las redes Wi-Fi siguen siendo válidas.

En relación con los escáneres de los aeropuertos (funcionan con bajos niveles de potencia, poca penetración y exposición superficial) y los sensores que usan tecnologías inalámbricas (contadores inteligentes, IoT, RFID, etc.) las dosimetrías realizadas demuestran que los límites de exposición son muy inferiores a los recomendados como seguros.

Existe suficiente evidencia para afirmar que el uso del teléfono móvil es seguro en el ámbito hospitalario siempre que se mantenga una distancia de seguridad (1 metro) entre los dispositivos y aparatos médicos que se usan para la vigilancia y el tratamiento de los pacientes. Respecto a los portadores de dispositivos implantables (ej. marcapasos cardíaco), el uso del teléfono móvil es seguro aunque debe mantenerse una distancia de seguridad de 15 cm. Las antenas de telefonía móvil no producen interferencias con estos dispositivos.

En este periodo se ha promulgado diversa normativa de elevado interés para la evaluación y gestión de los campos electromagnéticos, entre la que destaca el Real Decreto 299/2016, que ha incorporado a nuestra legislación la Directiva 2013/35/UE.

Esta nueva legislación ha establecido niveles de exposición menos exigentes que los previstos en la anterior propuesta europea (Directiva de 2004/40/CE) sobre exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos). Al mismo tiempo, se superan los problemas planteados por algunos sectores industriales y por los profesionales sanitarios que trabajan con procedimientos médicos de diagnóstico mediante resonancia magnética.

En relación con las emisiones de las estaciones base de telefonía móvil, el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital realiza las inspecciones anuales que permiten verificar el cumplimiento de los límites de exposición vigentes. Según el último informe publicado (noviembre de 2016) se ha constatado que “Los niveles de intensidad de campo eléctrico (V/m) y niveles de densidad de potencia ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ), medidos por los servicios de Inspección de Telecomunicaciones de la Administración, se encuentran muy por debajo de los niveles de referencia establecidos en el Real Decreto 1066/2001”. Durante el año 2015 el valor promedio fue de  $0,89\mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

Las certificaciones sobre el cumplimiento de los límites de los niveles de emisión fueron realizadas correctamente y permitieron comprobar que los niveles de exposición en el entorno de las estaciones, donde pueden permanecer habitualmente las personas, se encontraban por debajo de los límites establecidos.

En cualquier caso, persisten los problemas metodológicos que afectan a la validez de los estudios experimentales en células y animales, por lo que es necesario mejorar los diseños, estandarizar los protocolos, aumentar el número de muestras y evaluar de forma objetiva la dosimetría utilizada. De esta forma, se podrán establecer comparaciones más fiables entre los distintos estudios publicados que eviten la pérdida de tiempo, y recursos, tanto materiales como humanos.

Los resultados de los estudios epidemiológicos en el periodo revisado confirman que no se observa un riesgo más elevado de tumores cerebrales en usuarios de teléfonos móviles. Esta conclusión coincide con las de otras revisiones sistemáticas y evaluaciones de riesgo realizadas en el mismo periodo por Agencias y Comités internacionales competentes en la evaluación de los efectos de los campos electromagnéticos sobre la salud.

En relación con el informe anterior del CCARS, publicado en el año 2013, no se observa un aumento del riesgo de tumores cerebrales en personas expuestas a las Radiofrecuencias emitidas por las antenas de telefonía móvil, radio y televisión.

La evolución de las tasas de incidencia de tumores cerebrales en los países desarrollados no respalda la relación entre el uso del teléfono móvil y la percepción de un mayor riesgo de padecer estos tumores.

Persiste, todavía, en algunos segmentos de la población, un cierto y contradictorio rechazo a las antenas de telefonía móvil y las redes Wi-Fi. A pesar de que su instalación es imprescindible si se quiere recibir un servicio de calidad, esta aversión no es la misma respecto al uso del teléfono móvil, que está plenamente integrado en nuestra vida diaria.

Sin embargo, en algunas personas las creencias sobre hipotéticos efectos de las RF emitidas por las antenas de telefonía móvil se convierten en un miedo, injustificado, a estas instalaciones. Estas personas alegan padecer la denominada Hipersensibilidad Electromagnética, la cual no es una enfermedad reconocida en la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-OMS), por lo que no existe un protocolo validado y aceptado por la comunidad científica para su diagnóstico y tratamiento.

Los estudios clínicos controlados confirman que no hay una relación causal entre la exposición a las diversas fuentes de radiofrecuencia y los síntomas de Hipersensibilidad Electromagnética. Las personas que declaran padecer estos síntomas no son capaces de distinguir, en condiciones experimentales, si están expuestas o no a campos electromagnéticos.

Las nuevas evidencias publicadas confirman que no hay efectos adversos para la salud derivados de la exposición a las Radiofrecuencias emitidas por las antenas de telefonía móvil, transmisión de radio y televisión y sistemas inalámbricos (Wi-Fi) utilizados en el trabajo, la escuela o el hogar. A pesar de ello, puede afirmarse que se han producido pocos avances en el grado de conocimiento e información de la población sobre los efectos de los campos electromagnéticos. Para mejorar la situación actual y realizar de forma eficiente esta labor, es necesario aumentar la financiación pública y privada de las acciones de comunicación sobre los proyectos de investigación, desarrollo e innovación sobre los efectos de los campos electromagnéticos.

La introducción de nuevas tecnologías y aplicaciones de los sistemas de telecomunicación debe estar acompañada de una labor pedagógica sobre sus implicaciones y consejos sobre un uso seguro (conducción de vehículos, medios de transporte), respetuoso (respetar la intimidad, reducir el volumen en los medios de transporte y lugares de ocio) y responsable, especialmente en la infancia y la adolescencia (en el ámbito escolar, redes sociales, internet, etc.).

La información y la educación deben ser objetivas y respaldadas por las mejores evidencias científicas aportadas por las Agencias y Organismos Nacionales e Internacionales que cuentan con acreditada experiencia, responsabilidad y competencia.

El compromiso de esta tarea exige la coordinación y participación de todas las partes implicadas: autoridades estatales, autonómicas y locales; colegios profesionales; sociedades científicas; compañías operadoras o comercializadoras; asociaciones de usuarios y consumidores; padres y educadores, etc., mediante un diálogo abierto y transparente.

## 2. PRÓLOGO

### Imanes, magnetismo y el cuerpo humano

A finales del siglo XV nació en Suiza un ciudadano llamado Philippus Aureolus Threophraustus Bombast von Hohenheim. Cuando murió en Salzburgo cincuenta años más tarde era famoso en Europa, aunque con un nombre más simple: Paracelso. Aparte de sus contribuciones a la medicina, entre las que destaca las derivadas de su sensibilidad a la importancia de la química en el funcionamiento del cuerpo humano, fue pionero en la defensa del poder terapéutico de los imanes. Su argumento se basaba en la convicción de que si los imanes eran capaces de extraer el hierro, también podrían extraer las enfermedades del cuerpo. Describió y utilizó diversos métodos para extraer la enfermedad y conectarla a tierra y tuvo éxito en algunos intentos que probablemente fueran debidos más al poder de la imaginación que a las propiedades curativas de los imanes.

Como indica James D. Livingston en su interesante y sugestiva obra: *“Driving force: the natural magic of magnets”*, Paracelso sabía bastante del poder de la mente como pone de manifiesto la siguiente cita: *“El espíritu es el conductor, la imaginación el instrumento y el cuerpo el material plástico. La atmósfera moral que rodea al paciente puede influir enormemente en el curso de su enfermedad. La imaginación produce efecto”*. No es de extrañar que el psiquiatra Carl Jung escribiera: *“Vemos en Paracelso, no solo al pionero en el campo de la medicina química sino también en el de la ciencia empírica de psicología de la salud”*.

Como es comprensible, Paracelso fue una figura muy controvertida en su tiempo lo que no impidió que sus escritos tuvieran una gran influencia durante los siglos siguientes. El desarrollo posterior de los materiales magnéticos permitió en el siglo XVIII la fabricación en Inglaterra de imanes permanentes de acero al carbono cuya imanación de saturación, 20.000 G, era muy superior a la de los imanes naturales de magnetita y maghemita, 4.000 G. Tal descubrimiento estimuló e incentivó un renacimiento del interés por el poder terapéutico de los imanes. El jesuita Maximilian Hell, profesor de Astronomía en la Universidad de Viena, trataba a algunos pacientes con imanes moldeados con la forma de la zona enferma. En 1774, un médico vienés amigo de Hell utilizó imanes para intentar curar a una señora de ataques nerviosos. El éxito que tuvo con el tratamiento sirvió de base para que se diseminara intensamente su teoría sobre el “magnetismo animal”.

El nombre del médico era Franz Anton Mesmer y su teoría originó profundas controversias. Tras curar a la dama explicó su método, basado en la colocación de un imán de herradura en su tobillo y otro con forma de corazón sobre el pecho. Rápidamente, la paciente experimentó una sensación de flujo de calor ascendiéndola desde los pies como si fuera de carbón ardiente y de la misma forma desde los dos lados del pecho hasta la coronilla, hasta que se hacía insensible a los imanes. Los síntomas desaparecían y se recuperaba totalmente del malestar.



**Figura 1. Franz Anton Mesmer**

Según Mesmer, en el interior del cuerpo existía un fluido universal cuyas mareas podrían controlarse artificialmente. En el interior del cuerpo existían polos de igual o distinto signo cuyo efecto se reforzaba o se destruía. El magnetismo animal existía dentro de cada uno y los imanes externos, pertenecientes al dominio del magnetismo mineral, solo servían de canales para regular el flujo de fluido universal entre el exterior y el paciente. Entre 1775 y 1776 Mesmer visitó Austria, Suiza, Baviera y Hungría y tuvo un enorme éxito ya que la promesa de curar enfermedades sin bisturís ni pastillas siempre atrajo mucho al público. Un sordo comenzó a oír tras la imposición de manos de Mesmer y la afluencia de enfermos fue creciendo de modo que le resultaba imposible recibir a todos por lo que creó grupos para terapia colectiva durante cuyas sesiones los pacientes tocaban materiales imanados. El método fue evolucionando y los imanes perdieron progresivamente importancia frente a los gestos dramáticos y la imposición de manos del maestro.



Mesmer alcanzó la cumbre de su popularidad en París. No deja de ser paradójico que, en el centro neurálgico del Siglo de las Luces y de la Ilustración, una teoría tan poco iluminadora como la de Mesmer encontrara tan mágica acogida. Un ejemplo de su popularidad se puede apreciar en la ópera cómica de Mozart “*Cossi fan tutte*” estrenada en Viena en 1790. Al finalizar el acto primero, dos muchachos jóvenes pretenden tomar veneno como parte de una ficción para probar la lealtad de sus novias. Una servidora de las jóvenes dice entonces que conoce a un médico maravilloso con los enfermos, conocido por obrar milagros sin medicinas ni cirugías. Vuelve disfrazada de médico y portando un enorme imán bajo su vestido. Tocando a los dos jóvenes con el imán canta: “*Aquí y allí un toque de imán, la piedra de Mesmer, que nació en Alemania y se hizo famoso en Francia*”. Esta escena que requiere cierta aclaración hoy, se entendía perfectamente en 1790. También en *Los Miserables*, Víctor Hugo caracteriza a uno de los personajes por su hábito de dormir según la orientación magnética para que sus corrientes magnéticas internas llevaran la dirección correcta.

El éxito de Mesmer se vio frenado por la ortodoxia académica. En 1784, Luis XVI estableció una Comisión Real para evaluar la teoría del “magnetismo animal”. De ese mismo año data la conocida carta de Lafayette a su camarada de armas, George Washington, en la que le expone el descubrimiento del magnetismo animal por parte de Mesmer al que califica de gran descubrimiento. La Comisión Real estuvo formada por Antoine Lavoisier, Joseph Guillotin y Benjamin Franklin. El trabajo de esta Comisión ha sido calificado por Stephen Jay Gould como “*un documento trascendental en la historia de la razón humana*”. La Comisión indicó que el fluido universal no presentaba propiedades detectables. Los resultados que encontraron tras sucesivos experimentos rigurosos mostraron que todos los efectos observados podían ser atribuibles al poder de la sugestión. Al llegar a París, justo después de publicarse el informe de la Comisión, Thomas Jefferson escribió en su diario: “*El magnetismo animal está muerto y ridiculizado*”. Ya en *Las aventuras de Huckleberry Finn*, Mark Twain caracteriza a uno de los embaucadores de la obra por ser divulgador del mesmerismo.

A día de hoy, podemos decir que el magnetismo animal está ridiculizado pero no muerto. Basta leer en Internet los anuncios terapéuticos de colchones, duchas, pulseras y demás objetos magnéticos para persuadirse de que la labor de Mesmer mantiene una clientela entusiasta. En Europa, varios grupos de curanderos con imanes evolucionaron hacia la hipnosis. De hecho, se cree que muchos de los trances ocasionados por Mesmer en sus pacientes constituían lo que a día de hoy conocemos como trance hipnótico.



**Figura 2. El mesmerismo permanece vivo en 2014. Foto tomada en Francia este año. (gentileza del Dr. JuanRojo)**

Como ha indicado uno de sus biógrafos, Vincent Buranelli, la tragedia de Mesmer es que descubrió y provocó hechos ciertos, la hipnosis, con una teoría falsa, el magnetismo animal. Añade Buranelli que Mesmer fue un Colón de la moderna psicología. Ambos fueron guiados a un mundo extraño y nuevo con el uso de los imanes y ambos eran desconocedores de donde habían realmente aterrizado.

### 2.1. Nacimiento del Electromagnetismo

Es importante resaltar que en el intervalo de tiempo que transcurre entre Paracelso y Mesmer, concretamente en 1600, aparece el primer tratado científico sobre todo lo que de magnetismo era conocido hasta entonces. Este libro, escrito por William Gilbert, médico de la reina Isabel I de Inglaterra y titulado “*De Magnete*”, aparte de ser considerado el primer tratado científico serio, es pionero en indicar explícitamente en qué consiste el método científico. En el prólogo del libro escribe Gilbert: “*Las razones poderosas se obtienen de los experimentos seguros y de los argumentos demostrados mas que de conjeturas probables y de las opiniones de filósofos especuladores*”. Galileo escribió: “*Admiro y envidio a Gilbert por cómo una concepción tan estupenda pudo llegar a su mente. Pienso que es merecedor de extraordinario aplauso por las muchas nuevas y verdaderas observaciones que hizo*”.

El comienzo del libro de Gilbert recuerda al célebre Capítulo I del libro de Santiago Ramón y Cajal sobre *Reglas y Consejos sobre Investigación Científica* donde se lee:

*“las principales fuentes de conocimiento son la observación, la experimentación y el razonamiento inductivo y deductivo. Aquella singular manera de discurrir de pitagóricos y platonianos, que consiste en explorar nuestro propio espíritu para descubrir en él las leyes del Universo ya solo inspira sentimientos de conmiseración y de disgusto. Conmiseración, por el talento consumido persiguiendo quimeras; disgusto por el tiempo y trabajo lastimosamente perdidos. La historia de la civilización demuestra hasta la saciedad la esterilidad de la metafísica en sus reiterados esfuerzos por adivinar las leyes de la naturaleza. Con razón se ha dicho que el humano intelecto de espaldas a la realidad y concentrado en sí mismo es impotente para dilucidar los mas sencillos rodajes de la máquina del mundo y de la vida”* ”.

Esta dualidad de mentalidad, la científica pura representada por Gilbert y la más literaria representada por Mesmer, es apreciable perfectamente en nuestros días. Desde 1600 hasta hoy el conocimiento científico del Magnetismo ha progresado de forma espectacular. Sin embargo, el conocimiento de toda la biología encerrada en el cuerpo humano sigue siendo limitadísimo. Pero el método científico todavía no se ha aplicado en toda su profundidad posible al estudio del funcionamiento del cerebro humano, sencillamente porque no se sabía cómo hacerlo sin agresividad intolerable. Los experimentos seguros de los que hablaba Gilbert son inexistentes en lo que respecta a la fisiología cerebral y lo serán hasta que nuevas tecnologías permitan observar lo que hasta ahora fue imposible. Normalmente los literatos modernos escriben su fábula mejor o peor trabada basándose en este desconocimiento de la biología humana. Lógicamente, como sucedía con Paracelso o con Mesmer, el relato contiene algo de posible verdad.

Aunque a veces, por ignorancia, también se atreven a especular con el funcionamiento del Magnetismo, lo que es más difícil de excusar. Los científicos, por el contrario, intentan hacer modestamente experimentos seguros con campos magnéticos y materia viva, precisamente para aprender cómo funciona la materia viva.

Al no conocerse con un mínimo de detalle el funcionamiento global de los distintos órganos que constituyen el cuerpo humano, lo que se diga sobre su magnetismo será verificable en algunos casos pero no en otros y cuando no se puede verificar si una teoría es falsa significa que no es científica, al menos no lo es en el sentido de Popper. Hay hechos que si conocemos con certeza. Por ejemplo, el hidrógeno que contiene el cuerpo, en el agua y en las grasas, tiene un momento magnético nuclear asociado al spin del protón. Sabemos que el flujo sanguíneo al arrastrar iones produce campos magnéticos y sabemos que la magnitud del campo que produce el bombeo continuo del corazón es inferior a una millonésima de gauss. También conocemos con certeza que las corrientes postsinápticas mediante las cuales se comunican las señales entre neuronas producen campos magnéticos que en la superficie externa del cráneo alcanzan valores del orden de milmillonésimas de gauss, es decir, la milésima parte del campo producido en el pecho por el latido del corazón.

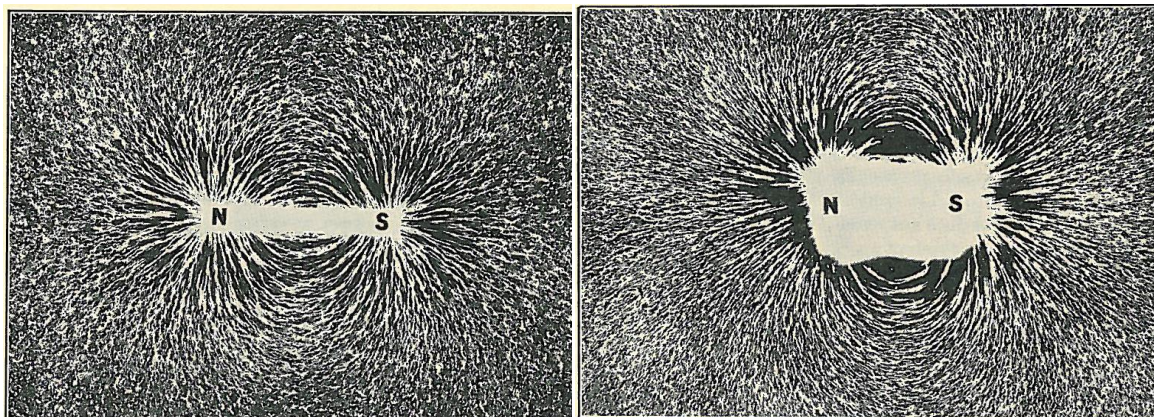
La medicina utilizó desde muy antiguo imanes para extraer de las vías digestivas y respiratorias, principalmente en niños, objetos extraños susceptibles de ser atraídos por el campo magnético. También parece ser generalizada la observación de que algunas fracturas óseas aceleran su consolidación cuando son sometidas a campos magnéticos locales, aunque se desconoce, no obstante, que proceso o reacción bioquímica o biofísica concreta se ve afectada por el campo. Mucho se ha especulado sobre los posibles mecanismos celulares sensibles a los campos magnéticos, pero algunos como los citados anteriormente como ciertos han ratificado su certeza al ser constantemente utilizados en técnicas ya hoy familiares como la resonancia magnética nuclear, o en vías de hacerse habituales como la magnetoencefalografía.

Otros, sobre los que mucho se ha discutido, permanecen en el rango definido por Gilbert como generados por las opiniones de filósofos especuladores. Si bien una visión científica no permite despreciar cualquier probabilidad razonable de existencia de lo desconocido, huye con más urgencia de establecer como científico lo que sencillamente a día de hoy carece de esa propiedad, aunque con el aumento de la experimentación adecuada pudiera adquirirla en el futuro.

El conocimiento del Magnetismo se ha basado en la observación llevada a cabo desde los albores de la Humanidad de la atracción producida por la piedra imán sobre los minerales de hierro. La primera sistematización de todos los fenómenos observados se realizó con la edición del libro de Gilbert, "*De Magnete*" y durante el siglo XIX los experimentos rigurosos de Coulomb, Oersted, Ampere, y Faraday entre otros permitieron a Maxwell sintetizar los fenómenos electromagnéticos en cuatro leyes que resumen, mediante ecuaciones diferenciales, los resultados de todos los experimentos eléctricos y magnéticos realizados hasta el día de hoy.

Las ecuaciones de Maxwell superaron intactas la crítica profunda de la física clásica que removió sus cimientos al comienzo de siglo XX. Estas ecuaciones predicen con precisión cuantitativa, casi inhumana, los resultados de los experimentos de electromagnetismo más refinados que abarcan desde la astrofísica a las partículas elementales. La capacidad de predicción cuantitativa es el sello irrenunciable de cualquier conocimiento que aspire a ser científico.

Con el desarrollo de la Mecánica Cuántica se abrió una ventana al mundo subatómico y se pudo saber que el magnetismo de la materia es fundamentalmente debido a los spines de los electrones y al de los nucleones, protones y neutrones. El momento magnético del electrón es dos mil veces superior al de protones y neutrones. También existen contribuciones al magnetismo de las corrientes eléctricas debidas al movimiento orbital de los electrones. Hoy conocemos con certeza cómo el campo magnético actúa sobre átomos libres y sobre átomos en moléculas y en sólidos sencillos, pero seguimos sin encontrar una explicación sencilla, con capacidad predictiva, del carácter magnético del hierro.



**Figura 3.** Líneas de campo magnético creado por una barra de acero imanada. Las líneas se generan por limaduras de hierro

**Figura 4.** Líneas de campo magnético creado por una barra de magnetita.

## 2.2. La dificultad intrínseca del Bioelectromagnetismo

Cuando los efectos magnéticos conocidos, o no discutidos por ningún investigador, tratan de interpretarse en la materia viva, el nivel de dificultad aumenta cualitativamente de forma brutal. Consecuentemente, la influencia que los campos electromagnéticos tienen o puedan tener sobre los procesos biológicos constituye un tema de extrema dificultad de estudio. Ya hemos visto que nuestro nivel de conocimiento no alcanza a explicar con sencillez por qué el hierro es magnético.

El funcionamiento preciso de la fotosíntesis, los plegamientos y movimientos de las macromoléculas de proteínas en el citoplasma, la armonía de todos los procesos que intervienen en el desdoblamiento de los cromosomas durante la mitosis, o la regulación química de las segregaciones hormonales son ejemplos cuya comprensión profunda es objetivo de la investigación de vanguardia a día de hoy.

Aunque el estudio de la influencia de los campos electromagnéticos sobre estos procesos pudiera, en algún caso, arrojar luz sobre su propia naturaleza, no es de extrañar que en la mayoría de los casos sea extremadamente difícil reproducir resultados experimentales y más aún interpretar las posibles modificaciones debidas a la acción de los campos. La dificultad experimental emerge de la influencia desconocida de múltiples variables, esquivas al control, en los procesos bioquímicos. Más arduo resulta aún explicar las posibles modificaciones inducidas por los campos en un proceso biológico determinado como consecuencia de las perturbaciones producidas por los campos en las diferentes etapas que constituyen tal proceso cuando generalmente se desconocen los detalles relevantes de dichas etapas.

Si se lee la literatura relativa al efecto de los campos electromagnéticos sobre el fenómeno de la fotosíntesis, se podrá tener una panorámica magnífica de contemplación de la dificultad referida. Uno de los fenómenos que más han invocado los investigadores en bioelectromagnetismo como posible causa de alteraciones de procesos biológicos por los campos electromagnéticos se refiere a la cinética de radicales libres.

La transformación de la energía luminosa en el aparato fotosintético de las bacterias está basada en la transferencia de electrones inducidos por la luz a lo largo de una cadena de oxidación contenida en la membrana tilacoidal. El electrón proviene de un donador de espín neto nulo,  $^1D$ , que es probablemente un dímero de bacterioclorofila y que es excitado por los fotones a un estado  $^1D^*$ . El aceptor,  $^1A$ , es supuestamente bacteriofitina también de espín total nulo. La reacción inicial es entonces:  $^1D^* \rightarrow e^-$  y al perder el electrón el donador se transforma en un complejo de espín  $1/2$  y de carga positiva  $+e$  ( $+e$  es la carga opuesta a la del electrón  $1.6 \cdot 10^{-19} C$ ) que denominamos  $^2D^+$ , según  $^1D^* \rightarrow e^- + ^2D$ . Al absorber el electrón el complejo  $^1A$  adquiere una carga negativa,  $-1.6 \cdot 10^{-19} C$  y un espín  $1/2$  según la reacción:  $e^- + ^1A = ^2A^-$

En condiciones normales el electrón se transfiere, en un tiempo comprendido entre  $100$  y  $250 ps$ , de  $^2A^-$  a un segundo aceptor  $^1X$  probablemente constituido por un complejo de hierro-ubiquinona. Si  $X$  está químicamente reducido en el estado  $^2X$  no puede aceptar el electrón y la vida media del par radical inicial ( $^2D^+ + ^2A^-$ ) aumenta hasta  $10 ns$ .

Como consecuencia de la interacción hiperfina que tiende a acoplar paralelos los espines de los dos radicales, el par formado,  $^1(^2D^+ + ^2A^-)$  que es de espín total nulo, se puede transformar en un estado triplete de espín total 1,  $^3(^2D^+ + ^2A^-)$ . Si la recombinación ó marcha atrás del electrón se hace desde el estado de espín cero se alcanza el estado final ( $^1D^* + ^1A$ ), pero si el par se encuentra en estado triplete, decaerá al estado final ( $^3D^* + ^1A$ ). La recombinación se llama *geminate* si tiene lugar en un tiempo inferior al de separación de las moléculas que forma el par, por lo que en este caso las moléculas que se recombinan son las que forma el par. Cuando las moléculas de los pares formados se separan lo suficiente, la recombinación puede tener lugar entre otras moléculas  $D$ , dando lugar a la recombinación homogénea.

Por tanto, la presencia de pares tripletes, que puede medirse por la cantidad existente de moléculas  $^3D^*$ , refleja la acción de la interacción hiperfina. Si esta interacción tiene un tiempo característico más corto que el tiempo de separación de los componentes de un par, la presencia de donores en estado triplete se podrá detectar desde el comienzo de la recombinación *geminata*.

Un campo magnético aplicado externamente altera la proporción de estados tripletes  $^3D^*$ , y esto es debido a que la precesión global de spin generada por el campo  $\gamma$ , que tiene lugar en torno a él, destruye la coherencia de las precesiones relativas inducidas por la interacción hiperfina. Cuando la intensidad de campo aplicado excede a la de las constantes de la interacción hiperfina las transiciones entre el estado de spin nulo y el estado de spin 1 o estado triplete del radical libre desaparecen y por tanto desaparece también la generación de estados  $^3D^*$ .

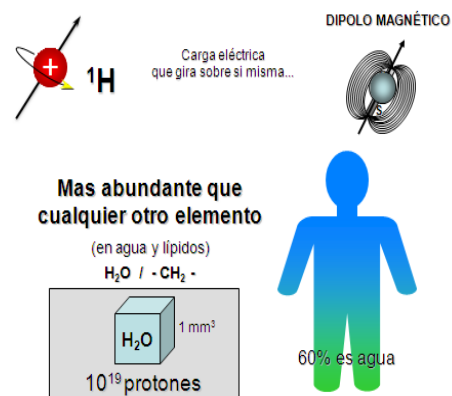
Se ha observado experimentalmente que en el caso de la *Rhodospseudomonasspheroides* el ritmo de formación de estados  $^3D^*$  disminuye con el campo magnético aunque los experimentos muestran una fuerte dependencia con el centro de reacción fotosintético que indica la importancia de las fuerzas intermoleculares en el ritmo de la reacción. En los centros de reacción las moléculas donoras yceptoras se encuentran en estado sólido. En esta breve descripción se han realizado muchas simplificaciones al considerarse despreciables las interacciones de canje, así como el efecto de las fuerza de Lorentz que pudiera ser relevante en el caso de electrones de alta velocidad de transferencia. Las distintas concentraciones de moléculasceptoras y donoras con estados de spin diferentes, reguladas por el campo magnético aplicado, pueden lógicamente modular las velocidades de las reacciones bioquímicas que tiene lugar en los centros de reacción fotosintéticos.

Como se aprecia, la influencia posible del campo magnético, en este caso, sobre la cinética de la fotosíntesis se explica mediante una sucesión de observaciones difusas y especulaciones que se articulan sobre hipótesis más o menos frágiles. La dificultad se encuentra principalmente en la complejidad del proceso global de la fotosíntesis. A nadie le extrañaría, mientras no se llegue a un conocimiento más científico del proceso total que aparecieran artículos indicando que, contrariamente a lo que se ha observado en *Rhodospseudomonasspheroides*, la formación de estados  $^3D^*$  aumenta con el campo en otro tipo de bacterias o que apenas altera su densidad en otro tipo distinto. Para los tres casos se podrían establecer especulaciones más o menos plausibles capaces de dar cuenta de los resultados, cualesquiera que estos fueran.

### 2.3. La Resonancia Magnética Nuclear como diagnosis: El avance cierto del conocimiento en el campo del Bioelectromagnetismo

El hidrógeno es el elemento más abundante en el Universo constituyendo un 75 % de la materia visible. Situémonos en el instante en que el Universo tenía un segundo de vida, cuando toda la materia estaba condensada en un plasma a 10000 millones de grados Kelvin. A estas temperaturas se pueden generar reacciones nucleares en las que un protón y un neutrón se unen para separarse después por colisiones. La energía térmica correspondiente a esa temperatura es del orden de las energías involucradas en esas reacciones nucleares. Podemos calcular las probabilidades de encontrar núcleos más complejos según se enfría progresivamente el Universo.

Cuando se calculan estas probabilidades se observa que ningún núcleo de peso atómico superior al litio, con número atómico 3, pudo formarse durante el Big Bang. La probabilidad de que se formara helio era de un 25 %, mientras que la de formación de litio apenas alcanzaba un uno por diez mil millones de protones. El 75 % de los átomos creados eran átomos de hidrógeno. Estas predicciones han encontrado tal acuerdo con las observaciones que se puede considerar la abundancia relativa de elementos como una prueba de la realidad del Big Bang. Sólo un Universo inicialmente caliente que decreciera posteriormente su temperatura daría cuenta de las abundancias relativas observadas.



**Figura 5. Se representa el dipolo magnético generado por el spin del protón (gentileza del Dr. Javier Lafuente)**

El resto de los átomos de otros elementos que forman nuestro cuerpo se cocinaron en las estrellas. En el abrasador ambiente del interior de una estrella se inducen procesos de fusión que dan lugar a los elementos pesados de la clasificación periódica. Pero para que sea posible que átomos de oxígeno, carbón o nitrógeno se encuentren en el interior de nuestro cuerpo, ha sido necesario que viajaran hasta él desde el núcleo de las estrellas; es precisamente la explosión de éstas la que ha permitido la diseminación espacial de estos átomos que llegando hasta la Tierra han hecho posible nuestra existencia.

Un alto porcentaje próximo al 64 % de nuestra masa es agua. Las moléculas de grasas como es el caso de los triglicéridos contienen un alto porcentaje de átomos de hidrógeno. Se puede estimar que un 10 % de nuestra masa está constituida por protones aislados como núcleo de hidrógeno. En un milímetro cúbico de agua hay sesenta y seis mil millones de billones ó  $6.6 \cdot 10^{19}$  átomos de hidrógeno y, por tanto, el mismo número de protones o núcleos de estos átomos. Si este núcleo o protón aislado y único se imagina como una esfera tendría un diámetro de  $10^{-15}$  m de longitud que utilizada como

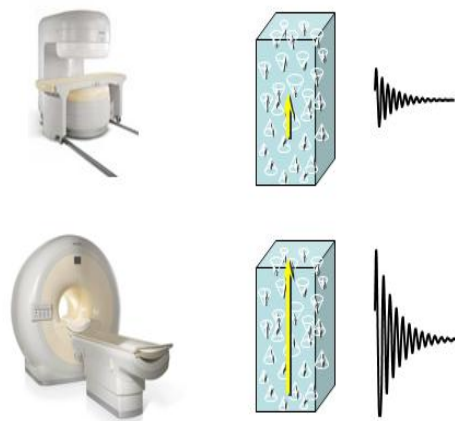
unidad es conocida como *femtometro*. Si bien el magnetismo macroscópicamente apreciable de los materiales es en primer orden debido a los electrones que son pequeños imanes, los protones y neutrones también poseen momento magnético pero con una intensidad que es uno dividido por dos mil veces la del electrón.

Sin embargo, hay técnicas experimentales basadas en fenómenos físicos básicos que permiten observar los momentos magnéticos de los protones. Podemos, pues, imaginar a los protones o núcleos de los átomos de hidrógeno tan abundantes en nuestro cuerpo, como pequeñas agujas imanadas o dipolos magnéticos.

El fenómeno de la resonancia magnética nuclear (RMN) está basado en la precesión que un campo magnético externo produce sobre los momentos magnéticos de los núcleos de los átomos de hidrógeno de nuestro cuerpo y fue descubierto y explicado por Bloch y Purcell en 1946. Su descubrimiento les condujo a la recepción del Premio Nobel en 1952.

Desde entonces la RMN ha sido una herramienta magnífica para análisis de moléculas en el campo de la química y en especial de la química orgánica y bioquímica. Nos encontramos, pues, ante un fenómeno físico bastante bien conocido y aplicado con éxito en diagnóstico que puede, por tanto, considerarse dentro del ámbito de la ciencia dura.

La imanación es tanto mayor en la resonancia cuanto mayor sea el número de protones por unidad de masa ó de volumen. Este valor permite distinguir unos tejidos de otros, supuesto que son conocidas la densidad de protones de hidrógeno en cada uno de ellos. El otro parámetro es el tiempo de relajación que depende del entorno térmico. El mismo tejido, con la misma densidad de núcleos de hidrógeno, aunque tengan la misma imanación puede tener distintos tiempos de relajación según la naturaleza de su entorno. Es curioso que un campo alterno de muy baja intensidad sea capaz de vencer al campo constante de  $10000\text{ G}$  sacando a la imanación de la posición en la que este campo intenso la había fijado. Es el encanto de los fenómenos de resonancia en los que pequeñas fuerzas, pero ejercidas a la frecuencia adecuada, son capaces de producir enormes efectos.



**Figura 6.** La señal inducida en la bobina que detecta la imanación transversal al campo estático  $B$  al apagarse el pulso de radiofrecuencia. La frecuencia de la oscilación es la frecuencia de la resonancia y el tiempo que tarda en amortiguarse es el tiempo



Imaginémonos ahora tumbados en la camilla de un equipo de resonancia magnética nuclear donde nos encontramos sometidos a un campo magnético uniforme  $B=10.000$  G, campo que es en intensidad 20000 veces superior al campo magnético terrestre en el que habitualmente estamos constantemente inmersos. Nosotros no notamos nada aparte de la incomodidad, que puede llegar a ser intensa, del confinamiento en el interior del solenoide, pero nuestros núcleos de hidrógeno están precesionando y aproximándose a la dirección del campo. Si este es uniforme, todos los protones precesionan a la misma frecuencia. Suponiendo que un gran ordenador midiera los tiempos de relajación y las intensidades de la imanación, cabe aún preguntarse cómo distinguiría la fuente de la señal recogida, de qué parte del cuerpo proviene y cómo se pueden obtener imágenes de las distintas partes del cuerpo. Las imágenes pueden generarse de intensidades y tiempos de relajación, asociando estos valores a distintos tonos. Pero ¿cómo saber que la bobina detectora contiene información sólo de un volumen concreto de nuestro cuerpo?

Esta respuesta la dio un profesor de la Universidad del Estado de Nueva York en StonyBrook llamado Paul Lauterbur. Propuso añadir al sistema unos carretes de gradientes, que son los responsables del ruido desagradable que oyen los pacientes, y que producen variaciones locales de la intensidad de campo en torno a los 10.000 G. De esta manera cada zona del cuerpo tiene una frecuencia propia de precesión distinta. El ordenador puede escrutar la densidad de protones y el tiempo de relajación de cada zona del cuerpo. De este modo cada pixel correspondiente a una zona determinada adquiere en la imagen un tono que se puede controlar por su tiempo de relajación, su intensidad o la combinación adecuada de ambas. Las ideas de Lauterbur y los trabajos de Mansfield sobre la transformada de Fourier en el espacio directo se consideran contribuciones básicas que permitieron el nivel de excelencia que ha adquirido a día de hoy la diagnosis mediante RMN. Es curioso señalar que el trabajo inicial de Lauterbur fue rechazado por *Nature* si bien el reconocimiento a la transcendencia científico-técnica de su contribución quedó fuera de duda con la concesión, junto a Mansfield, del Premio Nobel en 2003. En el intervalo comprendido entre 2009 y 2013 un 60% de los trabajos de investigación publicados sobre diagnosis tratan de RMN. Un magnífico texto que condensa todo lo relevante de las aplicaciones al radiodiagnóstico de la RMN es la tesis doctoral del Dr. Javier Lafuente (Javier Lafuente, 1998).

No hay duda de que el magnetismo de nuestros electrones es muy débil, y más débil aún el de nuestros núcleos atómicos. Sin embargo, un magnetismo tan débil como el nuclear del cuerpo humano es posible que, mediante la más sofisticada tecnología, sea detectable y útil para nuestra salud. Aunque es todo muy distinto de cómo Mesmer especulaba, no hay duda de que la RMN ha detectado algo de nuestro magnetismo animal.

## 2.4. ¿Enemigos de la salud?

Es una realidad incuestionable que los campos electromagnéticos producidos por los seres humanos han aumentado en intensidad y rango de frecuencias de forma exponencial desde el siglo XIX hasta vuestros días. Los sistemas de comunicaciones, telefonía móvil, emisoras de radio y televisión, radares militares y civiles, las líneas de suministro de energía eléctrica, los billones y billones de imanes que forman los discos duros, los videos, los motores y generadores, toda la tecnología participa en mayor o menor grado de la contribución de los campos electromagnéticos (CEM), artificialmente creados por los hombres. Ante esta realidad parece natural que nos hayamos preguntado por los posibles efectos nocivos que sobre la salud pudiera tener esta proliferación gigantesca de CEM.

Esta competencia entre señales electromagnéticas por adueñarse del espacio atmosférico ha generado problemas de compatibilidad debidos a la interferencia de campos utilizados en distintas aplicaciones tecnológicas. Un ejemplo bien conocido es el de la interferencia de ondas de telefonía móvil con ondas de navegación aérea que han obligado hasta ahora a apagar los teléfonos móviles durante los vuelos.

Ante la cuestión relativa a los posibles efectos nocivos y ante cualquier pregunta fundada, se puede, siguiendo el comienzo del libro “De Magnete”, adoptar una postura crítica y científica o una postura basada en creencias y especulaciones metafísicas.

La dificultad asociada a la falta de conocimiento en detalle de muchos de los complejísimo procesos biológicos obliga a admitir la necesidad de investigar tales efectos con el rigor característico de los experimentos seguros, aunque como veremos más abajo la experimentación ha sido bastante exhaustiva; dado que los avances tecnológicos son muy rápidos comparados con la duración de la vida humana y que ésta es muy corta comparada con el ritmo del aumento del conocimiento, es necesario adoptar criterios políticos y sociales que, basados en el conocimiento científico a día de hoy, sean capaces de sintetizar un mínimo de seguridad con las ventajas derivadas de los usos de la tecnología referidas. En resumen, durante el tiempo necesario para encontrar una contestación científicamente rigurosa de la cuestión, es posible que el uso de la tecnología haya tenido tiempo suficiente para dañarnos. Por tanto, hay que improvisar soluciones inteligentes e inmediatas que siendo lo más respetuosas con el estado actual del conocimiento científico añadan algún margen razonable de seguridad. Debido a la descompensación entre el ritmo con el que surgen las nuevas tecnologías y el que se alcanza en la comprensión de todas sus implicaciones, resulta inevitable vivir la evolución y el desarrollo sin una fracción de riesgo.

Hay que reconocer que cualquier avance tecnológico conlleva una inquietud que nace de la componente más conservadora que todos compartimos y que debe subyacer en alguna parte de nuestros genes ya que, sin duda, constituye paradójicamente una defensa evolutiva. Quizás sea esa enorme diferencia de ritmos entre la evolución natural y la evolución cultural la que nos hace rechazar instintivamente las novedades.

Se dijo que la salud no podría permanecer indemne a la velocidad del automóvil. Pero este argumento no fue aplicable al caso del amianto del que muy posteriormente a su uso se supo que era un agente cancerígeno. No todo lo nuevo es inocuo, aunque quizás lo sea más que lo que tenemos propensión a pensar. Es evidente que la complejidad de los procesos bioquímicos -que hemos tratado de ilustrar con anterioridad para el caso de las más simples bacterias con el ejemplo de la fotosíntesis- no permite concluir absolutamente nada cierto sobre los efectos de los CEM sobre la salud. La necesidad de esa síntesis entre seguridad y uso de los CEM, que surge de que hay poca gente dispuesta a prescindir de Internet, de la telefonía móvil de la radio o de la energía eléctrica mientras no exista certeza de su carácter patógeno, ha obligado a los países, y en nuestro caso a la Unión Europea, a realizar un esfuerzo de revisión bibliográfica científica de lo conocido sobre estos efectos. Se considera conocido aquello que constituye un resultado de experimento fiable. A partir del análisis que la ciencia ha establecido, la Unión Europea (UE) se ha encargado de elaborar una serie de recomendaciones.

Es cierto que existen miles de artículos al respecto (sólo referentes a los posibles efectos sobre la salud humana hay publicados más de 25.000 trabajos) pero finalmente todos recurren, aparte de los más conocidos efectos térmicos, a tres posibles causas de interacción del campo con la salud: la presencia en las células de nanopartículas ferrimagnéticas; la modificación que la presencia de campos magnéticos pudiera introducir en la cinética de recombinación de radicales libres, presentes en las múltiples reacciones biológicas catalizadas por proteínas -como hemos discutido en el caso de la fotosíntesis-; y finalmente, el efecto ciclotrónico que se induciría por campos electromagnéticos variables en el tiempo que se combinan con el campo magnético estático del ambiente.

Debe tenerse siempre en consideración la diferencia entre campos magnéticos constantes en el tiempo y campos magnéticos alternos. Los campos magnéticos variables en el tiempo generan un campo eléctrico que según la ley de Faraday viene dado por la relación:  $rotE = -(dB/dt)$ . El campo eléctrico generado por el campo magnético variable en el tiempo actúa sobre las cargas eléctricas que poseen los iones o bien los radicales cargados de las macromoléculas cuya química es responsable de los fenómenos característicos de la vida. Este campo eléctrico puede influir en la configuración de las moléculas de proteína y modificar de este modo la acción enzimática de la misma. Este efecto está mucho menos referido en la literatura y aunque no puede ser invocado cuando se aplican campos magnéticos estáticos, sí que puede ser muy relevante bajo la acción de campos de frecuencia media o alta.

Sí conviene, sin embargo, establecer las siguientes consideraciones:

- Solamente las demostraciones matemáticas que tratan sobre objetos ideales son sujetos de certeza.
- Todas las ciencias naturales, física, química y biología carecen de certezas absolutas excepto en lo que se refiere a la medida de sus magnitudes con la incertidumbre ineludible del error experimental.
- Las ciencias experimentales construyen teorías sobre principios que permiten explicar los resultados experimentales y deducir nuevos fenómenos y experimentos.
- Basta que un resultado experimental, entre millones que la sustenten, contradiga la teoría para que ésta deba revisarse.
- La falta de certeza absoluta de la Ciencia no ha sido obstáculo, sino más bien estímulo, para el avance indiscutible de la Ciencia y del conocimiento científico.

De este modo, han aparecido en los últimos años miles de publicaciones científicas, sobre el tema de salud y CEM, con resultados no siempre congruentes. El problema tiene también una serie de connotaciones sociales y políticas que aún contribuyen más a la dificultad de encontrar un mínimo consenso a partir de los artículos publicados ya que las noticias de los medios se mezclan con los trabajos científicos en la formación de opiniones alejadas en su origen en muchos casos de los requisitos exigidos por una auténtica opinión científica. Ante este panorama tan confuso es de gran utilidad recurrir a Instituciones de prestigio que han elaborado normativas a partir del análisis exhaustivo de la literatura científica publicada en revistas del SCI. En 1998 el Comité conocido como *International Commission Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)*, trabajando bajo los auspicios de la Organización Mundial de la Salud (OMS), estableció los límites de intensidades de CEM para las distintas frecuencias de los mismos tras analizar los artículos publicados. Estos límites se establecen con un amplio margen de precaución.

El planteamiento de los grupos más exigentes con las medidas de precaución está basado en el hecho de que nadie puede asegurar que los CEM no puedan influir negativamente en la salud humana. Aunque es obvio que vivimos gracias a la energía electromagnética que nos llega del Sol, que estamos sumergidos en campos eléctricos y magnéticos atmosféricos, que las interacciones electromagnéticas que gobiernan la química de la vida constituyen la base física de la biología y que la acción de los CEM tiene la misma intensidad que los CEM existentes en la naturaleza, es de esperar que no produzcan daños importantes, por lo que el principio esgrimido por estos grupos de extrema sensibilidad no deja de ser cierto. En efecto, nadie puede decir con certeza absoluta que los campos electromagnéticos de intensidad inferior a un cierto umbral aplicados durante un cierto intervalo de tiempo a un ser humano no hacen daño a la salud. Lo que sí se puede decir y de hecho dice con rotunda nitidez la página web de la OMS (ó WHO en inglés), fechada en 2012 es:

*A number of national and international organizations have formulated guidelines establishing limits for occupational and residential EMF exposure. The exposure limits for EMF fields developed by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)- a non-governmental organization formally recognised by WHO, were developed following reviews of all the peer-reviewed scientific literature, including thermal and non-thermal effects. The standards are based on evaluations of biological effects that have been established to have health consequences. The main conclusion from the WHO reviews is that EMF exposures below the limits recommended in the ICNIRP international guidelines do not appear to have any known consequence on health.*

En este párrafo se resume el estado actual de la Ciencia respecto al efecto de los campos electromagnéticos sobre la salud. Dice la OMS en 2012, que el ICNIRP, tras revisar la literatura científica, -más de 25.000 artículos publicados en revistas reconocidas y recogidas en el SCI durante los últimos treinta años y la mayoría sobre campos de 50 ó 60 Hz-, al ser los más comunes hasta ahora: *que no parecen producir daños conocidos sobre la salud para intensidades de campo inferiores a los límites de exposición fijados por esta misma Comisión en 1998*. Sí se puede decir, por tanto, que el análisis de una enorme cantidad de datos permite inferir que no se detectan daños producidos por campos cuya intensidad se mantiene inferior a un cierto umbral. No obstante, en el mismo documento de la OMS se recoge, como se muestra a continuación, que existen algunos vacíos en el conocimiento de los efectos biológicos de los campos que justifican mantener las investigaciones en el sentido de profundizar en ellos. Los efectos biológicos desconocidos no tienen asociado necesariamente ningún carácter de daño a la salud ya que en ese caso se habría indicado en el párrafo anterior en que se reconoce que no se detectan daños conocidos. Finalmente, la OMS indica:

*In the area of biological effects and medical applications of non-ionizing radiation approximately 25.000 articles have been published over the past 30 years. Despite the feeling of some people that more research needs to be done, scientific knowledge in this area is now more extensive than for most chemicals. Based on a recent in-depth review of the scientific literature, the WHO concluded that current evidence does not confirm the existence of any health consequences from exposure to low level electromagnetic fields. However, some gaps in knowledge about biological effects exist and need further research.*

No debe extrañar ni presentar contradicción con lo comentado, que muchos trabajos publicados, muchos investigadores científicos y varias organizaciones sociales y políticas soliciten que se aumenten las precauciones y se rebajen las intensidades definidas por la ICNIRP. Estas solicitudes y/o sugerencias no cambian la definición científica de la línea que define el límite de intensidades por debajo del cual no existe evidencia de daño conocido para la salud.

Las intensidades límite indicadas por la ICNIRP, han sido aceptadas por la OMS, la Agencia Internacional contra el Cáncer, y la Comisión Europea en la Recomendación 1999/519/CE, el Comité de Expertos del Ministerio de Sanidad y Consumo creado en 2000 y el Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS) creado bajo los auspicios de la Fundación Complutense en 2005. En estos párrafos de la OMS y en los documentos de la ICNIRP, aceptados por muchas asociaciones científicas de prestigio, es donde se encuentra el máximo esfuerzo de síntesis de una literatura científica tan extremadamente compleja.



**Figura 7.** Según indica el historiador Plinio el Joven, Recogiendo una vieja leyenda del poeta griego Nicandro, un pastor llamado Magnes observó con sorpresa que su cayado de hierro quedaba atrapado en una roca situada en la falda del Monte Ida. Desde ese momento la piedra se conoció como piedra de Magnes.

## 2.5. Conclusión

Las sombras de Paracelso y Mesmer continúan gravitando en el entorno del Magnetismo de hoy. Junto a los siempre presentes especuladores filosóficos otros investigadores más austeros han continuado abriendo el camino del conocimiento científico sobre el magnetismo real de nuestro cuerpo, el asociado a los electrones, protones y corrientes eléctricas que fluyen por nuestras arterias y comunican nuestras neuronas.

Las consecuencias de este conocimiento científico sí que están siendo ciertamente beneficiosas para nuestra salud. A veces se tiende a asociar la poesía más con la fábula y ficción científica que con la propia Ciencia. ¿No es hora de que descubramos la estética en la verdad científica? ¿No es bello saber que la mayoría de nuestra masa está formada por protones que son brújulas que permiten observarnos por dentro con una nitidez nunca soñada?

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Selección de las publicaciones

Para la elaboración de este informe se ha realizado una búsqueda bibliográfica de publicaciones científicas sobre los efectos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencias en seres vivos.

Las herramientas informáticas y de comunicación actuales facilitan la publicación de todo tipo de información en diversos formatos. Por ello, se pueden encontrar numerosísimos documentos en Internet relacionados con los efectos de los campos electromagnéticos sobre la salud. Sería una labor imposible tratar de analizar todos ellos.

Para evitar este tipo de problemas de exceso de información indiscriminada, la comunidad científica ha desarrollado una serie de métodos y protocolos que garantizan que un documento tiene rigor científico y debe ser tenido en cuenta para tomar decisiones sobre la temática que aborda. Existe una lista de publicaciones científicas denominada *Science Citation Index* (SCI) que incluye sólo aquellas publicaciones que cumplen con unas normas para garantizar que los trabajos que se publican en dichas revistas tienen rigor y calidad científica. Para que una revista sea incluida en el SCI, el procedimiento de evaluación y publicación debe cumplir una serie de requisitos y seguir un proceso de control y evaluación.

Cuando un autor envía un trabajo a una de las revistas del SCI, el editor de la misma, si considera que la temática es apropiada para la revista, envía el trabajo a uno o más expertos en el tema para que realicen una evaluación anónima de dicho trabajo. Esta evaluación aborda básicamente las siguientes cuestiones (además de otras de tipo formal):

- ¿El trabajo describe toda la metodología con suficiente detalle como para que se puedan comprobar o reproducir los estudios?
- ¿La metodología es correcta?
- ¿Los datos presentados avalan las conclusiones?
- ¿Hay hipótesis o afirmaciones injustificadas?

Una vez que el editor recibe los informes de los evaluadores, puede aceptar la publicación, rechazarla, o bien trasladarle al autor dichos informes para que los rebata si no está de acuerdo con los mismos. Todo el debate que se pueda establecer entre los evaluadores y los autores debe ser con argumentos razonados, siendo el editor de la revista quien actúa como juez y moderador del mismo. Si los autores no están de acuerdo con la decisión del editor pueden apelar al consejo editorial. Asimismo, si una vez publicado un artículo, algún científico no está de acuerdo con el mismo puede enviar a publicar una respuesta a dicho artículo (que sigue el mismo proceso de revisión). En caso de que un autor tenga una disputa enconada con otro experto del mismo campo, puede solicitar (justificando su decisión) que dicha autor no sea evaluador de su trabajo. Por otra parte, los evaluadores deben abstenerse de evaluar informes de amigos y colegas con los que puedan tener conflictos de interés (competición por financiación, etc.). El SCI recoge más de 10.000 revistas editadas por empresas y asociaciones científicas de todo el mundo de manera que es imposible que un grupo de científicos con una posición concreta en un tema puedan influir significativamente en la publicación de trabajos en ese campo.

Por tanto, la publicación de un trabajo en una revista incluida en el SCI es una garantía de calidad y rigor científico. En este informe nos hemos limitado al análisis de trabajos publicados en revistas del SCI.

### **3.2. Criterios de búsqueda**

Para identificar las publicaciones relevantes dentro del SCI que se debían analizar, se han usado diversas herramientas de búsqueda informática. En concreto, se han utilizado los buscadores de:

- Science Citation Index
- Scopus
- Pubmed
- Google Scholarship
- EMF Portal



Para realizar la búsqueda, el criterio fue que entre el título, el resumen y las palabras clave que describen la publicación, se encontraran al menos una de las expresiones de la columna A y otra de la columna B que se indican a continuación:

A	B
Radiofrecuency	Health
Electromagnetic fields	Bioeffects
Electromagnetic waves	Humans
Microwave	Biological effects
	risks

**Tabla 1. Palabras clave para la búsqueda de publicaciones**

Además, se han revisado periódicamente una serie de páginas web que publican reseñas sobre trabajos relacionados con los efectos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en la salud, que se detallan en el Anexo 1.

### 3.3. Selección de las publicaciones

De todas las publicaciones obtenidas con los buscadores anteriormente indicados, se analizó su resumen (*abstract*) para confirmar que abordaba la temática de los efectos de la radiofrecuencia en seres vivos. Son miles las publicaciones que satisfacen este criterio en el periodo 2013-2016. En este informe se recogen principalmente aquellas que se consideraban más significativas por alguno de los siguientes motivos:

- Los trabajos de revisión que analizaban de manera conjunta los resultados de muchas publicaciones para presentar una visión global de un tema concreto.
- Los metaestudios que analizan los estudios epidemiológicos con un elevado número de casos y que, por lo tanto, resultan más representativos.
- Estudios que aportan novedades significativas respecto al estado del arte con datos sólidos que las avalan.

De esta manera, este informe pretende recoger los avances más significativos que aportan novedades relevantes en el ámbito de los efectos de los campos de radiofrecuencia en la salud y que son respaldados por pruebas científicas sólidas.

Logicamente, un estudio científico y riguroso de los efectos de los campos electromagnéticos sobre el tejido biológico debe realizarse de manera cuantitativa. Es por ello necesario definir los parámetros numéricos relevantes que se deben evaluar, medir, analizar y referir los estudios a estos parámetros de manera que estos sean comparables entre sí y se eviten conclusiones vagas o injustificadas basadas en análisis cualitativos poco rigurosos. Los estudios deben incluir indicadores que permitan determinar la intensidad de los campos electromagnéticos, su frecuencia, la exposición a los mismos, las dosis y los efectos sobre el tejido biológico. La definición de estos parámetros, así como la forma de medirlos o calcularlos, es lo que se conoce como dosimetría. Por ello, la siguiente sección incluye una descripción detallada de las técnicas de dosimetría y evaluación de la exposición que se utilizan en este campo.

## 4. DOSIMETRÍA Y EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

Los campos electromagnéticos, al igual que ocurre con el agua, son necesarios para la vida. Sin embargo, por encima de ciertos límites resultan perjudiciales y a niveles muy elevados pueden llegar a ser mortales. Por tanto, no tiene sentido hablar de si los campos electromagnéticos son “buenos o malos” sino por debajo de qué niveles no presentan efectos perjudiciales (o tienen efectos positivos) y a partir de que niveles pueden resultar nocivos. Se debe hacer, por tanto, una medida cuantitativa de la exposición a los campos electromagnéticos con valores numéricos y establecer unos límites a dichos niveles de exposición que garanticen que los seres vivos no están expuestos a niveles que resulten perjudiciales para su salud. Es para ello necesario realizar estudios que correlacionen los niveles de campo electromagnético con sus efectos biológicos.

Para llevar a cabo dichos estudios es necesario conocer el mecanismo de interacción de los campos electromagnéticos con los seres vivos. Se sabe bien que esta interacción depende de las características de los campos electromagnéticos, especialmente de su frecuencia (Barnes et al. 2007 y Habash 2008).

Para los campos de baja frecuencia, como los que se generan cerca de las líneas de corriente de 50 Hz, los principales efectos son las corrientes inducidas en el tejido biológico (Barnes et al. 2007, Habash, 2008, Havas, 2004 y Kaune et al. 1981).

Por el contrario, los campos electromagnéticos con frecuencia superiores a  $10^{15}$  Hz (radiación ultravioleta, rayos X y rayos  $\gamma$ , la llamada *radiación ionizante*) pueden romper enlaces moleculares y, por tanto, inducir mutaciones y alteraciones en las células incluso con dosis muy bajas (Barnes et al. 2007, Habash, 2008, UNSCEAR, 1981 y Han et al. 2010).

Para los campos de radiofrecuencia o microondas, (con frecuencia entre  $10^{12}$  y  $10^{15}$  Hz) se sabe que el principal mecanismo de interacción es el calentamiento (Habash, 2001; Challis, 2005). Esta radiación es parcialmente absorbida por la materia biológica y transformada en calor. Por tanto, el parámetro relevante a la hora de determinar la exposición a estos campos es la *tasa de absorción* (SAR, por sus siglas en inglés), es decir, la energía que absorbe la materia biológica por unidad de masa y unidad de tiempo al ser expuesta a estos campos (ICNIRP, 1998). Esta tasa de absorción permite determinar el aumento de temperatura que puede llegar a generar en el tejido biológico y, a partir del mismo, establecer los efectos que se pueden producir.

La tasa de absorción de un cuerpo es algo que depende de numerosos factores, como su composición química, las dimensiones o la morfología. Cuando se irradia un cuerpo con campos electromagnéticos, la temperatura que alcanza depende de la cantidad de energía que absorbe por unidad de tiempo, y también de la cantidad de calor que disipa al exterior por unidad de tiempo. Mientras que la absorción es proporcional al volumen, la disipación de calor al medio exterior es proporcional a la superficie. Por ello, tejidos biológicos con la misma composición pero diferentes dimensiones o formas, sometidos al mismo nivel de campo electromagnético, alcanzan temperaturas diferentes (Bit-Babik, 2005). Asimismo, los tejidos con mayor cantidad de agua absorben más radiación que los tejidos más secos (Foster et al. 2014). Por todo ello, el SAR es algo que depende de cada cuerpo y en ocasiones no es sencillo establecer unos límites del mismo.

Una onda electromagnética queda perfectamente definida por su frecuencia y los niveles del campo eléctrico y magnético de la misma (Lorrain et al. 1990). A partir de estos valores, se puede determinar la energía que transporta la onda y si se conoce la composición y geometría de un cuerpo, determinar su SAR y la temperatura que puede llegar a alcanzar.

Por ello, para evaluar la exposición a campos electromagnéticos, se miden los niveles de campo eléctrico y magnético y la frecuencia del mismo. Con estos valores, se puede determinar los efectos de calentamiento para un tejido biológico concreto. A la hora de establecer unos límites, se busca el caso más desfavorable es decir, aquel en el que con menor nivel de campo electromagnético se consigue el mayor calentamiento y se establecen los límites de campo eléctrico y magnético que garanticen que en ese caso pésimo no se llega a efectos térmicos que pudieran ser nocivos. Normalmente, este límite se establece con un margen de seguridad, que en la mayoría de las ocasiones es un campo 50 veces más pequeño de aquel a partir del cual se empiezan a observar los efectos (Real Decreto 1066/2001; Recomendación 12/07/1999).

La Ciencia no es un cuerpo de conocimiento cerrado sino que está en continua evolución. El estudio de la interacción de los campos electromagnéticos con la materia biológica es un campo relativamente joven y pese a que se conocen perfectamente las ecuaciones que describen los campos electromagnéticos, la complejidad de la materia viva hace que éste sea un campo aún en estudio. Por ello, la prudencia que siempre acompaña al avance científico aconseja que estos estudios sobre la interacción se complementen con estudios epidemiológicos, que pueden ayudar a avanzar en el conocimiento y proteger a los seres vivos de riesgos aún no comprendidos.

Estos estudios epidemiológicos se basan en analizar estadísticamente a dos poblaciones que tengan las mismas características, pero sometidas a diferentes niveles de exposición a campos electromagnéticos. Se analiza si los parámetros que describen su comportamiento biológico (frecuencia de enfermedades, constantes vitales, niveles de concentración de distintos anticuerpos, etc.) son diferentes entre ambas poblaciones, de manera que esas diferencias se puedan asociar a la exposición a campos electromagnéticos.

Estos estudios epidemiológicos son cruciales en la prevención, ya que permiten detectar efectos antes de comprender los mecanismos de interacción entre la materia biológica y los campos electromagnéticos, y por tanto, anticipar las medidas de prevención. No obstante, se debe tener en cuenta que son estudios tremendamente complejos. Es muy difícil encontrar poblaciones con números elevados de individuos en los que la única diferencia sea la exposición a campos electromagnéticos.

Normalmente, una mayor exposición a niveles de campo viene acompañada de cambios en otros parámetros como la exposición a la contaminación, el ruido, la vida social, los hábitos físicos y de nutrición, etc., además de los efectos *placebo* y *nocebo* que pueden alterar este tipo de estudios. Por todo ello, en la bibliografía se encuentran a menudo contradicciones entre estudios epidemiológicos dependiendo del protocolo utilizado para realizar los estudios o analizar los datos recogidos (Farmer, 2007).

#### **4.1. Nuevas fuentes de Radiofrecuencia Evolución de la telefonía móvil (2011-2015)**

##### **4.1.1. Redes móviles de cuarta generación (4G-LTE)**

La telefonía móvil ha evolucionado en los últimos 5 años para avanzar en la provisión de servicios de acceso a información, conexión de dispositivos y máquinas, transmisión de datos, mensajería instantánea y difusión de contenidos. Este desarrollo ha sido posible por la mejora de las redes ya existentes (GSM y 3G) y la definición y despliegue del estándar de cuarta generación (4G) de redes móviles denominado Long Term Evolution (LTE).

LTE utiliza inicialmente frecuencias en la banda espectral de UHF, al igual que sus predecesores, empezando a funcionar en España en una primera fase en 2600 MHz para más tarde desplegarse también en frecuencias más bajas, entre otras las que ha liberado en la banda de 800 MHz la televisión en el conocido “dividendo digital” (Decisión 243/2012/UE; Real Decreto 805/2014). En algunos países LTE se aloja también en otras zonas del espectro UHF, siempre por debajo de 6000 MHz (6 GHz).

La tecnología de transmisión de LTE (3GPP-LTE y Cardona et al. 2011) perfecciona a las de UMTS (3G) y GSM (2G), aunque las tres coexisten en la actualidad sin problemas de compatibilidad entre sí. LTE utiliza una modulación más eficiente, que provoca menos interferencias en bandas próximas, permite utilizar potencias más bajas para las mismas calidades de servicio que 3G y, además, dota a la red de la flexibilidad necesaria para adaptarse a los cambios de tráfico que se producen a lo largo del día. Esta flexibilidad ahorra recursos, consume menos energía y espectro por cada conexión, y permite, en un caso extremo alcanzar velocidades de conexión de datos de hasta 100 Mbps.

Además del sistema de transmisión radio, una de las novedades en las instalaciones de telefonía móvil desde la puesta en marcha de LTE (4G) es la progresiva incorporación de antenas MIMO (multiple-input-multiple-output). Se trata de paneles de antenas que incorporan un mayor número de elementos en un mismo panel, de esta forma se consigue que las señales emitidas y recibidas por el móvil y la estación base se focalicen mejor, apuntándose entre sí, evitando la emisión de potencia en cualquier otra dirección. La tecnología MIMO mejora por tanto la calidad y la capacidad de las estaciones base, ahorra energía y reduce los niveles de exposición global (Osseiran et al. 2011).

Otra de las novedades de LTE en la red de acceso radio es la incorporación de elementos móviles como repetidores de señal de la red, en particular los vehículos, para los que se ha desarrollado el dispositivo equivalente a una estación base de muy baja potencia. Desde el vehículo daría cobertura a los propios pasajeros o a terminales en sus proximidades, además de aplicarse en la mejora de la seguridad vial y conducción asistida (3GPP-V2X 2015; 5GPPP 2015). Los niveles de potencia que utiliza son muy pequeños, con potencias de pico de 0,2 W, inferiores a los de los módems Wi-Fi y se limitan, además, a los que autoriza la normativa Europea (Directiva 2014/53/UE), hasta el momento idénticos a los de cualquier instalación en interiores. Los repetidores alojados en vehículos no se espera que aumenten el nivel de exposición, al contrario, permitirán conexiones con menor potencia transmitida desde la estación base, reduciendo el índice de exposición conjunto. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ya contempla los estándares internacionales de comunicaciones móviles para vehículos, entre ellos el europeo basado en el uso de canales LTE (LTE-V2X 2015).

#### 4.1.2. Reordenación del espectro UHF

El incremento de usuarios y de tráfico de datos en las redes móviles saturó a finales de la pasada década las instalaciones de 3G y 2G de muchos operadores. Para solventar la saturación se puso en marcha la LTE y se reasignaron canales radio adicionales en el espectro de UHF para servicios móviles. La UIT es el organismo de referencia en materia de gestión de espectro radioeléctrico. En su Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (WRC, por sus siglas en inglés) revisa la situación de los sistemas de radiocomunicación y el uso del espectro radioeléctrico. En sus dos más recientes conferencias celebradas por la UIT (2012 y 2015) se ha reordenado el espectro de UHF, dotando a los sistemas móviles de mayor número de bandas de frecuencia (UIT, WRC 2012; UIT, WRC 2015). Destaca la asignación a telefonía móvil de la banda liberada por la televisión, el conocido “dividendo digital”, en frecuencias en torno a los 700 MHz, así como en el otro extremo la banda de 2600 MHz, en frecuencias próximas a una de las bandas de Wi-Fi, y en la última conferencia WRC en 2015 se ha identificado también la banda de 1500 MHz como de posible uso para móviles. En esencia, en lo que a los niveles de exposición se refiere, este nuevo escenario no es distinto al anterior, con la salvedad de que se usan más canales por estación base y por operador, evitando con ello la necesidad de un despliegue masivo de instalaciones que habría sido necesario sin la citada reordenación de UHF.

Las consideraciones más recientes sobre los límites de exposición en UHF (SCENIHR, 2015) están ya distinguiendo entre las bandas de frecuencias por debajo de 6 GHz (6000 MHz) y la banda superior. En efecto, todas las redes móviles actuales operan por debajo de 6 GHz y se estudia para las futuras redes de 5ª generación (5G) el uso de frecuencias superiores. Para las primeras, se dispone de numerosos estudios y publicaciones concluyentes relativas a los niveles de exposición, puesto que se han podido contrastar en redes reales operativas, mientras que las segundas están aún en proceso de discusión, definición y posterior estandarización, la cual no se espera cerrar antes del año 2020.

#### 4.1.3. Terminales y dispositivos móviles LTE

En cuanto a los terminales que se comercializan con tecnología LTE (incluyendo teléfonos, módems, USBs, tabletas, etc.), al igual que sucede con todos sus predecesores, todos están sometidos a un estricto control de niveles de emisión y tasa de absorción específica (SAR<sup>1</sup>) previos a su certificación bajo la normativa Europea a este respecto, vigente desde el año 2000 y revisada en 2014 (Directiva 2014/53/UE).

---

<sup>1</sup> Los límites de exposición para teléfonos móviles y dispositivos inalámbricos que se usan cerca de la cabeza o del cuerpo humano establecen los máximos niveles de energía que puede absorber el tejido en valores muy por debajo de los que podrían causar algún efecto sobre el mismo. El término que describe la cantidad de energía que absorbe el cuerpo humano durante su exposición a un terminal radio próximo se denomina Tasa de Absorción Específica o SAR. LA SAR se mide en potencia electromagnética por unidad de masa corporal, es decir en Watios por kilogramo (W/kg). La máxima SAR permitida por las recomendaciones internacionales para dispositivos próximos a la cabeza o sobre el cuerpo es de 2 W/kg.

El sistema LTE tiene otra particularidad a tener en cuenta a la hora de evaluar en laboratorio el grado de exposición que genera, y es que su enlace radio es completamente asimétrico, es decir, el tipo de señales y ocupación del espectro en la transmisión que hace el móvil es distinta e independiente de la transmisión que las estaciones base emiten hacia los móviles.

El móvil sólo ocupa una parte del ancho de banda de canal –en torno a un 10%- y en una porción del tiempo –en función de la actividad y en media por debajo del 50%-, con potencias que se ajustan al valor mínimo necesario en cada posición. Estos tres factores de reducción: ancho de banda, factor de trabajo (duty factor) y control de potencia, deben considerarse en los experimentos que no se realizan en condiciones reales, sino en laboratorio.

Algo similar sucede con las estaciones base, es decir, con las señales que emite la antena hacia el móvil, las cuales no utilizan el 100% de la potencia, sino que se ha comprobado en medidas realizadas en redes reales, como en la red Sueca de LTE (500 estaciones base analizadas) que la potencia no supera el 12% del máximo durante el 90% del tiempo (Colombi et al. 2013).

#### 4.1.4. Niveles de exposición en redes LTE

El sistema LTE se sustenta en la misma base que sus predecesores y es similar a aquéllos en cuanto a potencias y frecuencias utilizadas. Los estudios sobre riesgos para la salud realizados hasta la fecha por organismos nacionales e internacionales y agencias competentes son válidos también para el nuevo estándar en todo el rango de frecuencias de UHF, donde operan redes GSM, UMTS, y ahora LTE.

En Abril de 2010, la Agencia Federal Alemana de Protección sobre la Radiación evaluó LTE en respuesta a una cuestión planteada en el Parlamento Alemán concluyendo que: *“Estas frecuencias son colindantes con las bandas previamente usadas en telefonía móvil, ya estudiadas en el programa de investigación en Telecomunicaciones Móviles Alemán (DMF). Por tanto, no cabe esperar diferencias significativas, en lo que a efectos biológicos se refiere, respecto a frecuencias usadas anteriormente en comunicaciones móviles. El programa DMF demostró que no existían indicadores de efectos dañinos causados por campos electromagnéticos de telefonía móvil dentro de los límites normativos de ICNIRP”* (Bundesamt, 2010; ICNIRP, 2009).

En 2012, el Departamento de Salud del Reino Unido publicó a través de su Comité Asesor en Radiaciones no Ionizantes (AGNIR) que:

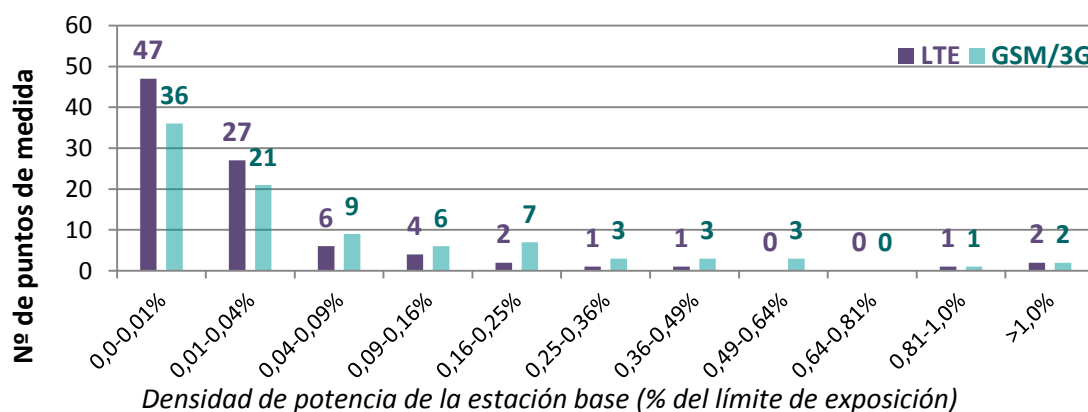
*“Desde el punto de vista del nivel de exposición, las redes 4G son muy similares a cualquier otro sistema de comunicaciones móviles anterior, y el PHE estima que los niveles de exposición pública permanecerán dentro de los límites de las recomendaciones internacionales de ICNIRP después del despliegue completo de la tecnología y servicios LTE en el Reino Unido”* (AGNIR, 2012).



Aunque podrían trasladarse las evidencias científicas obtenidas para 2G y 3G a la nueva situación, y puesto que las redes móviles LTE ya funcionan con normalidad, existen en este momento estudios contrastados en redes LTE reales, 100% operativas, en relación a los niveles de exposición. Dichos trabajos de campo llegan a las mismas conclusiones que todos los realizados para 2G y 3G en el sentido de que las estaciones base (“antenas”) de redes diseñadas bajo normativas que adoptan los valores de referencia de ICNIRP (ICNIRP, 2009) generan unos niveles de campo electromagnético siempre por debajo de los límites normativos, siendo además decenas de veces inferiores a éstos en la práctica totalidad de las medidas realizadas.

En Alemania se han medido las redes LTE ya operativas y a pleno rendimiento, a partir de las cuales se publicó un informe detallado sobre la exposición tras la ampliación de las redes móviles a LTE en todo el país (IZMF, 2012), confirmando que los niveles de exposición son del mismo orden de magnitud e incluso menores que los de GSM y 3G.

Un aspecto interesante de este caso es que se analiza el efecto de la adición de antenas LTE en estaciones base donde ya funciona GSM y 3G, resultando que total de nivel de exposición acumulado incrementa una fracción muy pequeña respecto al valor límite normativo. En ningún caso LTE llega al 5% del valor límite fijado por el ICNIRP, con sólo dos puntos medidos por encima del 1%. Los resultados de este estudio se resumen en la figura siguiente:



**Figura 8.** Resumen acumulado de medidas en la red LTE alemana. N<sup>o</sup> estaciones base cuya densidad de potencia recibida supera un cierto umbral respecto al límite de la ICNIRP. Fuente: [IZMF 2012]

Otros estudios similares recientes confirman esta hipótesis, y cabe destacar aquéllos que se han realizado en condiciones reales de funcionamiento, es decir, sobre el terreno en redes en pleno funcionamiento, como el caso de Suecia (Joseph et al. 2010) en el que el nivel de exposición causado por la red LTE fue, en media, inferior al 4% del valor límite normativo y no superó en ningún punto los 2,7 V/m.

Otros estudios más exhaustivos se han realizado en Rumanía (Lunca et al. 2014), en los que se proporciona información sobre campañas de medidas masivas en diferentes escenarios incluyendo zonas exteriores e interiores, en escuelas, hospitales y otros puntos considerados de especial sensibilidad, siendo el valor de campo más alto medido de 3,47 V/m en exteriores y 2,27 V/m en interiores, entre 15 y 20 veces inferiores al límite normativo (ICNIRP, 2009).

La Agencia para la protección de la salud del Reino Unido en su informe de 2012 (AGNIR, 2012) publica una recopilación de medidas de niveles de exposición en redes móviles, incluyendo LTE, todas confirmando las mismas hipótesis sobre el bajo nivel de exposición producido por esta nueva tecnología.

#### **4.1.5. Niveles de exposición acumulados en redes multi-estándar (2G/3G/4G)**

Además de la mejora que aporta LTE, el constante crecimiento de datos y conexiones ha exigido a los operadores la puesta en marcha de las tres generaciones de estándares de telefonía móvil simultáneamente y la ubicación de un mayor número de puntos de acceso para dar cabida a todo el tráfico telefónico y de datos actual. Sin embargo, el número de estaciones base (antenas) no ha crecido en proporción a dicho incremento, ya que se han asignado nuevas bandas de frecuencia para LTE y se han desarrollado técnicas que facilitan la compartición de instalaciones y frecuencias entre operadores.

La complejidad actual de las redes móviles hace que desde 2009 muchos de los proyectos de mejora de las redes móviles incluyan como premisa básica la optimización de instalaciones y la minimización del consumo de energía, lo que indirectamente ha llevado a limitar a su vez las potencias medias de emisión (EARTH, 2012). Además se han llevado a cabo estudios que contemplan la medición y limitación del total de emisiones agregado de todos los sistemas activos, es decir, se estudia el escenario más habitual en el que distintos operadores transmiten señales de 2G, 3G y 4G, a lo que se añade la presencia de redes privadas Wi-Fi.

La Unión Europea ha abordado en su 7º Programa Marco de I+D+i (2007-2013) la conveniencia de controlar las potencias que requiere en despliegue de las futuras redes móviles y fijó, como unos de los muchos objetivos prioritarios en materia de telefonía móvil, el diseño de sistemas de bajo consumo y bajo nivel de campo electromagnético, manteniendo la calidad de servicio que prestan las actuales redes móviles. Son ya numerosas las actividades que la UE ha acometido en este sentido, como se puede consultar en el sumario publicado recientemente por la Dirección General de Salud y Seguridad Alimentaria de la UE (Meroni y Schreck, 2015).

El trabajo más completo en cuanto a redes de baja exposición se recoge en el proyecto europeo Lexnet (Wiar et al. 2015), que desarrolla exhaustivamente este tipo de estudios, analizando todas las variables que afectan a los niveles totales de exposición y proponiendo a partir de ellos métodos medida y cálculo de la potencia recibida acumulada en lo que en Lexnet se denomina “Exposure Index” (Índice de Exposición). A partir de dicho índice se determina la tasa de absorción específica (SAR) que se mediría en una persona situada en dichos escenarios. Trasladando dichas métricas a la realidad, Lexnet analiza varios casos prácticos en redes de alta densidad de antenas en áreas urbanas y concluye que el incremento del nivel de SAR y de los niveles de exposición no es proporcional al número de estaciones base o sistemas activos, sino que se incrementa en porcentajes pequeños, no llegando en ningún caso a duplicarse el nivel total respecto al nivel medido en una sola estación aislada.

#### 4.1.6. Efecto de la arbitrariedad de los límites de exposición en el despliegue de redes LTE

A pesar de las múltiples publicaciones de informes y recomendaciones de diversos organismos internacionales, de la reciente publicación por parte del Comité Europeo de Nuevos Riesgos Emergentes para la Salud (SCENIHR) recomendando mantener los límites de exposición en las normas internacionales, y de la adopción por parte de la Unión Europea de dichos límites propuestos por ICNIRP, en algunas regiones de Europa se han impuesto de forma arbitraria límites de exposición mucho más restrictivos, sensiblemente inferiores a los recomendados internacionalmente y sin una base científica contrastada que los sustente, como es el caso de Polonia, Lituania, Italia, algunas zonas de Bélgica y la región de París.

El principal problema que causa dicha limitación arbitraria es que además de fijar valores mucho menores para el nivel de exposición, éstos se exigen en cualquier ubicación, incluso en aquéllas donde, cumpliéndose los límites de ICNIRP, no corresponden a puntos habitados o utilizados por personas. La estricta aplicación de dicha limitación supondría que la red móvil deba funcionar con potencias muy bajas a la salida de las antenas, y por tanto que su alcance sea mucho menor, y en consecuencia que el número de instalaciones para mantener la cobertura móvil – tanto en exteriores como en interiores- crezca en proporción a la reducción de márgenes de exposición, con el consiguiente impacto administrativo, urbanístico, de consumo energético y medioambiental.

En realidad, esta medida de reducción arbitraria es también poco efectiva desde el punto de vista de la exposición a campos electromagnéticos, ya que los límites de ICNIRP con las potencias actualmente en uso en las estaciones base (entre 20 y 80 W por antena) se cumplen a muy pocos metros de distancia de la antena en las frecuencias más bajas y a menos de un metro en las más altas. Tal como se ha expuesto en el apartado anterior, todas las medidas realizadas en redes operativas demuestran que, en efecto, en las ubicaciones en las que se sitúan las personas, calles, hogares, residencias, vehículos, etc., los valores de recepción (nivel de exposición) son siempre inferiores al 10% del límite normativo, gracias a que se respetan para las antenas niveles de emisión que cumplen los límites de ICNIRP. Recientemente se han revisado estas medidas en redes móviles en Bélgica (BIPT, 2013), Italia (ISPRA, 2010) y Francia (ANSES, 2011), para evaluar qué consecuencias tiene en LTE la reducción de los límites de exposición por debajo de los de ICNIRP. En los tres casos ya se está realizando la revisión de la normativa, bien reconsiderando los valores establecidos anteriormente, o bien especificando en qué situaciones excepcionales deben aplicar valores más restrictivos a los de ICNIRP.

#### 4.1.7. Conclusiones

- Las redes móviles de nueva generación (LTE) permiten mejorar los servicios de telefonía móvil (mejor calidad, mayor velocidad, comunicaciones móviles en vehículos, etc.) sin aumentar la exposición de la población.
- Los niveles de exposición del público a las nuevas redes y terminales basados en la LTE medidos por varias Agencias Internacionales confirman que están muy por debajo de los límites considerados como seguros.
- No hay razones técnicas ni sanitarias que justifiquen la imposición arbitraria de límites de exposición mucho más restrictivos y sensiblemente inferiores a los recomendados por la OMS-ICNIRP y la Unión Europea. Aplicar límites más restrictivos supone que hay que aumentar el número de antenas, con los impactos consecuentes (ambientales, económicos, administrativos, etc.).

#### 4.2. Sistemas inalámbricos y efectos para la salud

Los dispositivos inalámbricos, que usan el espectro radioléctrico como medio de transmisión, se encuentran actualmente en cualquier parte: en las calles de las ciudades, en locales comerciales, en el interior de los transportes públicos y de los automóviles particulares, dentro de las casas y en los lugares de trabajo, incluso se usan incrustados en los cuerpos de las personas. Además de los teléfonos móviles, entre los dispositivos inalámbricos aparecen aparatos como los sensores y medidores inteligentes, los monitores de seguridad y diversos tipos de controladores en casas, oficinas, fábricas, centros de salud, gimnasios, etc., a menudo soportados por plataformas tales como el Internet de las Cosas (IoT), entre otras tecnologías emergentes (Lin, 2016).

Se observa, con respecto a la última década, un masivo desplazamiento hacia dispositivos que emplean comunicaciones digitales, espectro radio y tecnología de redes (Foster, 2013). No sólo ha habido un fuerte incremento en el número de dispositivos que emiten energía de RF, sino que una abrumadora fracción de estos dispositivos emplean tres tecnologías estándar de redes inalámbricas: Wi-Fi, ZigBee y Bluetooth. Este resultado, es sin duda, debido al fácil acceso de los fabricantes a las bandas ICM (Industrial, Científica y Médica; o ISM, por sus siglas en inglés) no licenciadas y a la disponibilidad de módulos de bajo coste y tecnología de redes que son relativamente fáciles de integrar en los sistemas de comunicaciones.

En definitiva, nos encontramos en un mundo en donde existe una cada vez mayor conectividad inalámbrica de dispositivos personales y domésticos que ha abierto nuevas posibilidades para la sociedad. Sin embargo, esta situación no sólo no ha suscitado un debate entre los expertos sobre la seguridad y privacidad de estas tecnologías inalámbricas y de acceso a Internet, sino que ha generado una preocupación generalizada sobre los posibles efectos de la exposición a los campos electromagnéticos de RF emitidos por estos dispositivos.

Como se ha indicado, estos dispositivos y las aplicaciones que permiten su uso están habilitadas por tecnologías inalámbricas tales como Wi-Fi, Bluetooth y ZigBee y soportadas por redes, routers, puntos de acceso (AP), repetidores, etc., funcionando en el rango de las microondas. Describiremos, brevemente, las características técnicas de estas tecnologías.

#### 4.2.1. Tecnologías: Wi-Fi, Bluetooth y ZigBee

- **Tecnología Wi-Fi.** La expresión Wi-Fi (abreviatura de *Wireless Fidelity*) se utiliza como denominación genérica para los productos que incorporan cualquier variante de la tecnología inalámbrica 802.11 que permite la creación de redes inalámbricas de área local (WLAN, por sus siglas en inglés). Inicialmente diseñada para proporcionar acceso inalámbrico a Internet a ordenadores y otros dispositivos, su desarrollo y crecimiento ha sido espectacular. Según fuentes de la industria el número de unidades con conexión Wi-Fi en el año 2012 ascendía a 5 billones y se espera que se duplique en el año 2016 (Wi-Fi Alliance). Se puede decir que virtualmente, cada laptop, Smartphone u ordenador dispone de un módulo o unidad con interfaz Wi-Fi. Se estimaba que, en el año 2013, que el 61% de los hogares americanos disponían de Wi-Fi para el acceso a Internet (Thota, 2012). En España, según la encuesta del INE del año 2015, sobre Equipamiento y Uso de las Tecnologías de Información y Comunicación en los Hogares, el principal tipo de conexión a Internet por banda ancha era el establecido por un dispositivo móvil, con un 77,1% de las viviendas con acceso ([www.ine.es](http://www.ine.es))

Los diferentes estándares de estas tecnologías utilizan espectro no licenciado o de uso común, en las bandas de frecuencias de 2,4 GHz y 5 GHz. En el año 2010, la Wi-Fi Alliance, una asociación de compañías internacionales, anunció que la industria estaba trabajando en un nuevo estándar que trabajaría en bandasmilimétricas, el 802.11ad, cuyas especificaciones y características fueron publicadas en diciembre del 2012. Ya existen dispositivos comerciales que trabajan en esta tecnología. La diferencia fundamental de esta tecnología Wi-Fi en la banda de 60 GHz, también otra banda de frecuencia no licenciada, es que puede proporcionar hasta 6,76 Gbps de throughput usando 2 GHz de espectro.

Otra tecnología WLAN conocida como *World Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) ha estado disponible en los últimos años. WiMAX es una tecnología de acceso inalámbrico de banda ancha que proporciona un funcionamiento similar a la redes Wi-Fi, pero con la cobertura y calidad de servicio de las redes celulares. El alcance de esta tecnología es considerablemente mayor que la de la tecnología Wi-Fi, y puede alcanzar hasta 50 Km para estaciones fijas y de 2 a 15 Km para estaciones móviles. La tecnología WiMAX trabaja en frecuencias licenciadas en la banda de 2 a 5 GHz. y está basada en la familia de estándares IEEE.802.16 X.

La máxima potencia transmitida tanto por los puntos de acceso como por las tarjetas de los usuarios está fijada por las autoridades regulatorias nacionales o internacionales. Por ejemplo, para la banda de 2,4 GHz, los límites europeos son de 100 mW de Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE), en Estados Unidos el límite corresponde a una PIRE de 1 W. Los límites en la banda de 5 GHz, varían de unos países a otros, pero el límite superior es de 1 W. Por lo que respecta a las tarjetas de usuario usadas en los ordenadores portátiles, trabajan con niveles de potencia menores, generalmente, por debajo de 0,1 W.

Niveles de referencia	2,45 GHz		5,8 GHz	
	Densidad de potencia equivalente (W/m <sup>2</sup> )	Tiempo promedio (minutos)	Densidad de potencia equivalente (W/m <sup>2</sup> )	Tiempo promedio (minutos)
<b>FCC</b>				
<b>Público ocupacional</b>	50	6	50	6
<b>Público en general</b>	10	30	10	30
<b>ANSI / IEEE C95.1-2005</b>				
<b>Controlado (≅Público ocupacional)</b>	82	6	100	3,4
<b>No controlado (≅Público en general)</b>	10	30	10	26
<b>ICNIRP</b>				
<b>Público ocupacional</b>	50	6	50	6
<b>Público en general</b>	10	6	10	6

**Tabla 2. Límites de exposición para la energía de RF a frecuencias usadas por las redes Wi-Fi.**

En la Tabla 2 se comparan los límites de exposición, tanto para el público en general como para el público ocupacional, de distintas comisiones científicas (ICNIRP) y organismos de normalización (FCC, IEEE) en las frecuencias usadas por las redes Wi-Fi.

- **Tecnología Bluetooth.** Es un protocolo de comunicaciones diseñado para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN, por sus siglas en inglés) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en el mismo rango de frecuencias (2,45 GHz) que la mayoría de los dispositivos Wi-Fi, pero usando diferentes canales y esquemas de modulación. Está concebida para dispositivos de bajo consumo, que requieren corto alcance de emisión y utiliza transceptores de bajo coste.

Los dispositivos que con mayor frecuencia utilizan esta tecnología pertenecen a sectores de la electrónica y la informática personal, como: PDAs, teléfonos móviles, ordenadores portátiles, ratones, impresoras o cámaras digitales, micrófonos, auriculares, lectores de códigos de barras, sensores, *displays*, localizadores y otros dispositivos de la electrónica de consumo.

Estos dispositivos se clasifican como dispositivos de "clase 1", "clase 2" o "clase 3" en referencia a su potencia de transmisión, siendo totalmente compatibles entre sí.

La Tabla 3 muestra los niveles de potencia máxima permitida y el alcance aproximado para las distintas clases de dispositivos Bluetooth.

Clase	Potencia máxima permitida	Potencia máxima permitida	Alcance (aproximado)
clase 1	100 mW	20 dBm	~100 metros
clase 2	2.5 mW	4 dBm	~5-10 metros
clase 3	1 mW	0 dBm	~1 metro

**Tabla 3. Niveles de potencia máxima y alcances típicos para dispositivos Bluetooth.**

En la mayoría de los casos, la cobertura efectiva de un dispositivo de clase 2 se extiende cuando se conecta a un transceptor de clase 1. Esto es así gracias a la mayor sensibilidad y potencia de transmisión del dispositivo de clase 1, es decir, la mayor potencia de transmisión del dispositivo de Clase 1 permite que la señal llegue con energía suficiente hasta el de clase 2. Por otra parte, la mayor sensibilidad del dispositivo de clase 1 permite recibir la señal del otro pese a ser más débil.

Según fuentes de la industria ([https://www.bluetooth.org/About/bluetooth\\_sig.htm](https://www.bluetooth.org/About/bluetooth_sig.htm)), aproximadamente 14.000 compañías están actualmente desarrollando interfaces Bluetooth y 30 millones de unidades con Bluetooth se construyen semanalmente para los tres billones de dispositivos Bluetooth actualmente en uso.

Virtualmente cada nuevo ordenador portátil, smartphone o tablet tiene un interface Bluetooth. Interfaces Bluetooth están apareciendo en los nuevos automóviles y dispositivos de electrónica de consumo y entretenimiento, como la Nintendo Wii o la Sony Play Station Pro PSP-N1000, que incorpora además módulos Wi-Fi.

- **Tecnología Zigbee.** Es el nombre comercial para dispositivos que cumplen con el estándar IEEE 802.15, que define las bandas no licenciadas de 868 MHz (en Europa), 915 MHz (EE.UU) y 2450 MHz (en todo el mundo). Inicialmente fue diseñado para proporcionar interfaces de baja velocidad, baja potencia/consumo y bajo coste para transductores en entornos industriales.

Actualmente, los interfaces ZigBee se encuentran, cada vez más, en dispositivos domésticos que van desde interruptores de luz a monitores para pacientes en los hogares. Los dispositivos basados en el estándar IEEE 802.15 funcionan en el rango de niveles de potencia de hasta 1 W.

#### 4.2.2. Exposición a CEM. Parámetros técnicos y límites de exposición.

Como se ha comentado anteriormente, existe una gran variedad de dispositivos inalámbricos en nuestro entorno que operan en diferentes tecnologías, con niveles similares de potencia y en las mismas bandas frecuencia, por lo que, potencialmente, pueden presentar problemas de exposición a los CEM, y cuya ubicación presenta enormes problemas para la evaluación de la misma. Por otra parte, los dispositivos inalámbricos funcionan, típicamente, con ciclos de trabajo bajos y diferentes esquemas de modulación, por lo que conviene tener presentes estos parámetros a la hora de realizar estudios de evaluación a la exposición.

Por lo tanto, además de tener en cuenta que los niveles de exposición a campos electromagnéticos deben ser promediados, tanto espacial como temporalmente, hay que tener presente, en la realización de estudios sobre niveles de exposición los esquemas de modulación y el ciclo de trabajo de las señales transmitidas.

- **Niveles de exposición promediados espacialmente**

La FCC y otras comisiones científicas como la ICNIRP, expresan los límites de exposición en términos de exposiciones promedio durante períodos que van de 6 a 30 minutos. A medida que una persona se mueve en una habitación, su nivel de exposición variará debido a la naturaleza de la localización de la fuente y la medida relevante es un promediado espacial de la exposición.

Como una cruda indicación del efecto del promediado espacial, en la Tabla 2, se resumen los límites de exposición de un dipolo, promediado sobre un rango de distancias de 0,2 a 5 m de la antena. El promediado espacial, en este modelo, reduce la exposición media por un factor superior a 400.

- **Niveles de exposición promediados temporalmente y ciclo de trabajo de las señales**

Sin embargo, los dispositivos que integran la redes WLAN transmiten pulsos cortos de energía de RF, y el ciclo de trabajo de transmisión (la fracción de tiempo que la fuente transmite), tanto de los AP como de las tarjetas de usuario, es muy bajo.

La exposición promediada en el tiempo que producen está, consecuentemente, muy por debajo de la que produciría una fuente continua que emitiese el mismo nivel de potencia de pico, en un factor, igual al ciclo de trabajo.

En la práctica, diversos factores determinan el ciclo de trabajo de transmisión de los dispositivos interconectados de forma inalámbrica (Foster, 2007):

- Los protocolos anticolidión en el diseño de las redes, que previenen que exista más de un nodo de la red transmitiendo al mismo tiempo.
- La presencia de otros AP y usuarios usando el mismo canal.
- La calidad de la señal y la velocidad de transmisión del estándar 802.11 que está siendo utilizado.



- Los protocolos de transmisión usados en la redes WLAN, que requieren transmisión bidireccional de datos, aún cuando el usuario esté enviando o recibiendo datos, lo que reduce el ciclo de trabajo de los AP y las tarjetas de usuario.
- Otras limitaciones de la capacidad de la red, por ejemplo, la capacidad de la red fija que debe transmitir o recibir los datos de la red inalámbrica a la que está conectada el dispositivo Wi-Fi.

Todos estos factores hacen que las redes inalámbricas estén diseñadas para operar con bajos ciclos de trabajo y son cada vez más ineficientes a medida que éste se incrementa.

Los ciclos de trabajo de transmisión típicos en redes ZigBee están en el rango del 0,3% al 1% (Willig et al. 2005). En las aulas de las escuelas, y en condiciones de alto tráfico, los ciclos de trabajo medios de acceso de las tarjetas que incorporan los ordenadores portátiles a los puntos de acceso Wi-Fi se encuentran entre el 0,9% y el 4,8% (Khalid et al. 2011).

- **Modulación de las señales transmitidas**

Los dispositivos Wi-Fi usan diversos tipos de modulación, dependiendo de la variante del estándar que utilicen. Como consecuencia, la modulación crea muchas variables potenciales en la evaluación de la exposición a los campos electromagnéticos. A pesar de ello, la FCC, la ICNIRP y el IEEE no consideran en la definición de sus límites de exposición este parámetro, salvo en casos extremos, como son los pulsos cortos de muy alta intensidad. El motivo puede ser que no exista una base biofísica aceptada científicamente para esperar que la modulación, al contrario de lo que sucede con la densidad de potencia promediada en el tiempo, sea biológicamente significativa. (Foster y Rapacholi, 2004).

- **Densidades de potencia de pico**

El modelo de propagación en espacio libre permite una comparación aproximada de los potenciales niveles de exposición a los campos electromagnéticos de diferentes fuentes, aún en las proximidades de las antenas, donde la reflexión y atenuación de las superficies no es significativa (Anderson et al. 2007).

La Tabla 3 de la citada referencia, resume las densidades de potencia a una distancia de 20 cm de un dipolo de  $\lambda/2$  para niveles de potencia representativos, comparados con los límites de exposición de la FCC para exposición de cuerpo entero del público en general. Un dispositivo de 1 W de potencia de transmisión producirá una densidad de potencia de RF, a una distancia de 20 cm, que está muy por debajo de los límites fijados por la FCC, aún suponiendo una transmisión continua y no teniendo en cuenta el hecho de que la exposición a distancias tan próximas sería sólo una parte de la exposición total del cuerpo. La tabla muestra también la distancia a la que el nivel de exposición ha caído a  $1 \text{ mW/m}^2$  (un orden de magnitud típico de los niveles de exposición en entornos residenciales procedentes de diversas fuentes).

### 4.2.3. Evaluación de la exposición. Estudios sobre tecnologías inalámbricas

Dado el aumento creciente de infraestructuras de radiocomunicaciones basadas en redes WLAN, y por consiguiente, del despliegue de AP y el incremento en el uso de ordenadores portátiles con conexión Wi-Fi, se ha realizado un esfuerzo considerable en la evaluación a la exposición de RF de este tipo de redes. Así, por ejemplo, se han llevado a cabo estudios en los que se han efectuado medidas experimentales en diversos escenarios (Schmid et al. 2007, Peyman et al. 2011 y Lunca et al. 2012) y simulaciones numéricas (Martínez-Búrdalo et al. 2009).

Por otra parte, diversos grupos de investigación han propuesto mejoras y refinado la metodología para la evaluación de la exposición a redes WLAN (Verloock et al. 2010 y Bechet et al. 2012) o para el desarrollo de técnicas y estrategias de planificación de las mismas para reducir la exposición a los campos electromagnéticos (Koutitas et al. 2010). Conviene, no obstante, señalar que debido a la naturaleza de las señales de los dispositivos WLAN (señales pulsadas con bajos ciclos de trabajo) se necesita equipamiento de medida específico, y normalmente caro, para evaluar la exposición a la energía de RF del equipamiento Wi-Fi.

Uno de los escenarios donde el despliegue de redes WLAN ha suscitado una mayor controversia ha sido en las escuelas y colegios. A este respecto, los trabajos y estudios más extensos sobre los niveles de exposición a los campos electromagnéticos en estos escenarios, han sido realizados por (Peyman et al. 2011 y Khalid et al. 2011). El estudio fue encargado por la Agencia de Protección de la Salud (HPA, por sus siglas en inglés) del Reino Unido, que se embarcó en el año 2007 en un programa de medidas para evaluar los niveles de exposición de los dispositivos WLAN usados en las aulas.

Peyman y colaboradores (2011) en sus trabajos encontró una densidad de potencia de pico de, aproximadamente,  $5 \text{ mW/m}^2$  a una distancia de 1 metro, en un escenario con 28 AP y ordenadores que trabajaban en la banda de 2,45 GHz, y de alrededor de  $2 \text{ mW/m}^2$  a una distancia de 1,5 metros en un escenario con 14 dispositivos Wi-Fi en la banda de 5,8 GHz. Estas densidades de PIRE están considerablemente por debajo de los límites que aplica la normativa europea, que es de  $10 \text{ W/m}^2$  en ambas bandas de frecuencia.

En Khalid y colaboradores (2011) se describe la parte final de estudio realizado. En él se evaluó la influencia del ciclo de trabajo de las señales transmitidas, es decir, la proporción del tiempo que los dispositivos WLAN transmiten durante una lección en una clase típica. La medida del ciclo de trabajo de una señal digital transmitida, cómo se ha comentado anteriormente, proporciona información muy relevante para la evaluación de la exposición promediada en el tiempo.

Los resultados obtenidos se traducen en que, teniendo en cuenta el ciclo de trabajo de las señales, la exposición máxima promediada en el tiempo a una distancia de 0,5m era de  $220 \text{ mW/m}^2$  ( $22 \text{ mW/m}^2$  con un ciclo de trabajo de 1%) para el caso de los ordenadores y de  $22 \text{ mW/m}^2$  ( $87 \text{ mW/m}^2$  para un ciclo de trabajo del 12%) para los puntos de acceso. El ciclo de trabajo de los ordenadores monitorizados durante 30

minutos, variaba de 0,02% al 0,96% con una media de 0,08% (SD 0,10%) y para los puntos de acceso de las redes examinadas, la variación del ciclo de trabajo estaba entre 0,06% y 11,67% con una media de 4,79% (SD 3,76%). Aún en un escenario pesimista, suponiendo una clase con 30 ordenadores y un punto de acceso emitiendo una densidad de potencia máxima a una distancia de 0,5 m y con un ciclo de trabajo máximo, el nivel de exposición en la clase podría alcanzar los 16,6 mW/m<sup>2</sup>. Resulta superfluo decir que estos niveles representan una minúscula fracción si se comparan con los niveles establecidos por la ICNIRP, que fija un nivel de referencia de 10 W/ m<sup>2</sup>.

También en este mismo escenario, es decir, en escuelas y en aulas ocupadas por alumnos, se han efectuado una serie de medidas en Nueva Zelanda. Los resultados se presentan en (Informe Nueva Zelanda, 2014). Estas medias fueron realizadas tanto para APs como para ordenadores con conexión Wi-Fi. Los resultados obtenidos de exposición a los campos electromagnéticos están muy por debajo de los límites recomendados por la ICNIRP para el público en general. En concreto, para el caso de los APs, la exposición máxima promediada durante 6 minutos era equivalente al 0,024% del nivel de referencia para el público en general, es decir, casi 400 veces más baja que el nivel de referencia. Generalmente, los niveles de exposición eran inferiores al 0,01% (10.000 veces más bajos) de los niveles de referencia. En el caso de los ordenadores, los niveles de exposición obtenidos eran más bajos que los medidos en el caso de los AP.

En esta misma dirección, el gobierno canadiense abordó la problemática de la evaluación de la exposición a campos de RF en las escuelas. En (Informe Canadá, 2012) se presentan los resultados e información detallada de las medidas efectuadas en lo que denominaron “clase simulada”. La conclusión es que los valores medidos estaban 515 veces por debajo de los límites establecidos por la Agencia Reguladora Canadiense y que son similares a los de la ICNIRP, es decir, de 10 W/ m<sup>2</sup>.

- **SAR producida por dispositivos Wi-Fi**

Findlay and Dimbylow (2010) han calculado la SAR producida por antenas Wi-Fi en un niño, usando el método de las diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD) y modelos numéricos de un niño. Para una “configuración de exposición de caso peor” (antena Wi-Fi colocada a 3 cm de la cara), la SAR máxima sobre un volumen contiguo de 10 gramos de tejido en un niño de 10 años era de 817 mW/Kg de pico (durante un pulso de RF).

Suponiendo un ciclo de trabajo de transmisión del 1%, situación muy realista, esto corresponde a una SAR promediada en el tiempo de 8,17 mW/Kg, inferior en un factor de casi 250 a la restricción fijada por la ICNIRP para absorción de RF localizada, que es de 2 W/Kg.

Igualmente, otros estudios en otros escenarios de exposición han proporcionado resultados y valores en SAR muy inferiores a las restricciones básicas de la ICNIRP. (Parazzini et al. 2016) calcularon la SAR producida por una red WLAN cerca de una persona con un implante coclear. Los investigadores presentaron “diferencias localizadas” de hasta un orden de magnitud en SAR cerca del electrodo implantado comparado con la SAR producida en la misma localización de la cabeza sin el implante. Sin embargo, los niveles de SAR producidos por la WLAN fueron muy pequeños comparados con los límites. Por ejemplo, el 99% de los percentiles de SAR cerca de los electrodos del implante eran de casi 90 mW/Kg a 2,45 GHz y de 0,3 mW/Kg a 5,8 GHz, suponiendo un potencia incidente de RF de 10 W/m<sup>2</sup>, situación poco realista.

En Foster y Moulder (2013), se presenta una extensa bibliografía que resume la situación actual de la investigación acerca de los posibles efectos sobre la salud de redes Wi-Fi. Algunos de los estudios anteriormente referenciados están incluidos en la citada referencia.

En resumen, los diversos estudios de ingeniería referenciados han mostrado que:

- La densidad de potencia de pico de los dispositivos Wi-Fi está razonablemente bien caracterizada, tanto por los datos suministrados a las distintas agencias, como por medidas directas sobre diversos escenarios.
- La densidad de potencia promediada en el tiempo presenta altas variaciones debido a los diversos escenarios donde se han realizado las medidas, pero como consecuencia de los bajos ciclos de trabajo de transmisión de APs y ordenadores, ésta es siempre una pequeña fracción de la densidad de potencia de pico. Consecuentemente, la exposición del público en general a la energía de RF de redes WLAN bajo condiciones normales de funcionamiento, es una pequeña fracción de los límites fijados por las organizaciones reguladoras como la ICNIRP, el IEEE o la FCC.

Bien, es cierto, que los artículos citados no consideran la exposición resultante del contacto directo de un individuo con las antenas de un dispositivo Wi-Fi, pero la baja potencia de emisión y el bajo ciclo de trabajo de transmisión deberían garantizar el cumplimiento con los límites de SAR para la exposición localizada.

- **Efectos Biológicos producidos por sistemas Wi-Fi**

Para finalizar este breve análisis de los distintos estudios sobre la evaluación de la exposición a los CEM de las redes Wi-Fi conviene hacer una breve mención a los estudios que se han dedicado al análisis de los efectos biológicos de las redes WLAN. Un estudio bastante exhaustivo de los diversos estudios publicados sobre esta temática se encuentra en un artículo ya referenciado (Foster y Moulder, 2013).

Aunque los posibles efectos biológicos de la exposición a la radiofrecuencia es un tema que se lleva investigando desde los años 50 e incluso antes, actualmente existe una extensa literatura sobre la materia. Por ejemplo, en la base de datos del IEEE ICES (<http://http://ieee-emf.com/index.cfm>) se pueden encontrar actualmente unos 4.408 estudios de distinta relevancia cubriendo el rango de los 300 kHz a 300 GHz, sobre la temática. Sin embargo, a pesar de este gran número de estudios, muy pocos están relacionados explícitamente con la tecnología Wi-Fi o el estándar IEEE 802.11 y sus variantes.

(Foster y Moulder, 2013) ha realizado una búsqueda en la literatura sobre la temática en cuestión. En el citado artículo reseña una serie de investigaciones sobre la exposición de la tecnología Wi-Fi en animales y humanos. Señala 7 estudios que han seguido un proceso de “revisión por pares” y que tienen bien definidos sistemas de exposición y dosimetría. Incluye otras 6 referencias adicionales, que no han sufrido una “revisión por pares” o que tienen aparentes deficiencias técnicas (normalmente, carencias en la definición de los sistemas de exposición y dosimetría). Los resultados de estos estudios aparecen en la Tabla 4 y Tabla 5 de la citada referencia, donde se explica la temática sobre la que versan, los resultados que se han obtenido y los efectos observados. Señalar que estos estudios referenciados sobre la exposición a la tecnología Wi-Fi, usaban la banda ICM de 2,4 GHz, y ninguno usaba la banda de 5,2 a 5,8 GHz.

La principal diferencia, relevante biofísicamente, entre estas frecuencias es una profundidad de penetración más pequeña de la energía a frecuencias más altas; es decir, 0,4 frente a 1,1 cm en músculos a 2,45 GHz frente a 5,8 GHz, (Gabriel et al. 1996). No existe otra aparente razón biológica o biofísica para esperar que los efectos biológicos de la radiación Wi-Fi sean diferentes en las bandas de 2,4 GHz o de 5 GHz.

Los citados autores después de este análisis concluyen que existe un abrumador consenso de las agencias de salud mundiales en señalar que los niveles de exposición a los CEM están por debajo de los límites que estas establecen (ICNIRP e IEEE).

#### **4.2.4. Conclusiones**

En el momento actual, los aspectos ingenieriles de la evaluación a la exposición a los CEM de las redes WLAN son complejos, pero se conocen perfectamente y los diversos estudios realizados han proporcionado una correcta comprensión de los mecanismos de evaluación y de los posibles efectos que estos dispositivos Wi-Fi producen en los usuarios.

La literatura sobre efectos biológicos es mucho más dispersa, tanto en calidad como en los objetivos finales que analiza. Si bien se han descrito algunos efectos, las limitaciones técnicas en los estudios hacen que sean difíciles de interpretar. No obstante, con la literatura existente hasta el momento, no existe una base científica para anticipar cualquier efecto biológico derivado de los dispositivos Wi-Fi sobre el público en general.

La conclusión final de la generalidad de los estudios considerados es que los niveles de exposición a los campos electromagnéticos de RF derivados de las redes Wi-Fi, bajo condiciones normales de funcionamiento, representan una fracción de los límites fijados por los Comités Científicos (como la ICNIRP) o los Organismos de Normalización (como la FCC y el IEEE). Todas las conclusiones y recomendaciones contenidas en el anterior informe del CCARS (CCARS, 2013), en lo que respecta a las redes Wi-Fi, siguen siendo válidas.

A pesar de que los diversos Comités Científicos han repetidamente concluido que no hay evidencia sobre efectos en la salud debidos a la energía de RF a niveles por debajo de los establecidos internacionalmente (Verschaeve, 2012), los ciudadanos siguen preocupados y no sería admisible que las autoridades no respondieran a esta preocupación. El problema es cómo hacerlo adecuadamente.

### **4.3. Campos electromagnéticos en bandas de milimétricas y Terahercios (THz)**

Las aplicaciones que hacen uso de las ondas milimétricas (30 - 300GHz) y Terahercios (300GHz - 3THz), aunque novedosas, y limitadas, podrían ir creciendo en los próximos años en diferentes entornos industriales. Entre estas aplicaciones destacan las basadas en “imagen electromagnética” para sistemas de inspección no destructiva y telecomunicaciones de banda ancha de corto alcance.

Una de estas nuevas tecnologías de los últimos años es la relacionada con los escáneres de cuerpo en los aeropuertos. Se comenzaron a utilizar dos tipos de escáneres de cuerpo, los basados en pequeñas emisiones de rayos X y los basados en ondas en bandas milimétricas.

En Estados Unidos, donde primero se implantaron, la *Transport Security Administration* (TSA) retiró los primeros, entre otras razones, para garantizar la privacidad. En la Unión Europea, el uso de escáneres de seguridad en la banda de ondas milimétricas en los aeropuertos está permitido bajo regulación comunitaria (Reglamento UE 1141/2011).

Los escáneres actualmente utilizados usan radiación no ionizante en frecuencias de ondas milimétricas para generar, mediante reflejo en el cuerpo humano, una “imagen” del mismo. En el monitor de los escáneres se obtienen imágenes tridimensionales o, como se ha venido implantando actualmente por motivos de privacidad, un simple boceto de un perfil genérico de cuerpo humano indicando los puntos con potenciales objetos o dispositivos (armas, explosivos, etc.) adosados al cuerpo y que el escáner los detecta a través de la ropa.

La web de la TSA describe las características de los escáneres implantados en Estados Unidos. Se aclara que estos aparatos cumplen los estándares nacionales de seguridad y salud y se informa que no utilizan rayos X. No se conocen efectos adversos sobre la salud y se señala que la energía emitida en ondas milimétricas es 1000 veces menor que los valores indicados como límites seguros en las regulaciones y recomendaciones internacionales.

En un informe de seguridad realizado por el “U.S. Department of Homeland Security. Science and Technology Directorate” (2012) sobre uno de los modelos de escáner que más se ha implantado en los aeropuertos de Estados Unidos, incorpora un estudio de dosimetría con medidas emulando un entorno real (medidas con un detector de envolvente a 10 cm de la pared interior del escáner y del nivel máximo de campo eléctrico durante el caso peor de pulso emitido por el escáner). Corrigiendo diversos efectos de distancia en campo cercano entre las antenas transmisora y receptora (potencia de entrada relacionada con el voltaje de salida, características del detector de envolvente, paso de potencia recibida a densidad de potencia, y de campo eléctrico a densidad de potencia), se obtuvieron valores de campo eléctrico de 0,01 V/m o aproximadamente 0,027 W/m<sup>2</sup> en densidad de potencia, en la banda de frecuencias 24,5 – 24,6 GHz.

Para esta banda de frecuencias, el estándar americano para público general (IEEE, 2005) indica un límite de densidad de potencia de 10 W/m<sup>2</sup> promediado sobre un período de 5 minutos. Para exposición ocupacional, el límite se sitúa en 100 W/m<sup>2</sup> promediado sobre un período de unos 40 segundos. Los límites en la normativa española, para dichas frecuencias, se sitúan en 61 V/m respecto a campo eléctrico y 10 W/m<sup>2</sup> respecto a densidad de potencia.

La ICNIRP hizo público un informe en 2012 sobre el uso los escáneres de imagen electromagnética en bandas de ondas milimétricas. Considerando valores típicos de 10 a 100 mW de potencia radiada por las antenas en la banda de 30 a 100 GHz, con unos tiempos de entre 2 a 5s para completar un escaneo completo, y basándose en diferentes estudios de evaluación de SAR y de la profundidad de penetración en la piel, dicho Comité recomienda límites de exposición de 10 W/m<sup>2</sup> promediado en un determinado tiempo en función de la frecuencia (por ejemplo 6 min a 10 GHz). Para campos pulsados se recomienda como límite los 10 KW/m<sup>2</sup>. Ambos valores para público general. El informe indica que el máximo nivel de exposición alcanzado es de 1 KW/m<sup>2</sup> que estaría 10 veces por debajo de los límites recomendados para público general.

Por otro lado, el Comité Científico de la Comisión Europea (SCENIHR, 2015) indica que de manera genérica dichas emisiones no afectan significativamente a la exposición media del público general. Estos escáneres operan con bajas potencias y sólo los tejidos superficiales quedan expuestos debido a la baja profundidad de penetración de la radiación en dichas frecuencias. En cuanto a sus efectos en la salud, indica que el número de estudios que han investigado efectos biológicos y no-térmicos son escasos debido a la complejidad de la tecnología para disponer de generadores y detectores adecuados. Experimentos sobre ratas irradiadas no indican toxicidad o carcinogénesis definidas y crónicas. Estudios in vitro sobre células de mamíferos sugieren algún efecto sobre la salud pero no han sido replicados. En todo caso, dado el esperado incremento del uso de las tecnologías en la banda de THz, se recomienda incrementar la investigación sobre los efectos en la piel por radiaciones de larga duración y baja intensidad y en la córnea por radiaciones de alta intensidad y corto tiempo.

En parecida dirección apuntan dos estudios recientes sobre exposición a campos electromagnéticos en las bandas de ondas milimétricas y de Terahercios, respectivamente. En el primero (Gallerano et al. 2014), sobre el efecto de las ondas milimétricas en fibroblastos humanos in vitro, se concluye que no se observaron diferencias entre las células irradiadas y las de control.

Sin embargo, en el segundo estudio (Gallerano et al. 2015), el mismo equipo de investigadores, entre los que se incluye el coordinador del proyecto europeo THz-BRIDGE, analizan, basándose en el conteo de micronúcleos en células binucleares, el efecto de ondas en bandas de frecuencia de Terahercios (más próximas a las frecuencias ionizantes), encontrando un cierto incremento de pérdida de cromosomas tras la irradiación.

Los mismos autores indican que deberían ampliarse dichos experimentos para confirmar el efecto de cambio en el número cromosómico y su relación más exacta con las dosis suministradas para poder proporcionar nuevas guías de exposición a campos electromagnéticos en estas frecuencias.

#### **4.3.1. RFID, medidores inteligentes, dispositivos adosados al cuerpo, Internet de las Cosas**

Respecto de las aplicaciones de identificación por radiofrecuencia (RFID, por sus siglas en inglés), en el funcionamiento de esta tecnología inalámbrica hay que diferenciar los lectores RFID que además actúan de transmisores de la señal RFID y las etiquetas o tags que reemiten una cierta cantidad de la energía electromagnética de la que les llega.

En el caso más común de etiquetas pasivas, dicha cantidad es mucho menor que la que emite el lector y, por tanto, a efectos de emisiones sería dicho lector el que genere la mayor parte.

Si bien hay considerable bibliografía sobre el efecto de la tecnología inalámbrica RFID en varias formulaciones de productos farmacéuticos o en dispositivos médicos implantados (Novotny et al. 2008, Censi et al. 2010 y Calcagnini et al. 2012), son mucho menores los estudios sobre el efecto de la exposición humana a las emisiones electromagnéticas debido a esta tecnología inalámbrica tan extendida.

Un informe (AFSSET, 2009) sobre evaluación del impacto sanitario de los sistemas RFID, indica que, debido a las frecuencias y los sistemas de modulación empleados, los efectos de esta tecnología en la salud humana no son específicos respecto de las demás aplicaciones inalámbricas existentes. Debido a la baja potencia de transmisión y a las situaciones de exposición específicas, los sistemas RFID no causan efectos térmicos significativos. De las múltiples potenciales bandas de esta tecnología, en la banda baja (125-134,5 kHz) e intermedia (13,56 MHz), el campo magnético es dominante y disminuye muy fuertemente con la distancia a la fuente. Aunque los niveles de campo en contacto con el dispositivo transmisor puedan ser elevados, los valores promediados en diferentes puntos del cuerpo humano son inferiores a los límites seguros, más aún si se consideran medidas a la distancia normalizada de 20 cm.



En las bandas de microondas (entre 868 MHz y 5,8 GHz), la dosimetría puede derivarse de otras tecnologías inalámbricas similares que usen las mismas bandas de frecuencias. Se indica que, debido a la ausencia de datos precisos sobre los efectos en la salud asociados con la tecnología RFID, es deseable que los fabricantes tengan en cuenta, en el diseño de los dispositivos, la exposición de las personas (trabajadores y de la población general) con el fin de verificar el cumplimiento de los límites reglamentarios.

Un estudio de dosimetría (Sungsik et al. 2008) en la banda más baja (13,56 MHz) indica que, bajo medidas en configuración estandarizada, se obtuvo un valor de campo eléctrico promediado espacialmente de 0,93 V/m, que está por debajo del nivel de referencia de 28 V/m establecido como límite recomendado por la ICNIRP. En otro estudio (Zulim et al. 2012), se midieron los valores de SAR en diferentes configuraciones debido a una antena de lazo en la misma banda de 13,56 MHz, que arrojaron unos valores de hasta 0,02406 mW/kg, siendo el límite de la ICNIRP para público general de 80 mW/kg.

Otro estudio de dosimetría, pero a través de extrapolación de simulaciones con métodos numéricos (Arumugam y Engels, 2008), suponiendo 2 lectores RFID en la banda de UHF y a 10 cm de un modelo de cabeza humana, resultaron en una contribución aditiva de SAR de hasta 2,02763 W/kg, valor superior al límite establecido por la FCC (1,6 W/kg).

En relación a las etiquetas RFID, un caso extremo se da en aquellas aplicaciones de medida de parámetros clínicos del propio cuerpo humano (etiquetas adosadas, implantadas, o en cercanía del mismo). Estas aplicaciones, estudiadas en algunos artículos (Amendola et al. 2014, Manzari et al. 2012, Occhiuzzi y Marrocco, 2010 y Di Giampaolo et al. 2009) para la banda de UHF, indican resultados tranquilizadores en cuanto a dosimetría. Se indica un caso de sistema RFID para vigilancia nocturna de parámetros clínicos, emitiendo con una PIRE de 3,2 W y 1 interrogación por segundo, donde los límites más restrictivos de 6 V/m de campo eléctrico se respetan suficientemente en las proximidades de la cama del paciente.

Otro estudio de interés sobre pequeños dispositivos inalámbricos adosados al cuerpo es el realizado por (Phan-Huy et al. 2014) a través de medidas en la banda de 2,4 GHz y transmisión dúplex con división temporal (TDD), utilizando técnicas de modulación y transmisión en banda ancha OFDM – MIMO, con una de las antenas de bajo perfil pegada al cuerpo (3-5 mm), y la otra antena a 2 m, con potencia de transmisión de 18 dBm (parecida a la de algunos teléfonos móviles) y promediando 20 minutos. En el caso peor de configuración, se obtuvo un valor de SAR de 0,96 W/kg, muy por debajo del valor límite estándar de 10 W/kg recogido en regulaciones internacionales.

En relación con los medidores inteligentes (“*smart meters*”) basados en tecnologías inalámbricas, el comité *Committee on Man and Radiation* (COMAR), operando bajo el paraguas de la *Engineering in Medicine and Biology Society* (EMBS) of the *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), emitió un informe (COMAR, 2013) sobre

dichos medidores en bandas libres de 902-928 MHz y 2,4-2,48 GHz. En él se indica que, al emitirse pulsos de radiofrecuencia con un ciclo de trabajo pequeño (con un acumulado de unos pocos minutos al día) y con potencias de emisión muy reducidas, los niveles de emisiones en las cercanías de dichos dispositivos están muy alejados de los límites de seguridad establecidos por los organismos internacionales, tanto en lo que se refiere a valores de densidad de potencia de pico como promediados en el tiempo, y tanto para medidores aislados como para bancos de medidores.

Otro estudio (Zhou y Schneider, 2012), en este caso mediante simulación numérica, de un medidor inteligente inalámbrico en las bandas de 850 MHz y 1900 MHz, considerando un caso peor de transmisión continua, indica valores estimados de SAR por debajo de los límites establecidos, excepto en la situación en que la persona colocara su cabeza justo al lado del medidor. Si los valores de SAR se ponderan para tener en cuenta un ciclo de trabajo típico (0,088 %), un factor de reducción de 1.000 haría que incluso en ese caso de la cabeza pegada al medidor se estaría por debajo de los límites establecidos.

El comité ARPANSA (*Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Australian Government*), emitió un informe (Wijayasinghe y Karipidis, 2013) sobre ensayos preliminares de medidores inalámbricos de una red inteligente. En él se indica que la exposición instantánea a 0,5 m de un medidor con potencia de transmisión de 1W es 15.000 veces menor que los límites establecidos. En promedio temporal sobre 6 minutos, el valor máximo esperado a 0,5 m es de  $2,1 \text{ mW/m}^2$ , representando el 0,046 % del límite para público general. Por tanto, los niveles medidos y calculados quedan muy por debajo de los límites de exposición. Como referencia, se indica que las frecuencias utilizadas están próximas y las potencias transmitidas ligeramente inferiores a las utilizadas en transmisión GSM de telefonía móvil y que, por tanto, los niveles de exposición de dichos medidores inalámbricos serán ligeramente inferiores a los de otras tecnologías inalámbricas como los teléfonos móviles.

#### **4.3.2. Radioteleetría (radiotransmisores en animales)**

Estudios realizados con animales que portaban radiotransmisores en el rango de 27 a 401 MHz con potencias inferiores a 10 mW, concluyen en la alta improbabilidad de que dichos efectos sean nocivos para los animales (Mech y Barber, 2002). Sin embargo, no parece haberse acometido estudios del efecto de niveles superiores de emisión como es el caso de la telemetría por satélite con potencias en el rango de 250 mW a 2 W. El primer factor y más importante como responsable de daños potenciales en los animales portando radiotransmisores es el peso/tamaño de los dispositivos asociados. Sin embargo, los efectos negativos de los radiotransmisores que se han detectado a veces en el éxito reproductivo y de supervivencia de los animales que los portaban, no son directamente proporcionales al peso/tamaño de los dispositivos. Este hecho y la falta de estudios rigurosos en otras frecuencias, otros niveles de potencia y largas exposiciones dejan la puerta abierta a la necesidad de futuras investigaciones (Balmori, 2016).

### 4.3.3. Tecnologías inalámbricas para Drones

El uso cada vez más extendido de pequeños vehículos aéreos no tripulados (con diferente terminología en sus matices: Dron, UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) o RPA (*Remotely Piloted Aircraft*)), tanto para actividades de ocio como comerciales o profesionales, sugiere revisar los elementos inalámbricos integrados y su posible relación con la exposición humana a campos electromagnéticos. Los dispositivos inalámbricos incorporados más usuales son los destinados al telemando-telecontrol para el guiado de la aeronave y a la transmisión de video para pilotaje FPV (*First Person View*), si bien el transmisor FPV va alojado en el dron lo que minimiza su efecto en cuanto el dron vuela a una cierta distancia del piloto.

Aunque existen en el mercado dispositivos operando en diferentes frecuencias y potencias de transmisión, si nos acogemos a la normativa española del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) en cuanto a frecuencias y potencias, las opciones están más limitadas. Si bien existe una “nota de Utilización Nacional” en banda de 35 MHz y uso común para telemando en aeromodelismo, donde la potencia de los equipos puede alcanzar 500 mW y la potencia radiada aparente (PRA) 100 mW, la mayor parte de los sistemas comerciales están utilizando bandas de uso común en 2,4 GHz y 5,8 GHz para telemando y FPV.

Las notas de Utilización Nacional más directamente aplicables son las correspondientes a los dispositivos de corto alcance en dichas bandas de uso común, admitiéndose valores de potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) de 10 mW y 25 mW para las bandas de 2,4 GHz y 5,8 GHz respectivamente.

Pese a la existencia de estudios realizados en bandas de microondas para otras aplicaciones inalámbricas de las que se podría extrapolar alguna conclusión, la potencial evolución de la normativa aeronáutica que regule estos dispositivos tanto para recreo como para actividades profesionales, su posible impacto en nuevas notas de Utilización Nacional para uso del espectro por parte de los elementos inalámbricos de los drones (que podrían modificar bandas y límites de potencia), así como la escasez de estudios realizados bajo la configuración específica de dicha aplicación, cabe sugerir la necesidad de fomentar estudios específicos de dosimetría y de impacto en la salud humana.

### 4.3.4. Conclusiones

Las bandas de frecuencia milimétricas y de terahercios están encontrando interés en aplicaciones fundamentalmente de inspección no invasiva como escáneres de aeropuertos. Las administraciones que han implementado dicha tipología de escáneres han reportado dosimetrías sobre el cuerpo humano con valores notablemente inferiores a los que marcan las recomendaciones internacionales (ICNIRP). Otros organismos (SCENIHR) y proyectos europeos (THz-BRIDGE) recomiendan incrementar la investigación, sobre todo en las frecuencias de terahercios más próximas a las

ionizantes. Y ello, porque aunque existen estudios de irradiación sobre animales que no indican toxicidad o carcinogénesis en esas bandas, otros presentan indicios de efectos que no habiéndose podido replicar, indican la necesidad de realizar más estudios con mayor profundidad, para que, en su caso, se establezcan nuevas recomendaciones y límites de exposición en estas frecuencias.

En cuanto a nuevos sensores con tecnologías inalámbricas (IoT, Smart meters, RFID, etc.), la mayoría de ellos trabajan en bandas de radiofrecuencias (inferiores al gigahercio) o en bandas de microondas (muchos de ellos en bandas libres ICM). Por las características de las frecuencias y potencias de emisión, los estudios dosimétricos y de impacto biológico no deberían ser diferentes de los que se vienen realizando en los últimos años en las bandas de radiofrecuencia y microondas y que se han ido reflejando en informes de organismos internacionales.

Algunos estudios particulares para estas nuevas aplicaciones indican dosimetrías notablemente inferiores a los límites de recomendaciones internacionales, incluso en valores de SAR para dispositivos inalámbricos adosados al cuerpo.

Menor ha sido la investigación en radiotransmisores en animales (típicamente para su seguimiento) a la hora de incluir también el efecto de las emisiones entre otros efectos analizados.

También merece ser destacada otra de las aplicaciones emergentes como es la utilización de vehículos aéreos no tripulados (dron, UAV, RPA, etc.) que, en sus diversas modalidades y aplicaciones, hace uso de la tecnología inalámbrica (emisora y dron) en las cercanías del piloto. Telemando, telecontrol y transmisión de video son las operaciones típicas que se suelen implementar con transmisores en bandas de microondas. Si bien los estudios dosimétricos y biológicos en estas bandas son amplios, por las bandas y potencias tanto establecidas en reglamentos actuales como futuros como implementadas en dispositivos comerciales, parece necesaria una evaluación dosimétrica para establecer recomendaciones de uso de esta tecnología.

#### **4.4. Aplicaciones médicas y exposición laboral a RF Real Decreto 299/2016 y Directiva 2013/35/UE.**

##### **4.4.1. Aplicaciones médicas de las RF y los CEM**

###### **Introducción**

Desde principios del Siglo XX y, sobre todo a partir de su segunda mitad, el desarrollo de las especialidades médicas Electromedicina, Terapéutica Física, Fisioterapia y Rehabilitación, vienen aportando múltiples indicaciones para el uso de las radiaciones electromagnéticas, concretamente la RF. Su uso, se basa en un efecto físico común a muchas de ellas y con una respuesta biológica aplicable al tratamiento de múltiples patologías. El efecto físico (Muñoz et al. 2014) es el calor que provoca, siempre en función de su intensidad, reacciones orgánicas, cuya profundidad y efectos en el organismo van a estar en relación directa con las características de la corriente eléctrica.

Términos como Diatermia, Ultrasonidos, Onda Corta, Microondas etc. son bien conocidos en una medicina de Fisioterapia y Rehabilitación y con una finalidad fundamental, la analgesia y el control del dolor, vinculado a procesos de carácter inflamatorio. Pero la tecnología de la segunda mitad del Siglo XX y hasta nuestra época ha permitido expandir el campo de aplicación de la RF (de Andrés et al. 2011).

En esta revisión se analizarán, dentro de las múltiples aplicaciones posibles, tres áreas donde su desarrollo, a día de hoy, permite considerar el uso de las corrientes de alta frecuencia como técnicas ya estandarizadas en la práctica médica y aceptadas internacionalmente.

### **Radiofrecuencia en cosmética y medicina estética**

La energía por RF, tiene varias aplicaciones en la medicina estética como son, el estiramiento de la piel, la disminución de la celulitis, tratamiento de las cicatrices por acné y la eliminación del vello (Belenky et al. 2012). Su base biológica es el calentamiento de las diferentes capas de la dermis. Se trata de un procedimiento indoloro y, por tanto, de fácil aplicación y excelente tolerancia. La frecuencia del espectro energético para estas aplicaciones es de alrededor de los 10 MHz, en el rango de la denominada Onda Corta. Los efectos térmicos dependen del tipo de nivel de energía, la duración del tratamiento y el tipo de tejido que atraviesa. Influye además el tipo de radiofrecuencia aplicada, unipolar o bipolar y el tamaño y forma del electrodo. Si la intensidad es constante, cuanto mayor es la resistencia que ofrece el campo del tejido al paso de la radiofrecuencia, mayor es el calor que se genera. La grasa, concretamente, tiene una resistencia 10 veces mayor que la piel.

La temperatura que se alcanza en la dermis, que se considera útil para esta modalidad está en un rango entre 55 y 62 °C. Por ello hay una sensación de calor intenso durante el tiempo de aplicación y eritema que puede mantenerse hasta 1-2 horas después. Los efectos finales a nivel de los tejidos pueden sintetizarse en la formación de nuevo colágeno, mejoría del drenaje linfático, favorecimiento de la circulación en la piel y tejido celular subcutáneo y migración de los fibroblastos.

El resultado, en un breve espacio de tiempo, es una mayor elasticidad de los tejidos. Por todo ello, esta técnica es ampliamente utilizada para la recuperación de esta elasticidad, fundamentalmente en el área facial, aunque también puede abarcar otras áreas corporales, para reafirmar la piel combatiendo la flacidez, eliminación de la celulitis, rejuvenecimiento cutáneo, que serían, en definitiva las indicaciones principales de esta técnica.

Aunque no se sabe mucho de los posibles efectos secundarios, no debe aplicarse durante el embarazo y lactancia ni a portadores de dispositivos eléctricos, marcapasos, prótesis o válvulas cardíacas. También deben de quedar fuera de estas técnicas, pacientes oncológicos, portadores de VIH en tratamiento, patologías cutáneas infecciosas y cicatrices queloides, pacientes en tratamiento con corticoides, enfermedades neurodegenerativas, patologías del tejido conectivo y coagulopatías.

La exposición de los operadores no es conocida y en cuanto a los pacientes, la energía puede alcanzar los  $144 \text{ J/cm}^2$  ( $1\text{J} = 1\text{W/s}$ ) (Lolis y Goldberg, 2012).

### **Radiofrecuencia en el tratamiento del dolor**

La utilización de la Radiofrecuencia para el tratamiento del dolor, habitualmente de tipo crónico, ha sido utilizada con gran difusión a lo largo del Siglo XX (ANMM, 2011). Actualmente el progreso tecnológico ha permitido, por un lado, ampliar sus indicaciones clínicas y, por otro, minimizar sus efectos secundarios. En el dolor crónico se trata, por tanto, de acometer dos respuestas, la propiamente analgésica y la recuperación fisiológica perdida.

Genéricamente se considera una técnica no invasiva o mínimamente y de acceso generalmente percutáneo. La energía de RF actualmente utilizada tiene una frecuencia de alrededor de los 500 KHz. Mediante un aplicador la energía de la radiofrecuencia se deposita en el tejido a tratar, produciéndose un aumento local de la temperatura. Existen dos procedimientos, la radiofrecuencia térmica continua, convencional, lesiva o ablativa. Como su nombre indica se trata de aplicación continua de energía de RF con la finalidad de "lesionar" la zona en contacto con la punta activa, mediante una elevación controlada y mantenida de la temperatura a este nivel. La temperatura por este procedimiento alcanza los  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ .

En la radiofrecuencia pulsada (Chua et al. 2011), la RF se aplica de manera intermitente, no alcanzándose en el tejido diana una temperatura ablativa. Se trata de alcanzar en la punta activa, únicamente un depósito de energía suficiente para cumplir una función neuromoduladora de la transmisión del estímulo doloroso. En general en el procedimiento pulsado, el máximo de temperatura no sobre pasa los  $420 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Según la cantidad de polos que actúan en la aplicación de la RF, esta puede ser monopolar o bipolar. La "lesión" provocada por la RF, varía en su tamaño y morfología, en relación con el diámetro de la aguja, el tamaño de la punta activa, el tiempo de tratamiento y la posición de los electrodos en el caso bipolar (Cosman et al. 2005). Es sabido que el campo eléctrico depositado en el tejido decae proporcionalmente con la distancia.

Existe actualmente, en la práctica clínica habitual una tendencia a colocar la punta activa del electrodo, lo más tangencialmente posible al trayecto del nervio a lesionar, con intención de crear el mayor grado de extensión de la lesión. Esta opción, frente a la colocación perpendicular de la punta activa, no obedece a patrones bien definidos.

El tiempo de aplicación del tratamiento viene condicionado por el tamaño de la lesión. Como idea general hay que tener en cuenta que a partir de los 60-90 segundos de aplicación, el crecimiento es mínimo respecto al experimentado hasta ese momento.

Los rangos de temperatura oscilan entre los  $450 \text{ }^\circ\text{C}$  en la zona ablativa y los  $900 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatura de ebullición, carbonización de la lesión.

Factores que también pueden alterar los resultados son la disipación térmica de los tejidos debida a la perfusión sanguínea y la falta de homogeneidad del tejido.

- **Uso Clínico de la Radiofrecuencia en dolor crónico**

El conocimiento de la forma de actuación de la RF y su concepto, nos recuerda que es una técnica neurolítica, que usa calor para producir destrucción tisular controlada y origina una reducción del dolor sin producir signos clínicos de lesión nerviosa.

En relación con lo dicho en el apartado de Biofísica, en la aplicación clínica conviene recordar que la RF pulsada produce temperaturas de 45 °C o más y es capaz de provocar la neuroablación por termocoagulación, siendo el efecto de la lesión, más duradero.

La RF pulsada de alto voltaje con fluctuaciones, no llega a producir coagulación de los tejidos pero sí, inhibición transitoria de la actividad sináptica. Al no ser neurodestrucciona, es reversible.

Algunas indicaciones aceptadas actualmente:

- Neuralgia del trigémino, quizás una de las más antiguas aplicaciones conocidas ya desde los años 30s, con el nombre de rizotomía trigeminal percutánea y reportando mejoría evidente.
- Dolor cervical crónico, cervicobraquialgia y cefalea cervicogénica, con escasas referencias de resultados.
- Dolor de columna torácica generado por patologías diversas, hernias, aneurismas, tumores, fracturas o infecciones. Respuestas escasamente duraderas y con no pocas complicaciones.
- Dolor lumbar (Abejón, 2007) probablemente en el más utilizado. Aunque generalmente inespecífico, suele originarse en los discos intervertebrales, apofisarios o de la articulación sacroilíaca. Las respuestas más conocidas son a nivel de los discos por aplicación de calor, bien en su anillo fibroso o bien en su núcleo.
- Dolor pélvico o sacro. Es más selectiva la actuación de la RF que el uso de neurolíticos. Ganglios de la raíz dorsal, lumbares o sacros y articulación sacroiliaca y ganglios presacros son algunas de sus indicaciones.
- Dolor visceral. La RF aplicada sobre los nervios espláncnicos parece mejorar la respuesta en dolor pancreático, crónico u oncológico y hepático.
- Dolor en nervios periféricos. Actuando con RF pulsada, no destructiva. Nervio supraorbitario, intrapatelar, tibial posterior, epicondilitis, neuromas y neuropatía post herpética serían algunas indicaciones.

- Espasticidad. Se ha probado en niños con parálisis cerebral, con RF sobre ganglio de la raíz dorsal. Muy escasa respuesta y nulas complicaciones.
- Dolor oncológico, incluido en el manejo paliativo de estos enfermos, para evitar técnicas de neurolisis y sus complicaciones.

Puede concluirse que, en manos expertas y dadas las escasas o nulas complicaciones que presenta el tratamiento con RF, debe considerarse un método seguro y con buenas tasas de éxito. Baja incidencia de morbilidad y mortalidad. Solo requieren sedación o anestesia local.

### **Tratamiento de tumores mediante RF**

Como ya se ha comentado, la RF forma parte de un grupo de terapias denominadas Técnicas Mínimamente Invasivas, TMI. Se basa en la ablación de tejidos mediante la provocación de calor en la punta activa de un electrodo. El efecto es la muerte celular y la producción de una necrosis por coagulación de los tejidos, rodeada de un halo con cambios inflamatorios.

La causa de la necrosis es la desnaturalización de las proteínas y ruptura de la membrana celular, lo que se produce pocos minutos después de que se alcance una temperatura de los 60 °C.

Los generadores útiles para este tipo de procedimientos de Radiofrecuencia (de Andrés et al. 2012), tienen una potencia entre 50 y 200 W, que producen una corriente eléctrica alterna entre 460 y 500 KHz.

Los electrodos pueden ser, bien una aguja gruesa simple con una punta activa o bien con un sistema de microfibras coaxiales que se abren en forma de paraguas una vez introducidas en el seno del tejido objeto de tratamiento. Estos dispositivos transforman la energía eléctrica en calor dentro de los tejidos.

Para hacer llegar estos dispositivos vectores de la energía eléctrica y posicionarlos adecuadamente, la maniobra se guía por imágenes, obtenidas bien por Ultrasonidos, por Tomografía Computarizada o por Resonancia Magnética. El avance tecnológico de estos procedimientos viene permitiendo una mayor certeza en su colocación y, como consecuencia, mejores resultados.

Conviene recordar la influencia de la vascularización en el efecto de lavado de la sangre respecto al depósito de temperatura y que puede impedir que esta alcance su carácter destructivo. Por eso en las indicaciones más adecuadas para esta técnica, serían los tumores pequeños, menores de 4 cm y rodeados de grasa.



Las maniobras técnicas (Racz y Ruiz Lopez, 2006 y Sluijter y Racz, 2002), han de realizarse siempre con la participación de especialistas en Radiodiagnóstico para su control mediante Ultrasonidos, por Tomografía Computarizada o por Resonancia Magnética y guiar así el electrodo, bien aguja única o tipo paraguas, al centro del proceso objeto del tratamiento.

Las temperaturas alcanzadas en este procedimiento, se consideran adecuadas entre 50 y 60 °C durante un periodo de tiempo de 12 a 15 minutos.

Finalizado el procedimiento, nuevo control radiológico que se repite a los 30 días y a partir de los 3 meses para valorar la respuesta.

- **Indicaciones quirúrgicas por Radiofrecuencia**

Las evidencias científicas, muy abundantes desde la última década del siglo pasado, se corresponden con tumores de diámetros máximos de 4-5 cm y en las localizaciones siguientes:

- Tumores hepáticos primarios (Weis et al. 2013)
- Metástasis hepáticas en tamaño, número y localización, accesibles.
- Esófago de Barret (Van Vilsteren, 2010)
- Tumores renales, fundamentalmente exofíticos y rodeados de grasa.
- Tumores suprarrenales.
- Tumores pulmonares primarios no microcíticos (Zhu et al. 2009, Lanuti et al. 2009).
- Metástasis pulmonares únicas (Giliaqms y Lees, 2008).
- Tumor tiroideo único.
- Tumor de Próstata.
- Fascítis plantar
- Osteoma Osteoide (Yip et al. 2006)
- Trastornos del ritmo cardiaco. Síndrome de Wolf Parkinson White, Fibrilación auricular, AVNRT, taquicardia ventricular (Calkins et al. 2007 y Miller y Zipes, 2012).
- T. Cutáneos.
- Otros.

### **Los Riesgos y complicaciones**

Tienen que ver prioritariamente con la localización anatómica del tumor y la cavidad orgánica en la que éste está implantado, tórax o abdomen.

También existen limitaciones para estas técnicas. La principal es el tamaño o la multicentricidad tumoral. Pero también las coagulopatías o las enfermedades concomitantes de carácter agudo y grave, sepsis por ejemplo. La esperanza de vida inferior a 1 año es otra limitación de carácter excluyente.

En las actuaciones a nivel cardíaco, sangrados del punto de inserción del catéter, formación de coágulos, daño a las válvulas cardíacas o arterias coronarias, líquido pericárdico, taponamiento cardíaco.

### **Beneficios**

Si la selección del caso a tratar es correcta, puede afirmarse que esta técnica, no es cruenta, ya que es un tratamiento mínimamente invasivo, la incisión cutánea es minúscula, no requiere hospitalización y tiene un alto grado de respuesta favorable. Puede incluso repetirse si es necesario. Los riesgos y complicaciones son poco comunes, con un índice de morbilidad muy bajo. Su índice de eficiencia es muy alto, ya que para su elevado grado de respuesta el coste del proceso es bajo en su conjunto.

#### **4.4.2. Exposición laboral a CEM, Real Decreto 299/2016 y Directiva 2013/35/UE**

En la Unión Europea, con el objetivo de garantizar la protección de los trabajadores se aprobó la Directiva 89/391/CEE, transpuesta al derecho español por la Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales. En 2004 y ante el aumento de tecnologías que utilizan emisiones radioeléctricas en el ámbito del trabajo se aprobó una Directiva específica cuyo plazo de transposición se fue prolongando hasta 2013 y que nunca llegó a transponerse. La Directiva actual, 2013/35/UE, sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos), deroga la Directiva 2004/40/CE.

Esta Directiva, establece disposiciones mínimas en materia de protección de los trabajadores contra los riesgos para la salud y la seguridad derivados o que puedan derivarse de la exposición a campos electromagnéticos en el trabajo. Se trata de disposiciones destinadas a fomentar la mejora del entorno de trabajo, para garantizar un mayor nivel de protección de la salud y la seguridad de los trabajadores. Un sistema que garantice un elevado nivel de protección por lo que se refiere a los efectos adversos para la salud y los riesgos para la seguridad que pueden resultar de la exposición a campos electromagnéticos.

Asimismo, tiene en cuenta a grupos específicos de trabajadores que presenten un riesgo particular, por ejemplo, para evitar problemas de interferencia con dispositivos médicos tales como prótesis metálicas, marcapasos y desfibriladores cardíacos e implantes cocleares y de otro tipo, u otros dispositivos médicos implantados o llevados en el cuerpo, o evitar efectos en el funcionamiento de tales dispositivos. Los problemas de interferencia, en particular con marcapasos, pueden ocurrir a niveles inferiores a los niveles de actuación y, por tanto, deben ser objeto de medidas preventivas y de protección adecuadas.

La Directiva aborda todos los efectos biofísicos directos conocidos y los efectos indirectos causados por campos electromagnéticos.

Los valores límite de exposición establecidos en la Directiva 2013/35/UE se refieren únicamente a los vínculos comprobados científicamente entre los efectos biofísicos directos a corto plazo y la exposición a los campos electromagnéticos. Hay que destacar que la Directiva no aborda los posibles efectos a largo plazo.

La Comisión Europea deberá examinar continuamente los últimos avances científicos, incluidos los efectos a largo plazo, y si se producen cambios, proponer las acciones pertinentes, incluidas modificaciones normativas.

La Directiva define y trata no sólo los efectos sobre el organismo como los efectos térmicos (calentamiento de los tejidos por la absorción en los mismos de energía procedente de campos electromagnéticos), y los efectos no térmicos, sino también los efectos indirectos, causados por la presencia de un objeto en un campo electromagnético que pueda entrañar un riesgo para la salud o la seguridad. Por ejemplo, interferencias con equipos y dispositivos médicos electrónicos (incluidos los marcapasos cardíacos y otros implantes o dispositivos médicos implantados o llevados en el cuerpo) y el riesgo de proyección de objetos ferromagnéticos en campos magnéticos estáticos, y otros.

La Directiva, no sólo garantiza la salud y la seguridad de cada trabajador individualmente, sino que también crea una base mínima de protección para todos los trabajadores de la Unión, así como disminuye las posibles distorsiones de la competencia debidas a la ausencia de normativas de protección. Se establecen los requisitos mínimos, pero los Estados Miembros podrán imponer medias más estrictas o proteccionistas.

Creemos oportuno mencionar la repercusión que tuvo la publicación de la derogada Directiva 2004/40, en el ámbito médico, concretamente en las técnicas de imagen mediante Resonancia Magnética (RM)<sup>2</sup>.

Las partes interesadas, en particular el colectivo médico, se mostraron muy preocupadas en cuanto a la posible incidencia de la aplicación de dicha Directiva en la utilización de procedimientos médicos basados en la obtención de imágenes médicas mediante Resonancia Magnética. El texto afectaba a los trabajadores con estos equipos: médicos, técnicos de imagen y enfermería, pudiendo limitar de una forma dramática la utilización de dicha técnica.

---

<sup>2</sup> *La Resonancia Magnética es una herramienta de diagnóstico cuyo uso ha aumentado significativamente en las 3 últimas décadas, especialmente en el ámbito de la asistencia sanitaria y la investigación biomédica. Para la obtención de las imágenes la RM utiliza un campo magnético estático, gradientes de campo magnético y radiofrecuencia.*

Es por todo ello, que se constituyó la alianza de sociedades científicas y personalidades acreditadas (Alliance for MRI), que propugna que el contenido de aquella Directiva no fuese aplicable a las actividades clínicas y de investigación en RM, por su carácter totalmente restrictivo. La acción de la Alliance for MRI se concretó en una moratoria, por decisión del Parlamento Europeo, hasta abril de 2012, que luego se amplió 18 meses más, hasta octubre de 2013. En ese momento, el Parlamento Europeo definió su postura manifestando su preocupación en cuanto a la incidencia de la Directiva en determinadas actividades industriales. Estas y otras razones, llevaron a la aprobación de la Directiva 2013/35/UE.

En España, la Directiva 2013/35/UE se ha traspuesto mediante 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: los campos eléctricos estáticos, los campos magnéticos estáticos y los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo, con frecuencias comprendidas entre 0 Hz y 300 GHz (espectro de frecuencias de radiaciones no ionizantes). En este rango de frecuencias está comprendida, naturalmente, la radiofrecuencia, tema principal de este informe.

En el Real Decreto se trata, entre otros de carácter general y legal, el ámbito de aplicación de las disposiciones encaminadas a evitar o reducir la exposición, y los valores límite de exposición y niveles de acción. Los valores límite de exposición (VLE) se han establecido a partir de consideraciones biofísicas y biológicas, en particular sobre la base de efectos directos agudos y a corto plazo comprobados científicamente, por ejemplo, los efectos térmicos y la estimulación eléctrica de los tejidos.

El público en general, consumidores, usuarios de móviles, etc., seguirá estando cubierto por la Recomendación del Consejo 1999/519/EEC (UE- 1999) y, en España, por el Real Decreto 1066/2001 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. Ese Real Decreto es de aplicación a todo el territorio nacional, al ser materia de competencia exclusiva del Estado

Adicionalmente, se publicó el Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos, incluyendo los equipos de telecomunicación. Ese Real Decreto regula la compatibilidad electromagnética de esos equipos a fin de garantizar el funcionamiento del mercado interior de la Unión Europea, exigiendo que los equipos cumplan un nivel adecuado de compatibilidad electromagnética. Los fabricantes de equipos, cuando introduzcan sus aparatos en el mercado, deben garantizar que han sido diseñados y fabricados de conformidad con los requisitos esenciales establecidos en los anexos correspondientes.

## **4.5. Exposición a Radiofrecuencias y Compatibilidad electromagnética de los productos sanitarios implantables activos (marcapasos) y de los equipos médicos hospitalarios**

### **4.5.1. Introducción**

¿Las radiofrecuencias emitidas por las antenas de telefonía móvil (ATM) y/o el uso del teléfono móvil (TM) pueden ser peligrosas para la salud de personas con marcapasos? ¿Puede utilizarse el TM en un hospital? Estas preguntas han sido formuladas al CCARS por ciudadanos e instituciones interesadas en disponer de una información basada en las mejores evidencias científicas.

Para dar respuesta a estas dudas se incluye en esta edición del informe un epígrafe específico sobre los efectos de las Radiofrecuencias (RF) emitidas por los TM en los productos sanitarios implantables activos (PSIA) y los equipos–aparatos-dispositivos utilizados en el ámbito hospitalario.

Las RF son una de las fuentes potenciales de perturbaciones electromagnéticas (PEM) o interferencia electromagnética (IEM) que pueden afectar al funcionamiento de los PSIA: marcapasos cardíacos (MPC), desfibriladores cardíacos implantados, implantes cocleares, etc. y a los equipos- aparatos utilizados en la atención y cuidado de los pacientes hospitalizados. Son frecuentes las consultas de personas portadoras de un MPC y otros implantes sobre los hipotéticos riesgos del uso diario del TM.

### **4.5.2. Metodología**

Con el objetivo de dar una respuesta actualizada y objetiva a la inquietud sobre el uso del TM, se ha realizado una búsqueda bibliográfica en PubMed (5 últimos años hasta junio de 2016). Se han revisado 40 referencias usando los descriptores “Cell phone interference and medical devices”, “Pacemaker and mobile phone”, “Electromagnetic interference and medical devices and celular phone”.

El uso de otros buscadores (SCOPUS, Cochrane) no aporta diferencias significativas en la búsqueda. Se han seleccionado las referencias sobre las normas de seguridad y protección para evitar la IEM. Asimismo, se han resumido los resultados de estudios que estaban realizados con mayor calidad metodológica y, por lo tanto, aportan mayor peso a la evidencia.

En este capítulo se revisa la bibliografía sobre los efectos de la exposición a RF, especialmente las emitidas por los TM en personas con PSIA, con especial atención a las portadoras de MPC, y se describen las medidas de prevención y seguridad más eficaces para el uso seguro del TM por estas personas y en el medio hospitalario.

### 4.5.3. Revisión de evidencias

Los MPC son dispositivos médicos (productos sanitarios) que están regulados por Directivas Europeas. La inquietud respecto a la seguridad de la exposición a RF procedente de antenas de telefonía móvil (ATM) y el uso del TM, por personas que son portadoras de un PSIA, se refuerza por informaciones superficiales o poco contrastadas que pueden generar un miedo injustificado a la luz de las evidencias científicas.

En nuestro país, los PSIA están sometidos a una legislación (Real Decreto 1616/2009) que establece los requisitos de protección de la salud y seguridad que deben cumplir estos dispositivos, para la fabricación, importación, certificación, puesta en el mercado, puesta en servicio, distribución, publicidad y utilización de los implantes activos.

Uno de estos criterios de protección es el de compatibilidad electromagnética, establecido en la Directiva 2004/108/CE, dirigido a evitar problemas de IEM.

Esta Directiva ha sido actualizada y modificada por la Directiva 2014/30/UE, del 26 de febrero de 2014, que armoniza las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética.

Recientemente se ha publicado una nueva legislación (Real Decreto 186/2016) que regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos. Esta norma es la transposición a la legislación nacional de la citada Directiva 2014/30/UE.

En este Real Decreto se define la “Compatibilidad electromagnética” como la capacidad de que un equipo funcione de forma satisfactoria en su entorno electromagnético sin introducir PEM intolerables para otros equipos en ese entorno. La perturbación electromagnética (PEM) o interferencia electromagnética (IEM) es cualquier fenómeno electromagnético que pueda crear problemas de funcionamiento a un equipo; una perturbación electromagnética puede consistir en un ruido electromagnético, una señal no deseada o una modificación del propio medio de propagación. Se define la «Inmunidad» como la aptitud de un equipo para funcionar de la forma prevista sin experimentar una degradación en presencia de perturbaciones electromagnéticas.

El uso del TM puede provocar una PEM o IEM (Censi et al. 2007) del dispositivo electrónico implantado (marcapasos, desfibrilador) que puede tener consecuencias para la salud del paciente. Estas interferencias producen estímulos inapropiados del ventrículo que generan palpitaciones, taquicardias o arritmias que, en condiciones normales, son temporales hasta que cesa la exposición a los CEM.

Los marcapasos más antiguos eran más vulnerables y susceptibles de sufrir interferencias provocadas por la exposición a los CEM emitidos por las RF. Los actuales modelos de MPC incluyen en sus circuitos internos sistemas de protección frente a las RF que evitan su mal funcionamiento (FDA, 2016 a).

Desde el año 1995 han sido numerosos los estudios publicados sobre este tema que están detallados en varias revisiones bibliográficas que describen alteraciones del funcionamiento de los MPC asociadas al uso del TM (FDA, 2016 b), (Censi et al. 2007, Francis y Niehaus, 2006, Karger, 2005, Kainz et al. 2001 y Hekmat et al. 2004) y (ANSES, 2016).

Además de la exposición a los CEM de RF del TM, el paciente con PSIA está sometido a una variada exposición ambiental que puede producir IEM: sistemas de detección de metales, sistemas antirrobo, aparatos electrodomésticos, transporte ferroviario, líneas de transmisión de electricidad, transformadores, etc. En el medio hospitalario: sistemas de electrocirugía, diatermia, catéteres de ablación por RF, bomba de perfusión, resonancia magnética, etc.

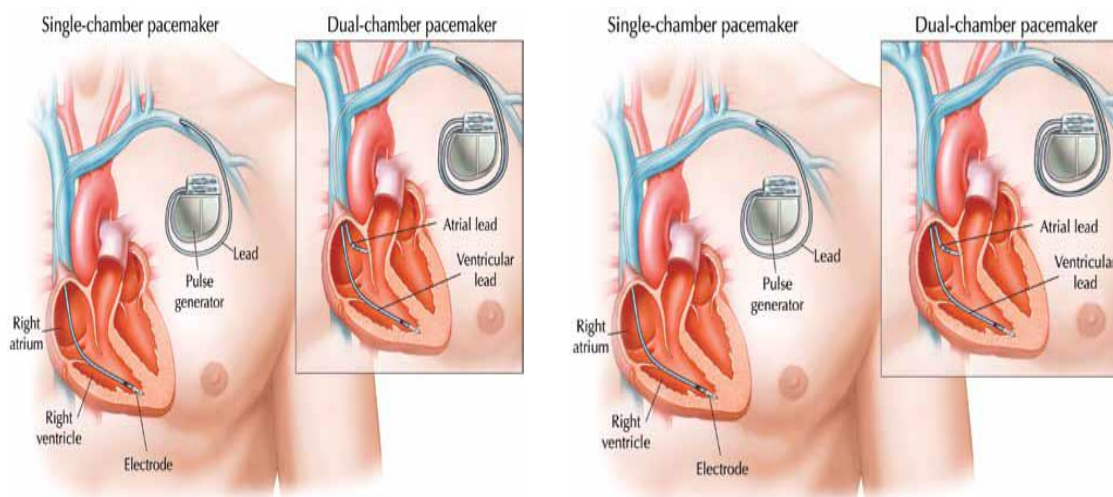
Un estudio (Tiikkaja et al. 2013) analizó el riesgo de IEM de los MPC en ambientes cotidianos de exposición. Se eligieron 11 voluntarios portadores de tres tipos de MPC que fueron expuestos a: estaciones base de Telefonía móvil (pico antenas GSM a una distancia de 50 cm, campo eléctrico de 16 V/m), un tren de cercanías (densidad magnética de flujo de 170  $\mu$ Teslas) y una línea de alta tensión (paseo durante 10 minutos debajo de una línea de 400 kV, campo magnético inferior a 3  $\mu$ Teslas y campo eléctrico 4 kV/m). Los autores concluyeron que las ATM, los trenes de cercanías y las líneas de alta tensión no causan problemas de IEM a los pacientes con MPC. Aunque los modernos MPC están protegidos frente a CEM externos, en los trabajadores que se reincorporan a su trabajo después de recibir un MPC se recomienda una valoración del riesgo que asegure el correcto funcionamiento del generador y las características de la programación (Calcagnini et al. 2007).

Al mismo tiempo, estos autores recuerdan que los empleadores son los responsables de la seguridad de los trabajadores con MPC (Directiva 2013/35/UE) y otros implantes médicos activos. Para facilitar esta labor el CENELEC (2011) publicó los procedimientos para realizar la evaluación del riesgo de los trabajadores con MPC.

Otro interesante estudio (Cecil et al. 2014) ha valorado los posibles riesgos para trabajadores y pacientes con implantes asociados a la exposición del sistema de telecomunicación conocido como *Terrestrial Trunked Radio* (TETRA) que es el utilizado, entre otros, por los servicios de emergencias.

Los trabajadores de estas instituciones, al usar los sistemas TETRA, pueden estar en estrecho contacto con pacientes portadores de MPC y, potencialmente, generar PEM-IEM. Por esta razón, el principal objetivo de este trabajo fue investigar el funcionamiento de varios tipos de implantes mientras estaban expuestos a los transmisores TETRA.

Las conclusiones fueron que una distancia de 30 cm entre el implante y el transmisor es suficiente para evitar cualquier influencia sobre los implantes analizados.



**Figura 9. Tipos de marcapasos<sup>3</sup> implantables.**

La seguridad de los TM de 3G (o UMTS) y su posible PEM ha sido estudiada (Ismail et al. 2010) en una muestra de 100 pacientes con MPC permanentes, 23 del tipo de una sola cámara y 77 de doble cámara (Figura 9).

El uso del TM se hizo en posición de espera al marcar y al hablar. Se registraron los datos aportados por: electrocardiograma continuo, electrocardiograma intracardíaco y marcador de canales durante las llamadas y todos los MPC fueron analizados en “el peor escenario posible” respecto a sus condiciones técnicas de funcionamiento. Los pacientes habían sido intervenidos para colocarles el MPC en el período de noviembre de 1990 a junio de 2005, la media de edad era de 68,4+/-15,1 años.

Los TM utilizados en el ensayo no produjeron ninguna interferencia en los MPC, no se produjo ninguna interferencia con el marcador de canales ni con el ECG intracardíaco. Los autores concluyeron que los TM 3G (o UMTS) son seguros para los pacientes con MPC permanentes. Esta evidencia se debe a la alta frecuencia del sistema UMTS (1800-2200 MHz) y el bajo poder de emisión 0,01 W y 0,25 W.

La IEM puede afectar también a varios tipos de dispositivos-aparatos médicos que funcionan con sistemas eléctricos y electrónicos, entre ellos se pueden citar los siguientes: ventiladores mecánicos, bombas de perfusión, electrocardiógrafos, monitores de control del paciente, desfibriladores, etc.

<sup>3</sup> Los marcapasos implantados (se colocan debajo de la piel) son dispositivos electrónicos que contienen un generador de pulsos y uno o dos (en casos avanzados de fallo cardíaco se usan tres) cables aislados cuyos electrodos se insertan en la pared del músculo cardíaco. Esos dispositivos se usan para que el corazón mantenga un latido regular y una frecuencia adecuada. El generador es de metal, contiene una pequeña batería y un circuito eléctrico programado para controlar los latidos cardíacos. Los MPC son de una o dos cámaras. Si el latido es lento o descoordinado el MPC envía un impulso eléctrico para normalizar el ritmo. El aparato dispone de sensores que detectan la actividad física, reduce o aumenta la tasa cardíaca, detecta arritmias, informa del estado de las baterías y de otras informaciones sobre el estado del aparato. Estos parámetros pueden ser almacenados y transmitidos de forma inalámbrica o mediante el TM. Fuente: Mayo Clinic Health Letter (2014) y Oter et al. SEC (2000).



Las fuentes de RF más relevantes que pueden afectar a estos equipos hospitalarios son las propias de los sistemas de radiocomunicaciones de los servicios de urgencias, los equipos de electrocirugía (diatermia), los TM, los electroimanes y el RFID. Por estas razones no se aconseja usar el TM en las zonas críticas de atención a pacientes tratados con alguno de los equipos-dispositivos-aparatos médicos citados.

#### 4.5.4. Consejos de prevención y seguridad

A pesar de la dificultad para establecer consejos categóricos por la amplia diversidad de fuentes y situaciones de exposición a RF de los PSIA, varias instituciones, sociedades científicas y agencias competentes (Health tips, 2014, FDA, 2016 b, Oter et al. 2000, Vardas et al. 2007 y ANSES, 2016) han publicado consejos de precaución para las personas con MPC y otros implantes.

Según estas fuentes es improbable que el MPC deje de funcionar correctamente a causa de la interferencia eléctrica o magnética mientras que se usa el TM. Sin embargo, por precaución, conviene adoptar las siguientes medidas frente a la exposición a los CEM.

- **Teléfonos móviles:**

- Cuando el TM esté encendido se recomienda mantenerlo a una distancia de 15 cm del MPC.
- Evitar llevar el TM encendido en el bolsillo de la camisa sobre o cerca del MPC.
- Al hablar debe usarse el lado opuesto al del MPC.
- Las antenas de telefonía móvil no producen interferencia electromagnética en los MPC.

En el ámbito hospitalario no se recomienda una prohibición del uso del TM por problemas relacionados con la IEM. Sin embargo, se recomienda no usar el TM a menos de 1 metro de los dispositivos-aparatos médicos que se están utilizando para tratar o vigilar a un paciente hospitalizado.

En relación con el uso del TM en el medio hospitalario una revisión reciente (Mariappan et al. 2016) ha analizado las IEM de los dispositivos-aparatos médicos en el ámbito hospitalario y los TM 2G/3G/4G (o LTE). Los TM 2G podrían haber causado, en el pasado, más IEM a estos aparatos médicos que no estaban diseñados para evitarla. Los equipos y aparatos que se fabrican actualmente están preparados para trabajar con seguridad en ambientes con exposición a RF. Tanto la tecnología de estos aparatos médicos como la de los nuevos TM ha cambiado de forma muy significativa y su diseño es compatible con el uso de los TM. Por estas razones, se considera que la probabilidad de que se produzca algún incidente o efecto adverso es muy baja (casi cero).

Otros autores (Pommergaard et al. 2013 y Mahmoud Pashazadeh et al. 2013) coinciden en señalar que no es preciso generar una alarma innecesaria y que manteniendo una distancia de seguridad (1m) entre el TM y los aparatos médicos, el uso de esta tecnología de comunicación es seguro en el ámbito hospitalario.

- **Pruebas diagnósticas**

Antes de someterse a cualquier prueba se debe informar al personal sanitario de la condición de ser portador de MPC.

La Resonancia Magnética es una de las principales fuentes de IEM que puede provocar complicaciones en el funcionamiento de los productos sanitarios implantables activos (shocks, malfuncionamiento, inhibición del ritmo del MPC, etc.) y raramente provocar la sustitución del dispositivo (Corzani et al. 2015).

Las personas con PSIA no deben someterse a Resonancia Magnética (salvo algunas excepciones).

Hay que tener cuidado con las intervenciones de radioterapia, litotricia, electrocirugía, ablación eléctrica, diatermia y estimulación eléctrica externa transcutánea.

- **Sistemas antirrobo y detectores de metales en los aeropuertos**

Es improbable que estos dispositivos puedan interferir con el MPC a un paso normal a través de ellos sin permanecer un tiempo parado. El MPC puede disparar la alarma.

Los escáneres más modernos instalados en los aeropuertos usan ondas de elevada frecuencia que pasan a través de la ropa y son reflejadas por la piel, no penetran en el cuerpo y no interfieren el funcionamiento de los PSIA.

Si el personal de seguridad solicita chequearle con un detector manual de metales pídale otra alternativa. Para evitar estos problemas conviene presentar un certificado o documento que acredite que es portador de un PSIA (MPC).

- **Equipos generadores de electricidad**

Los equipos de soldadura industrial, generadores y transformadores de alto voltaje pueden interferir los MPC. En estos casos conviene realizar una prueba específica en el lugar de trabajo para saber si el MPC es alterado por los CEM emitidos en el entorno laboral.

## **4.6. Normativa y niveles de exposición en España**

### **4.6.1. Normativa y competencias a nivel nacional**

El marco que regula las emisiones radioeléctricas tanto de la telefonía móvil como de las demás fuentes (radio, televisión, radares, etc.) en España está constituido por:

- Ley 9/2014, de 9 de mayo, General de Telecomunicaciones.
- Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad.
- Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se establecen las condiciones de protección del dominio radioeléctrico, las restricciones y las medidas de protección sanitaria frente a las emisiones radioeléctricas.

- Orden ministerial CTE/23/2002, de 11 de enero, por el que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones.

La actual Ley 9/2014, de 9 de mayo, General de Telecomunicaciones estipula que corresponde al Ministerio de Industria, Energía y Turismo (MINETUR), desde noviembre 2016, Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, a través de la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital (SESIAD), la inspección de las redes de telecomunicaciones, la competencia para la gestión del dominio público radioeléctrico y la comprobación técnica de emisiones radioeléctricas. Esta Ley establece además la competencia exclusiva a nivel estatal para fijar el establecimiento de los límites de exposición a emisiones radioeléctricas, por lo que ya no es posible que sean modificados por otras administraciones.

Las competencias sobre formas de energía que puedan suponer un riesgo para la salud son del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad (MSSSI). Éste, mediante el Real Decreto 200/2012 asignó a la Dirección General de la Salud Pública, Calidad e Innovación la competencia para la evaluación, prevención y control sanitario de las emisiones radioeléctricas.

Para conseguir la protección efectiva de la salud pública, ambos Ministerios deben coordinarse y promover la investigación sobre emisiones radioeléctricas y salud humana, basándose en el mayor número posible de fuentes.

El Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, las restricciones a las emisiones radioeléctricas y las medidas de protección sanitaria frente a las mismas; y la Orden CTE/23/2002, de 11 de enero por la que se establecen condiciones de presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones, son las normativas en las que se recogen los límites de exposición de público en general a CEM y los mecanismos de control existentes.

#### **4.6.2. Fuentes de emisión y niveles de exposición**

Las ondas electromagnéticas de radiofrecuencias son radiaciones no ionizantes (con energía insuficiente para ionizar átomos), cuyas frecuencias están comprendidas entre 30 kHz y 300 GHz. Los valores que sirven para caracterizar la exposición a este tipo de ondas son: frecuencia (f), campo eléctrico (E), campo magnético (H), densidad de potencia (S) y tasa de absorción específica (SAR); y varían según el tipo de fuente de emisión y el medio material a través del cual se propagan.

El Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, asume los criterios de protección sanitaria frente a los campos electromagnéticos establecidos en la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea, de 12 de julio de 1999,

recogidos a su vez de la ICNIRP. Para frecuencias comprendidas entre 100 kHz y 10GHz, la banda en la que están incluidas las antenas y terminales de comunicaciones móviles, se establecen, en el Capítulo III, Artículo 6 del Real Decreto 1066/2001, los siguientes niveles de exposición:

- Por un lado se establecen las restricciones básicas de exposición a campos electromagnéticos basadas en los efectos conocidos sobre la salud y en consideraciones biológicas. Estas limitan la SAR con el fin de prevenir la fatiga calórica del cuerpo así como un calentamiento local excesivo de los tejidos. De acuerdo en lo establecido con la Recomendación Europea anteriormente mencionada, el SAR a nivel local está limitado a  $2\text{W/kg}^4$ , considerando un factor de seguridad 50 veces inferior respecto de los efectos nocivos comprobados.
- A efectos más prácticos de evaluación de las exposiciones lejanas a las fuentes de emisión, y siguiendo la Recomendación Europea, se establecen una serie de niveles de referencia para determinar la probabilidad de que se sobrepasen las restricciones básicas. Sirven para ser comparadas con los valores de las magnitudes medidas. Si se verifica el cumplimiento de los niveles de referencia, se asegura la satisfacción de las restricciones básicas. Si el valor medio sobrepasa el nivel de referencia, debe efectuarse una evaluación detallada para ver si los niveles de exposición son inferiores a las restricciones básicas.

Gama de frecuencia (f)	Intensidad de campo E (V/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo B ( $\mu\text{T}$ )	Densidad de potencia equivalente de onda plana S ( $\text{W/m}^2$ )
0,1 Hz	----	$3,2 \times 10^4$	$3,2 \times 10^4$	----
1-8 Hz	10000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$3,2 \times 10^4$	----
8-25 Hz	10000	$4000/f$	$5000/f$	----
0,025-0,8 KHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	----
0,8- 3 KHz	$250/f$	5	6,25	----
3-150KHz	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

**Tabla 4. Niveles de Referencia para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (0Hz-300GHz, valores RMS)**

Estos niveles presentados en el Anexo II del RD 1066/2001, recogen los valores de la Recomendación Europea del 12 de julio de 1999.

La frecuencia f viene expresada en MHz.

<sup>4</sup> Este valor ha sido promediado en 10 gramos de tejido según se establece en la Recomendación UE 12/07/1999.

En caso de exposición a múltiples fuentes, se empleará una suma ponderada de los campos para calcular los niveles de referencia. Para el caso de terminales móviles (exposición localizada) debe verificarse si se cumple la restricción básica apropiada.

La tabla 4 recoge los niveles de referencia para las magnitudes de campo eléctrico (E), campo magnético (H) y densidad de potencia (S), que dependen de la frecuencia (f) considerada.

#### **4.6.3. Garantía de cumplimiento de los niveles de exposición**

El Real Decreto 1066/2001, en su capítulo IV, Artículos 8 y 9, y la Orden CTE/23/2002 que los desarrolla, prevén mecanismos de seguimiento de los niveles de exposición mediante la presentación de certificaciones e informes por los operadores de telecomunicaciones de sus estaciones base, la realización de planes de inspección y la elaboración de un Informe anual por parte del Ministerio responsable de las telecomunicaciones (actualmente, Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, (MINETAD)).

De este modo las estaciones base de telefonía móvil se someten a un triple control:

1. Antes de autorizar una nueva estación base, se exige que se haga un estudio (simulación) en la zona que asegure que, con las futuras antenas, se respetarán los límites de exposición vigentes. Este proyecto debe estar realizado por un técnico competente, y en él debe priorizarse la minimización de los niveles de emisión en “zonas sensibles” (escuelas, centros de salud, hospitales o parques públicos) e identificar los emplazamientos más adecuados para la instalación compartida de antenas por los operadores.
2. Antes de iniciar la emisión y poner definitivamente en funcionamiento las nuevas antenas, la instalación es objeto de inspección por parte del Ministerio para comprobar que se ajusta a lo proyectado. Esta certificación en determinados casos puede sustituirse por una certificación expedida por técnico competente y visada por el Colegio Profesional correspondiente.
3. Anualmente, los operadores presentan certificaciones de cumplimiento de la normativa y límites vigentes en sus estaciones de radiocomunicaciones durante el año anterior, realizándose un proceso de auditoría de las certificaciones por parte del Ministerio.

Por su parte, el MINETAD elabora un plan anual de inspección que realiza un elevadísimo número de mediciones en estaciones base, sobre todo aquellas situadas en lugares sensibles y/o aquellas que han sido solicitadas por terceros.

A partir de la auditoría de las certificaciones enviadas por los operadores, y las inspecciones realizadas por el Ministerio, se elabora un Informe anual. En el último informe, publicado en noviembre de 2016 por el MINETAD<sup>5</sup>, correspondiente a las actuaciones llevadas a cabo en 2015, se especifica que:

*“Desde el comienzo de la elaboración de los informes referidos a este fin, en abril de 2003, se ha constatado anualmente que los niveles radioeléctricos originados por las estaciones de radiocomunicación, en sitios donde pueden permanecer habitualmente personas, se encuentran en general muy por debajo de los límites de exposición a los que se refiere el Reglamento, cumpliéndose las restricciones establecidas en el mismo en todos los casos. Durante el año 2015 se ha mantenido esa tendencia”.*

*“Las certificaciones sobre el cumplimiento de los límites de los niveles de emisión fueron realizadas correctamente y permitieron comprobar que los niveles de exposición en el entorno de las estaciones, donde pueden permanecer habitualmente las personas, se encontraban por debajo de los límites establecidos”.*

Se han realizado más de 13.991 mediciones en lugares sensibles, es decir, zonas en las que por su naturaleza se considera que existe una mayor percepción de riesgo en la exposición a CEM (hospitales, parques infantiles, colegios), en los que hay que minimizar los niveles de exposición de acuerdo con el Artículo 8.1 del RD 1066/2001.

Como se recoge en el apartado 3.1.2 del informe del Ministerio, se ha verificado que como en años anteriores la mediciones tomadas en estos emplazamientos están muy por debajo de los niveles de exposición.

El Ministerio dispone de un servicio de información sobre Instalaciones Radioeléctricas y Niveles de Exposición. Este servicio contiene datos de las certificaciones realizadas por técnicos competentes y presentadas por los operadores de telefonía móvil en cumplimiento de lo establecido en el Real Decreto 1066/2001:

<http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/NivelesExposicion/Paginas/niveles.aspx>

Además desde el año 2007, la Dirección General de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información tiene en marcha un sistema de medición permanente cuyo objetivo es registrar y monitorizar los niveles de exposición radioeléctrica de forma ininterrumpida y durante largos periodos de tiempo en determinadas ubicaciones, donde puedan permanecer habitualmente las personas y donde por alguna circunstancia exista un interés en estas medidas.

Durante el año 2015, estos sistemas de medición han estado midiendo de manera continua en 43 ubicaciones diferentes. En total, se han realizado 2.390.733 medidas con un valor promedio de 0,89  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Todos los niveles medidos se encuentran muy por debajo de los límites de exposición establecidos en la normativa.

---

<sup>5</sup> [Informe anual sobre exposición del público en general a emisiones electromagnéticas 2015](#)

## 5. ESTUDIOS EXPERIMENTALES EN CÉLULAS ANIMALES

Como ya se ha resaltado en los informes de años anteriores, la información científica sobre el tema que nos ocupa es extremadamente dispersa en cuanto al tipo de ensayos realizados, los materiales estudiados, los procedimientos experimentales usados, los parámetros evaluados, etc., haciendo que las comparaciones sean prácticamente imposibles y dificultando, por tanto, la consecución de conclusiones definitivas. Esto no ha cambiado, desgraciadamente, en los últimos años aunque, en general, los nuevos resultados confirman los ya conocidos.

Los temas principales sobre los que se ha investigado dentro del ámbito asignado “Estudios experimentales en células y animales”, han sido los siguientes: 1) Percepción de los campos magnéticos; 2) Efectos sobre la Biología de las células; 3) Efectos sobre células madre embrionarias y adultas; 4) Efectos sobre distintos sistemas fisiológicos; y Mecanismos moleculares y celulares que gobiernan los efectos de los CEM.

### 5.1. Percepción de los campos magnéticos por los organismos vivos

No parece extraño que los campos electromagnéticos generados por el hombre puedan afectar a la salud y el comportamiento de los animales si tenemos en cuenta la existencia de magnetorecepción en distintos invertebrados, vertebrados inferiores e, incluso, en algunos mamíferos aunque los mecanismos implicados en el proceso son poco conocidos. Muy recientemente dos publicaciones se han ocupado de este tema

(Hand, 2016; The Scientist Staff, 2016) para, en parte, enfatizar la relevancia de las investigaciones de Joe Kirschvink del Instituto Tecnológico de California. Estos trabajos hablan de la existencia de un “sexto sentido” magnético cuyo soporte molecular podría ser la magnetita o una proteína de la retina denominada criptocromo. La primera de estas moléculas, la magnetita, se ha descrito en el pico de aves, narinas de peces e, incluso, en el cerebro humano y, para Kirschvink, sutiles cambios en la inclinación de los campos magnéticos podrían bastar para orientar a los animales. Sin embargo, salvo en bacterias, los cristales de magnetita no parecen actuar como sensores magnéticos. Con respecto al criptocromo, aunque la mayoría de los autores lo relacionan con el control de los relojes circadianos, algunos consideran que cuando incide en él la luz producen electrones desapareados en los que los campos magnéticos podrían influir. De nuevo, desconocemos como funciona exactamente la molécula y afecta a los circuitos neuronales necesarios para crear los campos visuales.

Sean cuales sean los mecanismos utilizados, estas teorías sientan la base para los conceptos vertidos en otra reciente publicación (Panagopoulos et al. 2015) en la que se defiende que los organismos vivos perciben los CEM naturales como estresores ambientales contra los que, sin embargo, no han desarrollado mecanismos de defensa activando simplemente elementos inespecíficos, como proteínas de choque térmico (hsp, por sus siglas en inglés). Los autores que defienden esas teorías indican, además, que las radiaciones electromagnéticas generadas por los aparatos fabricados por el hombre son muchísimo más bioactivas que las radiaciones no ionizantes naturales. Estas radiaciones de los TM, producirían, de acuerdo a esos autores, efectos biológicos adversos o, incluso, clínicos en los organismos vivos. Entre ellos: pérdida de orientación, cambios cinéticos, de comportamiento o electroencefalográficos, menor capacidad reproductora tanto en machos como en hembras, cambios en la actividad enzimática, daño en el ADN y muerte celular.

En ese resumen se puede comprobar que son muchas las variables que afectan a estos parámetros, lo que hace difícil comparar los estudios entre sí; por ejemplo, claramente hay grandes diferencias entre los resultados obtenidos con exposición real y aquellos simulados. En ambos casos la dosimetría es diferente y ello puede explicar que en los estudios simulados los efectos sean nulos en su gran mayoría.

Otro trabajo analiza el efecto de las radiaciones, utilizando como modelo los efectos que podrían tener las radioseñales emitidas por los aparatos utilizados para el seguimiento de los animales en la naturaleza (Balmori, 2016). En estos animales se habría observado una menor supervivencia y productividad, así como, cambios en el comportamiento y los patrones de movilidad que fueron achacados básicamente al estrés que genera al animal llevar el transmisor, su peso o el mecanismo para sujetarlo, pero no a las radiaciones que emite, algo sobre lo que se llama la atención en el estudio.



## 5.2. Efectos de los CEM sobre la biología de las células

Aunque son muchos los parámetros estudiados en relación con los cambios celulares inducidos por las radiaciones electromagnéticas, los más relevantes se refieren a la viabilidad celular y al daño asociado al ADN, relacionado con variaciones genotóxicas que afectan en mayor o menor medida a la proliferación e, incluso, supervivencia/muerte celular. Los resultados son, a veces, contradictorios y las diferencias entre unos y otros podrían estar reflejando, aparte de las distintas aproximaciones experimentales, el tipo celular estudiado o su estado de maduración. Cultivos de células, tanto epiteliales como neurales, corneales o células madre embrionarias humanas, no mostraban alteraciones morfológicas o cambios en la proliferación, independientemente incluso del tiempo o número de exposiciones a la radiación, y las células madre embrionarias mantenían su estado indiferenciado.

En el caso del daño en el ADN, ensayos muy distintos conducen a resultados contradictorios. Dispositivos Wi-Fi después de un año de exposición no generan daño significativo en el ADN de cerebro, riñón, hígado y piel (Akdag et al. 2016).

Por el contrario, estudios in vivo en ganado describen la acumulación de mutaciones que podrían derivar en cáncer tras la exposición a CEM (Balode, 1996). En estos estudios se resaltaba que los efectos de la radiación electromagnética podrían contribuir a la progresión de tumores pre-existentes más que a la aparición de nuevos.

Los Fibroblastos dérmicos humanos sometidos a CEM no sufren daño o cambios en la reparación del ADN ni daños cromosómicos o variaciones en la proliferación celular, algo también observado en la línea de los queratinocitos HaCaT; sin embargo, utilizando un modelo de piel artificial humana la exposición a CEM produce daño en el ADN con aumento de la expresión de proteínas implicadas en ciclo y en reparación del ADN. También los resultados son contradictorios cuando se utilizan otros tipos celulares. Algunos estudios no observan daño cromosómico o en el ADN en linfocitos tratados con el mitógeno PHA. En otros estudios similares se han descrito aneuploidías que, principalmente, afectaban a los cromosomas 11 y 17, y utilizando una línea celular de riñón de rata canguro, PTK2 con sólo 20 minutos de exposición aparecían pequeños cambios en la síntesis de ADN inhibiéndose por completo si las células se sometían a una exposición mayor.

Aparte de estos cambios celulares más frecuentes, las radiaciones electromagnéticas también producen cambios en la excitabilidad celular, la permeabilidad de la membrana plasmática y el flujo de  $Ca^{++}$  y neurotransmisores en el caso de las células neurales (Volkow et al. 2011), y afectan a la expresión génica de moléculas como hsp70 o proteínas del citoesqueleto (MACF-1).

### 5.3. Efectos de los CEM sobre las células madre embrionarias y adultas

En los últimos veinte años la relevancia de las células madre para la salud humana y para el conocimiento de los mecanismos que regulan los procesos más importantes de la biología celular (supervivencia/muerte, proliferación y diferenciación), han convertido estas células, tanto embrionarias como adultas, en un campo de estudio interdisciplinar en el que han sido escrutadas desde todos los puntos de vista. Naturalmente, los trabajos sobre posibles efectos de los CEM sobre la biología de las células madre se han multiplicado en los últimos años, algo que no es de extrañar si consideramos que muchos otros parámetros físicos, como hipoxia; presión hidrostática, estrés por rozamiento, etc. afectan notablemente al comportamiento de estas células.

Por otro lado, muchos procesos celulares en los que intervienen los CEM, como ya se ha apuntado, son relevantes para las células madre y ellas lo son en sí mismas para la homeostasis de los tejidos que, como se repasa a continuación, también se ve afectada por CEM. Para resumir el estado actual de este campo se han seleccionado dos revisiones que, a su vez, incluyen los datos recientes más relevantes (Leone et al. 2015 y Maziarz et al. 2016).

En el caso de las células madre embrionarias se han descrito cambios en la expresión génica (Ahuja et al. 2007), en los procesos de diferenciación y en los cromosomas que parecen iniciarse a través de modificaciones epigenéticas (Leone et al. 2015). A veces, no obstante, los resultados descritos son muy indirectos. Así, se ha relacionado la mayor incidencia de malformaciones congénitas (Síndrome de Wiedemann; Síndrome de Angelman) en niños concebidos con técnicas de reproducción asistida con la exposición de las células madre a CEM durante la incubación antes de la implantación del embrión (Jacobs y Moley, 2005). En el caso de las células madre adultas, muchos de los estudios han aportado información relevante sobre los efectos de los CEM sobre la proliferación y diferenciación de tales células. Campos electromagnéticos sinusoidales o pulsados aumentan la proliferación de distintas células madre tisulares (Sun et al. 2010, Bai et al. 2012 y Zhang et al. 2013), particularmente cuando las células implicadas están en la fase de expansión (Espósito et al. 2013).

Otros resultados, sin embargo, indican que los CEM reducen los niveles de proliferación de las células madre específicas del tejido (Cho et al. 2012). Estas discrepancias podrían deberse a diferencias en las condiciones experimentales. Campos electromagnéticos pulsados reducen el número de osteoblastos cuando se cultivan en un medio osteogénico (Schwartz et al. 2009) pero no si lo son en un medio basal (Tsai et al. 2009).

En relación con estos efectos sobre la proliferación, los campos electromagnéticos también afectan al ciclo celular aumentando el porcentaje de células en S y disminuyendo el de células en G1 (Zhang et al. 2013).

Muchos ejemplos apoyan que los CEM estimulan osteogénesis aumentando la densidad mineral ósea y disminuyendo la osteoporosis (Kang et al. 2013), por lo que han sido utilizados en el tratamiento de patologías óseas, como el sellado de fracturas o la osteoartritis (Mayer-Wagner et al. 2011).

En estos trabajos se demostraba un aumento de la expresión de marcadores óseos, como fosfatasa alcalina (Luo et al. 2012), BMP2, TGF $\beta$ 1, MMP-1 y MMP-3, osteoprotegerina, sialoproteína ósea, osteocalcina (Jansen et al. 2010). Ninguno de estos marcadores cambiaba si las células eran tratadas en los últimos estadios de la mineralización. Por el contrario, la expresión de RANKL que no se alteraba en los primeros estadios, aumentaba a partir del día 14. Otros autores han descrito aumento de otras moléculas vinculadas a osteogénesis como Col I, Col II, Runx2, Osterix (Bai et al. 2012, Luo et al. 2012 y Chen et al. 2013).

En general, estos estudios sugieren que los CEM afectan prioritariamente a los primeros estadios de diferenciación y reducen su duración (Espósito et al. 2012 y Espósito et al. 2013), pero otros indican que la expresión de marcadores tempranos (Runx2, Osterix) o tardíos (Osteopontina, Osteocalcina) depende del nivel y duración de la exposición al estímulo electromagnético (Creecy et al. 2013) y otros sugieren, incluso, que la influencia o no se debe a las condiciones del medio de cultivo.

En el caso del sistema nervioso, los CEM parecen favorecer la neurogénesis, aunque hay discrepancias respecto a los mecanismos moleculares implicados. Así, se ha descrito que el aumento de la neurogénesis en el hipocampo adulto se debe a la inducción de cambios epigenéticos en la mayoría de las secuencias reguladoras de genes implicados en ciclo y diferenciación neural (Leone et al. 2015). En otros trabajos, la aceleración de la diferenciación neurogénica inducida por campos electromagnéticos de frecuencias extremadamente bajas se debe a la activación de receptores de EGF mediada por Ros, fosforilación de Akt y activación de CREB (Katsuda et al. 2013 y Park et al. 2013). En otros trabajos, la diferenciación neural de células madre mesenquimales derivadas de médula ósea se ha considerado dependiente de ferritina (Lee et al. 2015).

Finalmente, los CEM modifican la expresión de marcadores cardiacos aumentando algunos como troponina, cadena H de la miosina, connexinas y NKx25, y disminuyendo o no alterando significativamente otros, por ejemplo, VEGF y su receptor (Lisi et al. 2008 y Gaetani et al. 2009).

A pesar de todos estos resultados, no es sencillo concluir que la estimulación electromagnética induzca la diferenciación de células madre adultas porque otros estudios no encuentran efectos, o unas veces los efectos parecen ser estimuladores y otros inhibidores dependiendo del momento de la estimulación, las condiciones del cultivo y/o las características de la estimulación electromagnética (frecuencia, intensidad, duración) (Cho et al. 2012 y Kang et al. 2013). Por ejemplo, las células madre responden de manera distinta dependiendo de su estado de diferenciación

(Maziarz et al. 2016). Por otro lado, dado la semejanza entre células madre normales y células madre tumorales hay que ser cauto en el sentido de que, aunque en ciertas condiciones la estimulación electromagnética puede promover supervivencia/proliferación y/o diferenciación de células madre normales, en otros casos puede inducir su transformación en células madre tumorales.

#### 5.4. Efectos de los CEM sobre distintos sistemas fisiológicos

Es fácil de entender que, aunque en este apartado no incluimos datos referidos al sistema nervioso, sistema reproductor, cáncer, etc., que son tratados en otros apartados de este informe, los resultados en este ámbito de la Fisiología son numerosos pero igualmente difíciles de comparar entre sí y, por tanto, de poder alcanzar conclusiones claras sobre efectos concretos de los CEM sobre la fisiología de uno u otro órgano concreto. Hay que tener en cuenta también que, en condiciones naturales, pocas veces los individuos están sometidos a un solo tipo de radiación o de agente causal de la misma. Sin embargo, los escasos estudios realizados al respecto, no han encontrado diferencias relevantes entre el uso de un solo tipo o varios de radiación, salvo por algunos efectos genotóxicos, en los numerosos parámetros estudiados: desarrollo, función testicular, sistema inmune, niveles hormonales, etc.). Es importante no olvidar tampoco el status sanitario del individuo, llamándose la atención tanto en humanos como en animales sobre que las respuestas a la irradiación en condiciones patológicas pueden ser muy distintas de los efectos producidos sobre individuos sanos (SCENIHR, 2015). No obstante, resumimos a continuación algunos datos relevantes referidos al desarrollo, aparato circulatorio, sistema inmune, metabolismo, aparato urogenital, procesos cognitivos y comportamiento.

Por un lado, se ha descrito un aumento en la mortalidad de embriones de pollo expuestos a la radiación emitida por el TM (Farrel et al. 1997). En el ámbito del sistema circulatorio, voluntarios expuestos a CEM sufren cambios en la presión sanguínea y el latido cardiaco (SCENIHR, 2015). También se ha descrito un papel para los CEM en la angiogénesis y la reparación de heridas. Ratas expuestas a las radiaciones de un microondas que sufren alteraciones microvasculares por inmovilización recuperan totalmente la agregación plaquetaria, y ratas diabéticas aceleran la curación de heridas difíciles de cerrar en su condición patológica.

Algunos trabajos han descrito que la exposición prolongada a CEM tiene efectos sobre el sistema inmune murino (Novoselova y Fesenko, 1998). Ratones tratados con LPS que antes o después del tratamiento son expuestos a CEM muestran una supervivencia mayor. En estas condiciones se induce la producción del agonista IL1Ra que contrarresta los efectos de la IL1 inducida por el tratamiento con LPS (SCENIHR, 2015).

Los efectos sobre el sistema inmune son, a veces, indirectos. Por ejemplo, la exposición a CEM produce cambios en la permeabilidad de la barrera hematocefálica que podría permitir la entrada de células inmunocompetentes al sistema nervioso central que inician procesos inflamatorios y neurodegenerativos (Terzi et al. 2015).

Varios trabajos han analizado posibles efectos de los CEM sobre los niveles de distintas hormonas en la sangre de animales y humanos pero los resultados más abundantes y de interés son aquellos que se refieren a sus efectos sobre el metabolismo de la glucosa que ha llevado a proponer a algunos autores que la exposición a CEM dispararía un estado pre-diabético con elevación de los niveles de glucosa y descenso de los de insulina. Así, las bajas frecuencias de los TM produciría un aumento del metabolismo de la glucosa en el cerebro (Terzi et al. 2015). También estudiantes sometidos a altas RF muestran valores significativamente más altos de hemoglobina glicosilada que los que soportan frecuencias bajas, sufriendo los primeros más frecuentemente diabetes tipo II (Havas, 2008; Meo et al. 2015). Algo similar se ha descrito en ratas (Meo and Al Rubeaan, 2013).

Aunque los mecanismos que explican estos resultados no son claros hay que considerar que islotes de Langerhans de conejo sometidos a CEM secretan un 30% menos de insulina (Jolley et al. 1983) y la capacidad de unión de la insulina a sus receptores en hepatocitos disminuye en tales condiciones consecuencia de los cambios conformacionales que sufre la hormona (Li et al. 2005).

En el ámbito de los estudios cognitivos y del comportamiento se ha descrito que la exposición de niños (9-11 años) a campos magnéticos de radiación no ionizante donde la exposición ambiental se medía directamente, en la mayoría de los parámetros analizados no mostraban alteraciones, pero aquellos individuos que viven en áreas de mayor exposición tenían peor expresión/compresión verbal y disfunciones compulsivas/obsesivas (Calvente et al. 2016). Desgraciadamente, el número de niños estudiados era bajo y, algo muy frecuente en este tipo de estudios, no se tenía en cuenta el status psicosocial de los participantes en el estudio. Ambos aspectos podrían explicar algunos resultados aparentemente contradictorios. También en animales se ha descrito por algunos autores que la exposición prolongada a CEM tiene efectos sobre el sistema nervioso, la función cognitiva (Lai, 2014), el sueño (Pelletier et al. 2013), la permeabilidad de la barrera hematocefálica y las respuestas eléctricas del cerebro (Balmori, 2016, Marino et al. 2003, Kramarenko y Tan, 2003 y Ghosn et al. 2015), y, en aves, se han observado cambios en el comportamiento y la navegación (pérdida de orientación) (Engels et al. 2014 y Cammaerts et al. 2012).

### **5.5. Mecanismos celulares y moleculares que gobiernan los efectos biológicos de los CEM**

Parece que los principales efectos celulares y fisiológicos que ejercen los CEM sobre los organismos tienen que ver fundamentalmente con cambios en las propiedades de la membrana plasmática y el balance redox (Artacho-Cordón et al. 2013) que, a su vez, afectan, principalmente, a la proliferación y diferenciación celular.

En relación con la membrana plasmática, los CEM pueden inducir su hiper- o despolarización, modificar la comunicación intercelular o los canales iónicos, reorientando algunas moléculas, lo que resulta en deformación de los canales y alteraciones del flujo iónico, fundamentalmente de calcio (Mayer-Wagner et al. 2011). Así, la exposición a CEM aumenta la concentración intracelular de calcio (Walleczek, 1992, Rao et al. 2008 y Pall, 2013), afectando a la proliferación y diferenciación de células madre (Kang et al. 2013).

En animales, hay estudios que indican que los CEM producirían cambios en el contenido de oxidantes/antioxidantes, aumentando los primeros y disminuyendo los segundos (Yakymenko et al. 2014 y Yakymenko et al. 2016). Un alto nivel de estrés oxidativo contribuiría al envejecimiento, cáncer y patologías neurodegenerativas e inmunes. Estos cambios estarían relacionados con la síntesis de proteínas de choque térmico. Así, células madre mesenquimales derivadas de médula ósea y diferenciadas a tejido óseo mediante estimulación electromagnética regulan positivamente la expresión de hsp27 y hsp70, aumentando el índice redox (Hronik-Tupaj et al. 2011).

### 5.6. Conclusiones

Se han revisado aquellos aspectos que, dentro del ámbito de la Biología Celular y Molecular, parecen más relevantes de cara a entender los últimos estudios acerca de los efectos de los CEM sobre la salud humana y animal.

Aunque algunos estudios describen algunos efectos perjudiciales para el hombre y los animales, hay que tomarlos con precaución porque, como se ha dicho reiteradamente, muchos otros apuntan efectos mucho más leves y, en cualquier caso, controlables. Mientras los estudios no incluyan un número significativamente alto de muestras y ensayos y, sobre todo, no se proceda a una estandarización de protocolos que permita la comparación de los distintos resultados entre sí, será imposible alcanzar conclusiones definitivas.

No obstante, se trata un tema de enorme relevancia científica y alto debate social y no se tiene, sin embargo, un diagnóstico claro aún. Por ello, es interesante recomendar:

- Trabajar para encontrar alternativas que satisfagan todas las recomendaciones medio-ambientales.
- Diseñar aproximaciones experimentales y herramientas más fiables para profundizar en el análisis de los efectos del electromagnetismo en organismos vivos pre- y postnatales.

## 6. ESTUDIOS CLÍNICOS Y EPIDEMIOLÓGICOS

### 6.1. Tumores Cerebrales

En relación con los estudios epidemiológicos sobre tumores cerebrales (TC) y las RF emitidas por los terminales móviles (TM) hay dos corrientes bien diferenciadas en la investigación de esta asociación. El Grupo de Hardell y colaboradores (GH) que siempre observa un aumento del riesgo de padecer tumores cerebrales, salvo en meningiomas, y otro Grupo de Estudios (OGE) mayoritario que no encuentra esa asociación aunque reconoce una cierta incertidumbre respecto a los gliomas en usuarios intensivos de TM y de larga duración.

Ningún estudio individual es capaz por sí mismo de evaluar la causalidad entre un agente y un efecto. Las limitaciones de metodología, el azar, los sesgos y los factores de confusión deben ser analizados de forma combinada para establecer conclusiones causales.

En este apartado se presenta el resultado de una revisión de los estudios más relevantes por su calidad metodológica y la calidad de sus datos. Se han revisado más de 36 referencias publicadas desde el año 2013 hasta junio de 2016, recuperadas de PUB Med y EMF portal, se han descartado algunos estudios de baja calidad que no aportan peso a la evidencia.

Se incluyen los resultados de las revisiones sistemáticas realizadas por varios comités y agencias especializadas internacionales competentes y con experiencia acreditada en la evaluación de los riesgos de los CEM (ANSES 2013, SSM 2014, RSC 2014, ARPANSA 2014, NUEVA ZELANDA 2015, SCENIHR, 2015).

### 6.1.1. Estudios de cohortes

Benson y colaboradores (2013) analizaron la relación entre el uso del TM y la incidencia de tumores intracraneales del Sistema Nervioso Central (SNC) y otros 18 tipos de tumores en una cohorte de 791.710 mujeres del Reino Unido (Million Women Study). Las mujeres participantes informaron del uso del TM en el periodo de 1999 a 2005 y en el año 2009. Esta información se cruzó con el Registro Nacional de Salud para obtener información sobre tumores, enfermedad cardíaca isquémica y accidentes cerebrovasculares.

Durante los 7 años de seguimiento prospectivo (1999 a 2005) se produjeron 51.680 nuevos tumores invasivos y 1.261 tumores intracraneales del SNC. No se observó un aumento del riesgo de tumores intracraneales del SNC ni de las otras 18 localizaciones entre usuarios vs no usuarios de TM. No se observó aumento de riesgo de glioma ni de meningioma, este hallazgo es consistente con otro estudio de cohortes similar realizado en Dinamarca (Frei et al. 2011). Si se observó un aumento del riesgo relativo (RR. 2, 46.IC1, 0,7-5,64) de Neurinoma del Acústico (NA) entre las mujeres que usaron el TM durante más de 10 años, al contrario que en otro estudio similar de cohortes (Schüz et al. 2011).

Este riesgo no aumentó de forma significativa cuando los datos del estudio se analizaron de forma combinada con los del estudio de (Frei et al. 2011) en una cohorte danesa. Los autores concluyen que sus resultados debilitan la evidencia de una asociación entre el uso del TM y el riesgo de glioma y deja abierta la posibilidad de un incremento del riesgo de NA en usuarias de TM a largo plazo (más de 10 años) aunque este hallazgo se basó en menos de 10 casos. (De Vocht, 2014) criticó las conclusiones del estudio de (Benson et al. 2013).

En respuesta a este comentario (Benson et al. 2014) aportaron una actualización de su cohorte con datos de 2011. Después de repetir el análisis con estos nuevos datos no observaron asociación entre usuarias de TM de larga duración (más de 10 años de uso) y riesgo de NA. El RR para usuarias de larga duración fue de 1,17 (95% IC: 0,60-2,27) basado en 14 casos de usuarias de TM frente a 43 no usuarias.

Al combinar estos nuevos datos con los de la cohorte danesa (Frei et al. 2011) el RR fue de 0,97 (95% IC: 0,65-1,46) muy inferior al RR observado en el estudio previo (RR 2,46). Parece muy probable que este último RR fue un hallazgo ocasionado por el azar.



Hauri y colaboradores (2014) investigaron la asociación entre la exposición a CEM de RF de estaciones emisoras de Radio y TV y el riesgo de tumores infantiles (menores de 16 años). Para el análisis se utilizaron los datos censales de una cohorte de población (Swiss National Cohort, SNC) en el periodo de 2000 a 2008 y los datos de incidencia de tumores del Registro Suizo de Tumores Infantiles que incluye tumores de pacientes menores de 21 años en el momento del diagnóstico desde 1985 a 2008.

Se analizaron 997 casos de tumores de la cohorte (SNC) y 4.246 tumores obtenidos del Registro Suizo de Tumores. Los autores concluyeron que su amplio estudio de cohorte no sugiere una asociación entre la exposición a CEM de RF de estaciones emisoras y leucemia infantil. Los resultados sobre tumores del Sistema Nervioso Central fueron menos consistentes pero el análisis más exhaustivo de los datos no sugiere una asociación.

### **6.1.2. Estudios sobre tasas de incidencia de tumores cerebrales**

Desde el informe anterior del CCARS (CCARS, 2013) se han publicado varios estudios sobre la evolución de las tasas de incidencia (casos nuevos anuales) de tumores cerebrales relacionados con las RF.

Hsu y colaboradores (2013) analizaron las tasas de incidencia y mortalidad por tumores malignos cerebrales después de un uso intensivo del TM, durante un periodo de 10 años (2000 a 2009). La información sobre la incidencia de tumores se obtuvo del Registro de Tumores de Taiwan y el uso del TM de la Comisión Nacional de Comunicaciones. En Taiwan, la tasa de penetración de la telefonía móvil es de 116,6% una de las más elevadas del mundo. No se observó ningún cambio significativo de las tasas de incidencia, 2,9/100.000 en el año 2000 y 2,3/100.000 en 2007, y las tasas de mortalidad permanecieron igual (1,7/100.000). Los autores concluyen que no hay correlación entre las tasas de morbilidad y mortalidad de tumores cerebrales y uso del TM. Si hubiera una relación causal las tasas deberían aumentar.

Kim y colaboradores (2015) investigaron en Nueva Zelanda la evolución de las tasas de incidencia de tumores cerebrales malignos durante el periodo de 1995 a 2010 en población mayor de 10 años de edad. Se incluyeron 2.433 casos de tumores en hombres y 1.779 en mujeres. La tasa de incidencia estandarizada fue de 6,74 por 100.000 en hombres y 4,49 por 100.000 en mujeres. No se observó un aumento de las tasas de incidencia de los tumores cerebrales (especialmente gliomas). En el grupo de edad de 10 a 69 años la incidencia de todos los tumores cerebrales disminuyó significativamente. La incidencia de glioma aumentó en el grupo de más de 70 años, pero es muy probable que se deba a la mejora de las tecnologías de diagnóstico como se ha observado en estudios similares.

En Australia (Chapman et al. 2016) han analizado la asociación entre uso de TM (94% de tasa de utilización, uso desde 1987 a 2012) y la incidencia de tumores cerebrales en el período de 1982 a 2012. La información de las tasas de incidencia se obtuvo del

Registro Nacional del Cáncer. Para el análisis de los datos se utilizaron 14.222 casos de mujeres y 19.818 de hombres, distribuidos en grupos de 20 a 84 años de edad, asumiendo un periodo de latencia de 10 años (entre uso e incidencia), un RR de 1,5 en usuarios habituales y un RR de 2,5 en una proporción de usuarios intensivos (un 19% de todos los usuarios). Aplicando estos RR se hizo una estimación teórica de las tasas esperadas. Las tasas de incidencia observadas ajustadas por edad aumentaron ligeramente en hombres, pero permanecieron estables en mujeres a lo largo de 30 años. Los casos observados en 2012 (1.434) fueron inferiores a los esperados (1.867) aplicando los RR citados. Sólo se observó un ligero aumento de las tasas en mayores de 70 años, pero este aumento ya se observaba desde 1982 antes de la introducción del TM (1987).

Este tipo de estudio, de diseño ecológico en la terminología epidemiológica, no aporta datos de exposición individual al TM. Los autores consideran que los ligeros incrementos de las tasas están relacionados con la mejora de los sistemas de diagnóstico (TAC y otras tecnologías de imagen) introducidos en Australia a principios de los 80.

Sato y colaboradores (2016) han investigado si las tasas de incidencia de tumores malignos del sistema nervioso central, en el periodo de 1993 a 2010, han aumentado en relación con el uso del TM en la población joven (10 a 39 años de edad) de Japón. Se calculó la tasa de incidencia esperada aplicando un RR: 1,4 en usuarios de TM de más de 1640 h acumuladas. Los datos de tumores se obtuvieron de una estimación nacional de incidencia de varios registros regionales de tumores y los datos sobre el uso del TM se obtuvieron de una cohorte que se estableció usando un informe nacional en internet. El número de participantes en el estudio fue de 7.550 personas que fueron registradas desde julio de 2008 a diciembre de 2012 y el seguimiento continuó hasta marzo de 2013. Las tasas de incidencia estimadas asumiendo el RR de 1,4 (como el observado en el estudio Interphone) fueron menores a las observadas.

La tasa de incidencia observada de tumores malignos del SNC aumentó de forma significativa en ambos sexos en los grupos de edad de 20-29 años y de 30 a 39 años en el periodo de 1993 a 2010. Los autores señalan que las tasas de incidencia de estos tumores son más elevadas en los países asiáticos. Sin embargo, los autores concluyen que los patrones de aumento de incidencia por periodo específico, sexo y edad son inconsistentes con las tendencias de prevalencia por las mismas variables de comparación. Este hecho sugiere que el aumento de las tasas de incidencia observadas no puede ser explicado por un uso intensivo del TM.

Este tipo de estudios descriptivos están sometidos a varias limitaciones metodológicas relacionadas con la precisión de medición de la exposición real a las RF, la distribución geográfica y la calidad de los datos de incidencia, entre otros posibles sesgos. Aunque el análisis de la evolución de las tasas de incidencia no permite descartar de forma definitiva la relación de causalidad entre uso del TM y la presentación de tumores cerebrales, sí aporta información sobre la verosimilitud de los riesgos observados en algunos estudios como los del GH. La comparación de varios escenarios de evolución

de tasas de incidencia esperadas, de este tipo de tumores, aplicando los RR obtenidos por el GH con las tasas realmente observadas en los países nórdicos permite afirmar que no hay coherencia con las elevadas estimaciones del riesgo del GH.

### 6.1.3. Revisiones sistemáticas y metaanálisis

Mornet y colaboradores (2013) publicaron una revisión sistemática sobre la relación entre el uso del TM (celular e inalámbrico) y el NA. En el análisis se incluyeron 2 estudios de cohortes, 4 estudios basados en registros de tumores, 23 artículos sobre estudios caso-control, 5 metaanálisis y 8 estudios de validación. Se resumen los sesgos y limitaciones de cada tipo de estudio sin obtener una conclusión clara respecto a si existe o no un mayor riesgo de NA asociado al uso de TM aunque la mayoría de los resultados de los estudios revisados no observan RR superiores a 1 excepto los del GH. Los autores sugieren que a pesar de su elevado coste, en tiempo y dinero, solo un estudio de cohortes prospectivo, como el que actualmente está en ejecución (COSMOS), puede ser capaz de reducir los sesgos de otros estudios (especialmente por una cuantificación muy imprecisa de la exposición. Mientras tanto los estudios clínicos aportan una razonable seguridad de ausencia del riesgo y los estudios “in vitro” no han mostrado genotoxicidad derivada de la exposición a CEM.

Lagorio y Rössli (2014) publicaron un metaanálisis sobre estudios de tumores intracraneales y uso de TM para evaluar la consistencia global de los hallazgos, valorar la sensibilidad de los resultados a los cambios en el conjunto de los datos e intentar detectar las fuentes de la heterogeneidad entre los estudios. Se incluyeron 47 estudios (17 sobre gliomas, 15 sobre meningioma y 15 sobre neurinoma del acústico) sobre investigaciones primarias y análisis combinado de datos. El RR combinado en usuarios de TM de más de 10 años varió entre 0,98 y 1,11 para los meningiomas con poca heterogeneidad entre los estudios incluidos en el análisis. En relación con los gliomas se observó una elevada heterogeneidad con un RR de 1,19 y 1,40 y en el caso de NA el RR fue de 1,14 y 1,33. Una meta-regresión de los estudios primarios mostró que las diferencias metodológicas incluidas en la variable “grupo de estudio” explicaron la mayor parte de la heterogeneidad global de los resultados. Esta heterogeneidad se debe principalmente, a los resultados del GH. En sus conclusiones los autores confirman que los resultados de su trabajo restan valor a la hipótesis de que el uso de los TM afecte a la incidencia de tumores intracraneales.

De forma general, las conclusiones de este metaanálisis confirman que la evidencia actual no respalda que exista una relación causal entre el uso del TM y la incidencia de glioma, meningioma y NA. Estos resultados reducen valor a la hipótesis de la asociación entre uso de TM y tumores intracraneales. Al mismo tiempo se aconseja continuar con la investigación por dos razones: el limitado conocimiento de exposiciones superiores a 15 años y la necesidad del seguimiento del uso del TM desde la infancia.

Un enfoque novedoso para analizar los resultados de los estudios epidemiológicos sobre tumores cerebrales (Leitgeb, 2014) y sobre los gliomas (Leitgeb, 2015) puede ayudar a clarificar los resultados contradictorios de los estudios publicados. Este autor ha realizado un análisis sinóptico de los datos disponibles de estimadores de riesgo (Odds Ratio, OR) de todos los estudios epidemiológicos publicados desde el años 2001 hasta 2014, sin escoger de forma interesada los que permiten obtener conclusiones sesgadas hacia una posición predeterminada. Globalmente, se analizaron 30 estudios epidemiológicos sobre TC y uso del TM con 2211 valores de OR. Los datos de este trabajo muestran una pronunciada dependencia del número de expuestos de cada estudio analizado para explicar la evolución de los niveles de OR. En la medida que aumenta el número de expuestos la varianza de los datos (OR) decrece.

Los datos del GH se dirigen hacia un riesgo elevado mientras que los resultados de otros estudios (OGE) indican un riesgo reducido. En los dos grupos (GH y OGE) se observa que a medida que aumenta el número de expuestos ambos resultados tienden al mismo OR aunque en diferentes lados de la recta de riesgo cero (OR: 1).

El autor concluye que el análisis sinóptico es una herramienta valiosa que aporta una nueva perspectiva sobre los resultados de los estudios epidemiológicos sobre tumores cerebrales y uso del TM. Uno de los principales hallazgos de este trabajo es que la combinación de todos los datos y su convergencia final eliminan las discrepancias entre las conclusiones entre GH y OGE. Se concluye que este análisis sinóptico respalda unas conclusiones más tranquilizadoras que alarmistas sobre los riesgos para la salud de las RF de los TM. En otro análisis, sobre gliomas y uso de TM, con la misma metodología (Leitgeb, 2015) sin tener en cuenta el tipo de estudio y el sistema de medición de la exposición, se analizaron 16 estudios epidemiológicos con 523 valores de OR.

Como en el anterior trabajo los OR y su varianza depende claramente del número de expuestos. La tendencia de los OR en los estudios de GH y OGE describe un patrón gráfico en forma de embudo con una amplia varianza que se extiende a ambos lados del riesgo cero. Cuando aumenta el número de expuestos disminuye la varianza y el OR disminuye progresivamente hacia un OR de 0,8 que indica un riesgo reducido. Este tipo de análisis sinóptico permite un debate menos emocional con menos prejuicios y la aceptación de que, en términos generales, la evidencia actual sobre glioma y uso de TM es tranquilizadora.

Como en el caso de los TC se observa un conjunto de resultados alarmantes del GH, con una evidente orientación, pero con un patrón poco verosímil que indica diferencias metodológicas respecto a los OGE más que un efecto biológico. Es evidente que en la medida que aumenta el poder estadístico (el número de expuestos) los datos de GH convergen hacia una ausencia de aumento del riesgo. El análisis de los diferentes parámetros de exposición (dosis) de todos los datos y el patrón de todos los datos combinados no respaldan que los usuarios de TM intensivos y a largo plazo tengan un mayor riesgo de gliomas.

#### 6.1.4. Estudios caso-control

El GH se caracteriza por obtener resultados muy similares en sus estudios caso control sobre tumores cerebrales (TC, especialmente en gliomas y NA), en numerosas ocasiones con datos ya publicados sometidos a reanálisis, con serias limitaciones estadísticas (múltiples comparaciones de los datos), ausencia de ajuste con otros factores asociados con los TC y una estimación retrospectiva de la exposición y, por lo tanto, afectada por el sesgo de recuerdo. Cuando los datos de este GH son incorporados a análisis combinados, metaanálisis, revisiones sistemáticas o análisis sinópticos, provocan una gran heterogeneidad del conjunto analizado (Leitgeb, 2014).

En relación con el NA y el uso de TM el GH publicó (Hardell et al. 2013 a) un estudio de análisis combinado de datos ya utilizados en un estudio previo (2006) de tipo caso control. A estos datos se añaden los del periodo de observación de 2007 a 2009. Sus autores informan que hubo una asociación entre el uso de TM y el NA. Este mismo análisis se ha realizado para los meningiomas (Carlberg et al. 2013, Carlberg et al. 2015). En el estudio de 2013 los autores afirman que no se observa una evidencia convincente de una asociación entre uso de TM y teléfono inalámbrico (TI) y el riesgo de meningioma. El estudio de 2015 es un reanálisis de los datos previos a los que se añadieron los del periodo 2007-2009. Sus autores afirman que, globalmente, no se observó una asociación entre el uso de TM y un mayor riesgo de meningioma. En el grupo de más elevada exposición (3.358 horas) se encontró un ligero aumento del riesgo (OR 1,5 IC: 0,99-2,1) en usuarios de TM y en usuarios de TI (OR 2,0 IC: 1,4-2,8). Como este tumor es de lento crecimiento se necesitan periodos de estudio más amplios para obtener conclusiones definitivas.

En relación con los gliomas (Hardell et al. 2013 b) analizaron la supervivencia de pacientes después de su diagnóstico en relación con el uso de TM y TI utilizando datos ya publicados. Los autores observaron una disminución de la supervivencia, en el periodo de 1997 a 2003, para los casos de glioma en usuarios con periodos más largos de uso y horas acumuladas de TM y TI.

Respecto a los TC el GH publicó (Hardell et al. 2013 c) un estudio sobre la asociación entre TC y uso de TM y TI en el periodo de estudio de 2007 a 2009 con 593 casos. El uso de TM y TI se obtuvo mediante encuesta telefónica. Se observó un aumento del riesgo de TC malignos en usuarios de TM analógicos (OR: 1,8 IC: 1,04-3,3) que aumentó con 25 años de latencia (OR 3,3 IC: 1,6-6,9), teléfonos digitales 2G (RR: 1,6. IC: 0,99-2,79) y TI (OR: 1,7. IC: 1,1-2,9), estos riesgos fueron más intensos cuando los periodos de latencia se situaron entre los 15-20 años de latencia. Los autores concluyen que sus resultados confirman los obtenidos en sus estudios anteriores. Llama la atención la elevada participación de este estudio (87% de casos y 85% de controles) no conseguida en ningún estudio europeo.

Un estudio del GH (Carlberg et al. 2014) observó un descenso de la supervivencia en pacientes con glioma (astrocitoma grado IV) asociado al uso a largo plazo de TM y TI. En un estudio más reciente el GH (Hardell et al. 2015) publicó un reanálisis de estudios previos referidos al periodo 1997-2003 y 2007-2009 con 1.498 casos y 3530 controles sobre el uso de TM y TI y el riesgo de glioma en Suecia. Según estos autores, el uso del TM aumentó el riesgo de glioma en 4 grupos de exposición que incluía el uso de teléfono análogo+teléfono digital con más de 1 año de latencia (OR: 1,3. IC: 1,1-1,6), en el grupo de teléfono análogo+ teléfono digital con más de 25 años de latencia (OR: 3,0. IC: 1,7-5,2), en usuarios de TI con más de 1 año de latencia (OR: 1,4. IC: 1,1-1,7) y usuarios de TI con más de 15-20 años de latencia (OR: 1,7. IC: 1,1-2,5). Los autores concluyeron, una vez más, que estos resultados respaldan que el uso de TM y TI aumentan el riesgo de glioma. En relación con los estudios del GH el Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud ya publicó un análisis crítico de sus resultados y su metodología (CCARS, 2013).

Coureau y colaboradores (2013) publicaron un estudio multicéntrico, realizado en Francia, de diseño caso control con 253 casos de gliomas, 194 de meningiomas y 892 controles. El periodo de estudio fue de 2004 a 2006 y la exposición se obtuvo mediante cuestionario y cálculo acumulado de duración y número de llamadas. No observaron asociación entre TC al comparar usuarios y no usuarios de TM. Sin embargo, sí observaron un aumento del riesgo de glioma (OR: 2,89. IC: 1,41-5,93) en los usuarios intensivos con más de 896 horas acumuladas y número de llamadas (más de 18.360) y de meningioma (OR: 2,57. IC: 1,02-6,44) con más de 896 horas acumuladas. Los autores señalan que sus resultados respaldan estudios previos sobre una posible asociación entre usuarios intensivos y gliomas. Estos resultados podrían compararse con los obtenidos en el estudio INTERPHONE. La diferencia es que el punto de corte del estudio de (Coureau et al. 2013) para clasificar al usuario intensivo es diferente (más de 896 horas) y su OR (2,89) también. En el estudio INTERPHONE la OR fue de 0,71. IC: 0,53-0,96 en la categoría de 735-1640 horas que es la más comparable al estudio francés.

Peterson y colaboradores (2014) investigaron, en Suecia, el uso prolongado en el tiempo del TM y el riesgo de tumor del NA en el periodo de septiembre de 2002 a agosto de 2007 en personas de 20 a 69 años de edad. El uso habitual del TM se definió como haber hecho o recibido una llamada al menos una vez por semana durante los últimos 6 meses. Mediante cuestionario, enviado a 451 casos y 710 controles, se obtuvo información sobre la fecha de inicio de uso de TM, número medio de llamadas, tiempo de cada llamada, uso de manos libres, lado más utilizado para colocar el TM, etc.). Sus resultados permitieron estratificar los participantes en diferentes grados de exposición. Los casos se obtuvieron del Registro Regional de Tumores de Suecia y de las clínicas de ORL de Uppsala y Linköpin.

Los autores concluyeron que sus resultados no respaldan la hipótesis de que el uso a largo plazo del TM aumente el riesgo de tumor de NA. El OR observado en el cuartil más elevado de uso acumulado de tiempo acumulado de llamadas (igual o mayor a 680 horas) fue de 1,46 (IC 0,98-2,17). Al restringir el análisis a los casos de tumores del NA con histología confirmada y uso del TM igual o superior a 680 horas el OR se redujo a 1,14 (IC: 0,63-2,07).

Un estudio realizado en Corea (Moon et al. 2014) valoró la asociación entre NA y uso de TM. Se incluyeron 119 casos de pacientes sometidos a cirugía para la extirpación de NA y se aplicaron dos enfoques en la investigación. Por un lado, se hizo un estudio caso control sobre el uso del TM y la incidencia de NA y por otro se realizó un estudio caso a caso. Para la estimación del uso del TM se utilizaron preguntas basadas en el estudio INTERPHONE. En el estudio caso control obtuvo una OR de 0,9. En relación con el estudio caso a caso se observó una correlación entre el volumen del tumor, el número de horas acumuladas de uso del TM y el hecho de ser usuario habitual de TM. También se observó que la ubicación del tumor puede coincidir con el lado más frecuente utilizado para oír el TM. Se sugiere la posibilidad de que el uso del TM pueda afectar al crecimiento del tumor.

Dos estudios caso-control han investigado la relación entre el uso del TM y el tumor de la glándula hipofisaria. (Shrestha et al. 2015) utilizaron una muestra representativa de un subconjunto de datos, de la rama finlandesa del estudio INTERPHONE, en el periodo de 2000 a 2002, con 80 casos de este tipo de tumores con histología confirmada y 240 controles, en hombres y mujeres de 20 a 69 años de edad. La información sobre la exposición se obtuvo mediante entrevista con preguntas sobre fecha de inicio de uso del TM, frecuencia de uso, tipo de TM y uso de manos libres.

El uso de horas acumuladas se realizó en función del número medio de llamadas y su duración. Se observó un RR reducido (0,39 IC: 0,21-0,72) entre usuarios regulares de TM comparado con los que no lo usaban o no eran usuarios regulares. El riesgo de tumor de hipófisis no se incrementó en relación con la duración de uso, el uso acumulado de horas o de llamadas. Los autores concluyen que no hay un exceso de riesgo asociado con el uso del TM a corto o medio plazo.

Otro estudio realizado en China (Leng y Zang, 2016) investigó la etiología de este tumor. Según sus autores el uso del TM aumentó el riesgo de tumores de la hipófisis. Sin embargo, este estudio no aporta datos contrastables sobre la calidad del diagnóstico, no hay información histológica ni radiológica, tampoco se dan detalles de la evaluación de la exposición lo que debilita su validez. El elevado RR observado (7,6) no parece plausible. Otros factores de riesgo observados fueron el consumo de comidas picantes y la ingestas de vitaminas.

### 6.1.5. Revisión de evidencias. Comités y Agencias Internacionales

#### ***ANSES 2013***

Desde el año 2011 esta agencia ha promovido un grupo de trabajo permanente sobre “Radiofrecuencias y salud” que revisa la bibliografía sobre los efectos sanitarios potenciales de las RF. En su último informe (ANSES, 2013) se ha realizado una revisión sistemática desde abril de 2009 a diciembre de 2012 que incluyó algún estudio de 2013 (Benson et al. 2013). En relación con los efectos cancerígenos potenciales de las RF se afirma que el nivel de prueba es insuficiente para concluir que la exposición a RF tenga efectos sobre la presentación de: Gliomas, meningiomas, tumores de las glándulas salivares, tumores de la hipófisis, leucemias, melanomas cutáneos y oculares y sobre la incidencia y mortalidad de todos los tipos de cáncer. En relación con el NA afirma que el nivel de prueba es limitado para concluir que hay un riesgo sobre la base de un estudio (Benson et al. 2013). Como hemos señalado en el apartado de cohortes estos resultados no se confirmaron y al añadir los casos de 2011 y combinarlos con lo de una cohorte danesa el RR disminuyó (0,97).

#### ***SSM 2014***

Según el SSM el GH ha observado un aumento del riesgo de glioma pero no de meningioma en sus últimos estudios que incluyeron casos diagnosticados en el periodo 2007-2009. Los resultados del GH sobre los gliomas muestran una clara asociación entre duración y cantidad de exposición. Sin embargo, estos resultados están en contradicción con los recientes y previos estudios de análisis de tendencias de las tasas de incidencia de TC que no indican el aumento de los casos de glioma en la última década que podrían esperarse si los RR reportados por el GH fueran reales.

#### ***SSM 2016***

El informe de revisión de evidencias del SSM concluye que los estudios epidemiológicos de los últimos 13 años sugiere una débil asociación entre uso intensivo y frecuente del teléfono móvil y los gliomas y neurinomas del acústico. Analizada en su conjunto la evidencia, no aporta indicaciones de que exista un riesgo en usuarios de teléfono móvil en períodos de 15 años. La realidad es que las tasas de estos tipos de tumores en Suecia (como en otros países) no muestran un aumento que pudiera ser atribuido al uso masivo y generalizado del teléfono móvil.

#### ***ARPANSA 2014***

En función de la literatura publicada, en el periodo de estudio (2000-2012), se deduce que no se ha observado un aumento global del riesgo de TC y NA debido al uso de TM. Hay algunas indicaciones de un aumento del riesgo de glioma y NA en un subgrupo de usuarios intensivos pero las limitaciones metodológicas impiden establecer una relación causal.



### ***RSC 2014***

Aunque considera que sigue vigente la clasificación 2b de IARC afirma que la evaluación del peso de la evidencia muestra que la evidencia actual de una asociación causal entre cáncer y RF es débil. La evidencia epidemiológica está muy limitada a una débil asociación entre uso prolongado del TM y un aumento de la incidencia de glioma y NA. Estas asociaciones epidemiológicas no son fuertes y varios estudios publicados sobre esta asociación son contradictorios. Los estudios en animales sobre RF y cáncer no proporcionan evidencia de que la exposición a niveles inferiores a los vigentes cause o promueva cáncer. Numerosos estudios *in vitro* han generado evidencia inconsistente sobre el potencial genotóxico o epigenético de las RF. No se ha propuesto ningún mecanismo biofísico para los efectos carcinogénicos por debajo de los límites de exposición.

### ***NUEVA ZELANDA 2015***

A pesar de la numerosa investigación realizada para investigar los efectos potenciales sobre la salud de la exposición a RF, especialmente del uso de TM, no hay indicaciones claras de que se produzcan efectos para la salud en exposiciones que cumplan con los límites vigentes en Nueva Zelanda. La IARC reconoció que los estudios que utilizaron para la clasificación 2b podrán estar afectados por el azar, los sesgos y los factores de confusión. Las recientes revisiones (Lagorio y Rössli, 2014) de las evidencias actuales van en contra de que exista una relación causal.

### ***SCENIHR 2015***

Globalmente los estudios epidemiológicos sobre la exposición a los CEM de RF de los TM no han observado un aumento del riesgo de TC (pág. 5). Además, no indican un aumento de otros tipos de cáncer de la cabeza y el cuello. Algunos estudios (grupo de Hardell) han sugerido un aumento del riesgo de gliomas y NA en usuarios intensivos del TM. Los resultados de los estudios de cohortes y de tendencias de incidencia no respaldan un aumento de los gliomas mientras que la posibilidad de una asociación con el NA permanece abierta. Los estudios epidemiológicos no indican un aumento del riesgo de otros tumores malignos incluidos los tumores infantiles.

### **6.1.6. Hacia dónde vamos, las incertidumbres de la Ciencia y la Epidemiología**

De la revisión de las evidencias publicadas se deduce que no es fácil responder a la pregunta sobre si el uso del TM está asociado a un mayor riesgo de TC. Son numerosas las dificultades de los investigadores para dar una respuesta inequívoca. Como hemos visto algunos estudios epidemiológicos (especialmente los de menor calidad y potencia estadística) presentan limitaciones metodológicas: exposición no cuantificada, sesgos de selección, información y participación, heterogeneidad de los datos, RR basados en muy pocos casos de tumores, etc.

A estas limitaciones hay que añadir otros problemas que aumentan la complejidad de la investigación: la proporción de población afectada por TC es muy pequeña, la influencia del azar, factores de confusión, periodos de latencia muy largos hasta la aparición del tumor, necesidad de disponer de muestras muy amplias de casos y, últimamente, dificultad para encontrar controles que no utilicen el TM. Además de estos obstáculos inherentes a los estudios epidemiológicos, hay varios elementos esenciales que impiden obtener conclusiones sobre la causalidad.

En la evaluación del riesgo de las RF no se ha demostrado un mecanismo biológico plausible y aceptado por la comunidad científica. Las RF son radiaciones no ionizantes que no tienen suficiente energía para romper los enlaces moleculares y no hay evidencia de efectos adversos en animales y estudios celulares.

La publicación de algunos resultados de trabajos que informan de aumento del riesgo de TC por obtener RR mayores a la unidad suele generar una inquietud no justificada por la dificultad en la interpretación real del riesgo individual por parte de la población. Se desconoce que una asociación es débil cuando el RR es menor a 1,5 y otros autores (Taubes, 1995) consideran que los estudios con RR inferiores a 3 no son relevantes y deberían ser ignorados.

La realidad es que la mayoría de recientes estudios de cohortes, de caso control, análisis de tendencias de tasas de incidencia de TC y revisiones sistemáticas y metaanálisis confirman que no hay un aumento del riesgo de TC.

Sin embargo, es fácil encontrar titulares de los medios de comunicación que se hacen eco de resultados de estudios de baja calidad metodológica y de opiniones de “expertos” que alarman de forma injustificada. Estas informaciones generan preocupación y miedo entre una población que tiene unas expectativas poco realistas, se contagia fácilmente del miedo y demanda “riesgo cero”. Curiosamente, la población ha estado siempre más preocupada por los efectos de las ATM que por el uso del TM que transmite más energía al cuerpo por las características de su uso. La población desconoce que para minimizar la exposición es necesario disponer de una amplia y bien distribuida red de ATM.

Si existe alguna relación entre uso de TM y TC, ésta es muy débil y las limitaciones, sesgos e incertidumbres de los estudios epidemiológicos pueden ser incapaces de detectarla.

La disparidad de resultados del GH y OGE genera más confusión entre los sectores interesados en los riesgos de los CEM de RF. La publicación de análisis separados del estudio INTERPHONE (Cardis et al. 2011 y Larjavara et al. 2011) cuyo objetivo era el mismo, identificar si las RF de los TM producen TC, no permitió clarificar la situación.

Es probable que la discrepancia en estos resultados se deba a las diferentes posiciones de partida de los investigadores de cada grupo (Elwood, 2014). Este autor se pregunta si merece la pena seguir haciendo los mismos estudios caso control para obtener los mismos resultados a los ya conocidos.

La opción más coherente propuesta por investigadores, (Mornet et al. 2013), agencias, comités y por parte del grupo de trabajo de IARC (Samet et al. 2014), que clasificó las RF de la telefonía móvil como 2b, es realizar estudios de cohortes prospectivos que hagan un seguimiento a largo plazo con métodos de medida de la exposición que sean más objetivo. En este sentido el estudio de cohortes COSMOS podrá aportar en el futuro información más consistente.

El problema es que estos estudios son muy costosos, complejos y las respuestas deben esperar mucho tiempo. La sociedad actual del “no al riesgo” quiere respuestas inmediatas que la ciencia no puede dar de forma instantánea.

### **6.1.7. Conclusiones**

- Los resultados de los estudios epidemiológicos de nuestra revisión en el periodo estudiado (2013-2016) no son consistentes con la asociación entre tumores cerebrales y uso del TM. Esta conclusión coincide con las de otras revisiones sistemáticas y evaluaciones de riesgo realizadas por agencias y comités competentes.
- En relación con el informe anterior del CCARS (CCARS, 2013) las evidencias revisadas parecen confirmar que no se observa un riesgo más elevado de TC en usuarios de TM.
- No se observa un aumento del riesgo de TC en personas expuestas a las RF emitidas por RF procedentes de ATM, radio y TV.
- La evolución de las tasas de incidencia de tumores craneales no respalda la relación entre uso del TM y mayor riesgo de padecer estos tumores

## **6.2. Hipersensibilidad Electromagnética**

### **6.2.1. Introducción. Definición de Hipersensibilidad Electromagnética**

El uso generalizado de las tecnologías informáticas y de telecomunicación (pantallas de ordenadores, sistemas de seguridad, ATM, sistemas Wi-Fi, teléfonos móviles, etc.) ha facilitado y mejorado las condiciones de vida y de trabajo de la población. Al mismo tiempo ha generado un aumento de la exposición a CEM artificiales que ha inducido, en algunas personas, una preocupación excesiva por sus hipotéticos efectos sobre la salud.

Estas personas, que se autodeclaran como hipersensibles, expresan una amplia variedad de síntomas, no específicos y subjetivos de malestar, que atribuyen a la exposición a los campos electromagnéticos ambientales. Este conjunto de síntomas (síndrome) se conoce como “Electrosensibilidad” o “Hipersensibilidad Electromagnética”.

En una reunión de la OMS (Hillert, OMS. 2004), celebrada en Praga, se adoptó el nombre de Intolerancia Ambiental Idiopática atribuible a CEM (IAI-CEM). La bibliografía científica utiliza de forma indistinta los conceptos de IAI-CEM y el término Hipersensibilidad Electromagnética (HE, o EH por sus siglas en inglés). Según la OMS, los síntomas más comunes que experimentan las personas que dicen tener electrosensibilidad son los dermatológicos (enrojecimiento, hormigueo y sensaciones de quemadura) y los síntomas neurasténicos y vegetativos (fatiga, cansancio, dificultades de concentración, vértigo, náuseas, palpitación del corazón y trastornos digestivos) que afectan al sistema nervioso.

Esta amplia variedad de síntomas, al ser muy subjetivos y autodeclarados, hacen muy difícil su estimación objetiva. Estos síntomas se observan en numerosas enfermedades y están presentes en situaciones de estrés muy frecuentes en la vida diaria. Su diagnóstico diferencial es complicado porque carece de una base toxicológica o fisiológica que permita una verificación independiente como puede hacerse con cualquier enfermedad reconocida y aceptada (diabetes, cáncer, asma, infarto, etc.) en la Clasificación Internacional de las Enfermedades (CIE).

### **6.2.2. Clasificación Internacional de las Enfermedades de la Organización Mundial de la Salud (OMS)**

La OMS es la organización competente para incluir una enfermedad en el CIE que todos los países aceptan.

La OMS es la organización responsable de la revisión periódica de la CIE que es la única clasificación de referencia para informar de la mortalidad y la morbilidad en el ámbito nacional e internacional.

[http://www.msssi.gob.es/estadEstudios/estadisticas/docs/CIE9MC\\_8ed.pdf](http://www.msssi.gob.es/estadEstudios/estadisticas/docs/CIE9MC_8ed.pdf)

Todas las actualizaciones y modificaciones de la CIE son responsabilidad de la OMS y, por tanto, la inclusión de nuevos códigos debe hacerse bajo su competencia.

El conjunto de síntomas de la HE no forma parte de ningún síndrome reconocido por la comunidad científica y no es una enfermedad incluida por la OMS en la CIE.

En España el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad es la autoridad competente para la 9ª edición en castellano de CIE9MC que fue publicada en enero de 2014 (<http://www.msssi.gob.es/estadEstudios/estadisticas/normalizacion/home.htm>) en ella no figura la HE ni ningún otro tipo de síndromes como el denominado en algunos medios como “síndrome de Hipersensibilidad a CEM”.

No existe una definición de caso, ni un protocolo validado y aceptado por la comunidad científica para su diagnóstico y tratamiento. Por estas razones, la HE no está reconocida ni clasificada en la CIE.

### 6.2.3. Revisión de las evidencias sobre HE

Se han revisado 53 referencias publicadas desde el año 2013 hasta junio de 2016, recuperadas de PUB Med y EMF portal sin ningún criterio de exclusión específico.

La información científica (las evidencias) se obtiene de los resultados de los estudios clínicos y epidemiológicos que aportan mayor peso de la evidencia, en función del tipo de diseño del estudio, metodología, calidad, validez, consistencia y reproducibilidad.

En la cúspide de la calidad del peso de la evidencia (Marzo y Viana, 2007) figuran las revisiones sistemáticas y los meta-análisis de los estudios clínicos controlados y aleatorizados (ciego y doble ciego), los estudios de cohortes y los de caso control. Los estudios observacionales puntuales, como las encuestas-cuestionarios dirigidas a población supuestamente afectada por Antenas de Telefonía Móvil (ATM) son de baja calidad, están sometidos a numerosos sesgos y aportan muy poca información al peso de la evidencia.

Las últimas revisiones realizadas por las agencias, comités internacionales y autoridades competentes en la evaluación de riesgos relacionados con las RF son exhaustivas y están basadas en las evidencias de mayor calidad y validez (SCENIHR-UE 2015, SSM-Suecia 2014, RSC-Canadá 2014, ARPANSA-Australia 2014, ICHNIF-Nueva Zelanda 2015).

Los estudios sobre la asociación entre HE y exposición a las RF de las ATM y a los TM presentan numerosas limitaciones metodológicas que determinan la validez y la utilidad de sus resultados.

Estas dificultades explican que la mayoría de los resultados obtenidos sean ambiguos e inconsistentes (Klaps et al. 2016). De la revisión de los trabajos publicados (2013-junio 2016) se observa la amplia variabilidad y heterogeneidad en el diseño de los estudios publicados: la mayoría son observacionales basados en encuestas y una minoría son estudios clínicos de provocación doble ciego o sin enmascarar. Los trabajos revisados han investigado una amplia gama de problemas, variables sociodemográficas, síntomas (subjetivos e inespecíficos) o enfermedades en grupos de personas muy diferentes (población general, niños, estudiantes, etc.) que dificultan la comparación de los resultados. A estas dificultades hay que añadir la complicada evaluación de la exposición. Los parámetros más utilizados para su cuantificación han sido la distancia a la antena, la estimación teórica, la medición puntual en zonas determinadas o el uso de dosimetría personal (aparatos de medición portables).

La carencia o la insuficiente información sobre la exposición real a las RF es una de las principales debilidades de los estudios observacionales que impide obtener conclusiones relevantes.

#### **6.2.4. Estudios clínicos controlados (ensayos de provocación)**

Los resultados de los estudios de este tipo publicados en el periodo analizado confirman las conclusiones previas de otros investigadores basadas en estudios de elevada calidad metodológica. (Rubin et al. 2011) en una revisión sistemática demostraron que no hay evidencia que las personas con IAI o HE experimenten reacciones fisiológicas anormales como resultado de la exposición a CEM.

Otra revisión sistemática (Rööslí et al. 2010) analizó 4 estudios de provocación doble ciego sobre cómo afecta a la salud la exposición a los CEM de radiofrecuencia de las estaciones base de telefonía móvil. Se concluyó que no existe relación entre la exposición a las estaciones base y la aparición de síntomas agudos. Estos resultados son consistentes ya que se han obtenido de ensayos de laboratorio llevados a cabo en humanos (voluntarios), aleatorizados y enmascarados. Este tipo de estudios clínicos son los más fiables para evaluar de forma objetiva los efectos atribuidos a la exposición a las RF emitidas por las ATM.

Se ha sugerido que los síntomas experimentados por algunas personas con HE podrían ser ocasionados por factores ambientales no relacionados con los CEM. Entre estos factores se citan la exposición al parpadeo de las pantallas de los ordenadores y monitores de video, la baja calidad del aire interior o el estrés en el medio laboral o doméstico. Algunos estudios atribuyen estos síntomas a condiciones psiquiátricas pre-existentes así como a reacciones de estrés como resultado de la preocupación acerca de los efectos en la salud de los CEM más que a la exposición en sí misma.

Un metanálisis (Augner et al. 2012) sobre los efectos de los CEM emitidos por teléfonos móviles GSM sobre síntomas subjetivos y reacciones fisiológicas revisó los resultados conjuntos de 17 estudios con una participación de 1174 individuos. Se valoró la capacidad de los participantes para detectar si estaban expuestos a RF. Se estudiaron los síntomas de la HE (dolor de cabeza, náuseas, fatiga, cansancio, irritación de piel, síntomas respiratorios, etc.) y efectos cardiovasculares. Los autores concluyeron que no hay evidencia de efectos a corto plazo de los CEM emitidos por los teléfonos móviles sobre los parámetros estudiados.

Köteles y colaboradores (2013), en un estudio de provocación con 29 voluntarios con HE autodeclarada y 42 personas del grupo control fueron sometidos a un campo magnético de 50 Hz y 0,5 mT. Los participantes rellenaron varios cuestionarios sobre sus síntomas, amplificación somatosensorial, preocupaciones modernas sobre la radiación y se les midieron varias variables fisiológicas (frecuencia cardíaca, tensión arterial, etc.).

Los autores concluyeron que aunque una elevada sensibilidad a los CEM puede jugar un papel en el desarrollo y en la cronificación de la HE los síntomas atribuidos a los CEM parecen tener un origen psicogénico.

Nakatani-Enomoto y colaboradores (2013) realizaron un estudio de provocación y doble ciego que investigó los efectos de la exposición a telefonía móvil 3G (W-CDMA) sobre el sueño de 19 voluntarios en condiciones reales y simuladas que se aplicaron tres horas antes de su hora habitual de irse a la cama. No observaron diferencias entre las características subjetivas de la calidad del sueño. Los autores concluyen que la exposición a ondas CEM de TM 3G durante 3 horas no produce efectos detectables en el sueño humano.

Choi y colaboradores (2014) en un estudio doble ciego, investigaron simultáneamente dos grupos de voluntarios de 26 adultos y 26 adolescentes que fueron sometidos a una exposición de TM (WCDMA, potencia media de 250 mW, 1950 Hz y una SAR de 1,57 W/kg) durante 32 minutos. Se midieron los siguientes parámetros: tasa cardíaca, tasa de respiración, 8 síntomas subjetivos y si percibían los CEM. Los autores concluyeron que no se producen efectos derivados de la exposición ni en los adultos ni en los jóvenes. En ninguno de estos dos últimos estudios los participantes fueron capaces de distinguir cuando estaban expuestos a RF de telefonía móvil (3G).

Un estudio de provocación doble ciego aleatorizado (Sauter et al. 2015) investigó si las señales de RF de los sistemas de telecomunicaciones TETRA (385 MHz) afectaban a las capacidades cognitivas, el bienestar, el estado de ánimo o las quejas sobre síntomas somáticos en 30 jóvenes voluntarios sanos durante 9 días, en tres escenarios: a) exposición a TETRA con una SAR de 1,5 W/kg, b) exposición a TETRA con una SAR de 6W/kg, c) sin exposición (simulada). Los autores concluyeron que sus resultados no indican que la exposición a estas RF produzca efectos sobre las funciones cognitivas o el bienestar.

Datos de dos estudios previos (Eltiti et al. 2015) uno doble ciego y otro de provocación, sobre HE y exposición a CEM de RF (antena de TM que emitía GSM, UMTS y TETRA), fueron agregados para aumentar la potencia estadística de la hipótesis de si la exposición a estos CEM producía efectos negativos en el bienestar de individuos que se autodeclaran como hipersensibles a los CEM. Un total de 102 personas con IAI- CEM (HE) y 237 controles participaron en el estudio de provocación abierta y 88 personas con IAI- CEM y 231 controles en un ensayo doble ciego, en ambos ensayos se incluyó una exposición simulada. Los autores concluyeron que sus resultados son consistentes con la bibliografía, cada vez más creciente, que indica que no hay una relación causal entre la exposición a corto plazo y los síntomas subjetivos de bienestar entre personas sanas y las que se declaran como hipersensibles. En términos de prevención los autores recomiendan el uso de intervenciones psicológicas bien establecidas que se centren en cómo se forman las creencias negativas para reducir la incidencia de HE.

Un estudio clínico experimental (Dömötör et al. 2016) con 72 individuos con HE y 36 controles sanos investigó si la exposición simulada (no hubo exposición, pero los participantes no fueron informados de ello) producía algún efecto derivado de la exposición a CEM ( $f < 10$  MHz). Los autores concluyeron que estar centrado en los síntomas del propio cuerpo, especialmente en el ámbito somatosensorial, puede ser un importante factor que contribuye a sentir la HE y probablemente puede ser un factor etiológico (causal). Estos resultados, sugieren los autores, pueden ser utilizados en la terapia de los pacientes con este tipo de síntomas.

### **6.2.5. Estudios observacionales. Síntomas autopercebidos**

Los estudios de este tipo valoran mediante encuestas, la influencia de la exposición a RF sobre los síntomas subjetivos y el bienestar de las personas que se autodeclaran como hipersensibles o se sienten preocupadas por la presencia de fuentes de CEM. La mayoría de este tipo de estudios se limita a describir los síntomas declarados por personas que viven a una cierta distancia de las antenas o que atribuyen a los CEM de diversas fuentes la causa de su malestar. Este tipo de estudios no aportan información relevante sobre la causalidad de la exposición a los CEM de RF y HE y otros problemas de salud.

Desde el anterior informe del CCARS (CCARS, 2013) se han publicado numerosos artículos sobre encuestas realizadas a personas preocupadas por los efectos de los CEM.

Hagström y colaboradores (2013) realizaron una encuesta a 395 personas autodiagnosticadas de HE, de las 206 respuestas obtenidas (52%) la mayoría expresó síntomas del sistema nervioso y estrés, trastornos del sueño, fatiga, problemas de concentración y memoria y ansiedad. Según la propia experiencia de los encuestados los tratamientos más efectivos son los cambios de la dieta, la ingesta de suplementos nutritivos, aumentar el ejercicio físico y fisioterapia. Los tratamientos oficiales de psicoterapia y medicación no se consideraron útiles. Los autores afirman que los protocolos de tratamiento deberían tener más en cuenta las perspectivas de las personas con HE.

Se han publicado varios artículos sobre la asociación de síntomas subjetivos y psiquiátricos y proximidad a ATM (Gómez-Perreta et al. 2013, Shahbaz-Gahrouei et al. 2014, Islam, 2014, Suleiman et al. 2014, Singh et al. 2016 y Silva et al. 2015).

También se han publicado varios estudios similares sobre el uso del TM y la HE y síntomas autoreportados (Redmayne et al. 2013, Szykowska et al. 2014, Stalin et al. 2014), uso del TM y ordenadores (Kücer y Pamukcu., 2014) y sobre síntomas subjetivos y todo tipo de CEM (Van Dongen., 2014).



Otros trabajos han valorado el uso del TM en estudiantes voluntarios de 16 a 22 años y calidad del sueño (Saxena et al. 2014), en niños (11 a 15 años) y síntomas subjetivos de salud percibidos por sus padres (Chiu et al. 2015), sobre el déficit de atención/hiperactividad en adolescentes (Zheng et al. 2014), en niños de 9 a 12 años (Zheng et al. 2015). Todos ellos observan algún tipo de asociación positiva, en mayor o menor grado, entre uso del TM y los síntomas estudiados.

El uso y la disponibilidad de aparatos electrónicos a la hora de irse a dormir se ha asociado con mayores niveles de obesidad y menor calidad de sueño (Chahal et al. 2013).

Minagawa y Sato, (2014) observaron menores niveles de depresión en personas mayores como resultado del uso de TM ya que aumentaron sus habilidades sociales y sus relaciones sociales con sus amistades.

Baliatsas y colaboradores (2014) combinaron los resultados de una encuesta a adultos mayores de 18 años en Holanda con los datos de sus historias clínicas para valorar síntomas físicos inespecíficos. Las personas encuestadas presentaban sensibilidad general ambiental (SGA) e IAI-CEM. El estudio también investigó el estatus funcional y la conducta frente la enfermedad de estas personas. Como ya se había observado en estudios similares, las personas con sensibilidad ambiental presentan peores niveles de salud y de indicadores de síntomas físicos inespecíficos y de actitud frente a la enfermedad. Los autores concluyen que hay una superposición entre los dos grupos (SGA y IAI-CEM) que presentaron una mayor prevalencia de síntomas y consumo de medicamentos.

El mismo grupo (Baliatsas et al. 2015), en un reanálisis del estudio anterior, estudió la exposición actual y percibida de adultos mayores de 18 años y su relación con síntomas inespecíficos autoreportados. Los autores concluyeron que no hay evidencia convincente de una asociación entre la exposición cotidiana a RF y síntomas físicos inespecíficos y calidad del sueño. En otro estudio reciente (Baliatsas et al. 2016) se valoraron los síntomas clínicos inespecíficos de una muestra de 1.069 personas que vivían a una distancia menor de 500 metros de la ATM más próxima antes y después de su instalación. Los autores concluyeron que los síntomas clínicos inespecíficos clínicamente definidos y en un período de más de 6 años no estuvieron asociados con la exposición a RF.

Por último, un estudio (Kjellquist et al. 2016) dirigido a comprender la causalidad de la IAI-CEM investigó los síntomas psicológicos y la calidad de vida relacionada con la salud mediante un cuestionario normalizado (Health Related Quality of Life, HRQoL) en un grupo de 114 personas que atribuyen sus síntomas a los CEM y en un grupo control (104 personas). El grupo de personas con IAI presentó puntuaciones más elevadas en conductas obsesivo/compulsivas, hipersensibilidad interpersonal, hostilidad, ansiedad fóbica y pensamientos paranoicos en comparación con el grupo control. Las conclusiones de este trabajo sugieren que la IAI-CEM está asociada a

varios tipos de síntomas psicológicos y con bajos niveles de calidad de vida asociada a la salud. Las implicaciones clínicas de este trabajo respaldan la terapias cognitivas propuestas por otros autores (Rubin et al. 2006) que concluyen que aunque se necesita más investigación se debería dirigir la atención a los sentimientos de inferioridad y malestar en las relaciones además de la rabia, hostilidad y el resentimiento que estas personas expresan hacia otras personas.

Este tipo de estudios observacionales no son indicadores fiables de la exposición ya que se basan en información autodeclarada sobre el uso del TM o la distancia a la ATM más cercana. La realidad es que los niveles objetivos de exposición de la población europea suele estar cientos o miles de veces por debajo de los límites aceptados como seguros por la OMS-ICNIRP. Como se ha demostrado en un estudio sobre la exposición en Europa (Gajšek et al. 2015) a RF (10 MHz-6 GHz) los niveles medios de exposición fueron inferiores a 1 V/m. Se estimó que menos de 1% de las mediciones estaban por encima de 6 V/m y menos de 0,15 por encima de 20 V/m, ninguna exposición superó los límites recomendados por el Consejo Europeo (OMS-ICNIRP y RD 1066/2001).

Las personas que describen su exposición retrospectiva a RF suelen estar influidas por una percepción distorsionada y elevada del riesgo, con facilidad realizan asociaciones espurias no fundamentadas en evidencias entre el uso del TM o la presencia de antenas. La influencia de algunos expertos que no aceptan los niveles de la OMS y la confusión que generan algunos medios de comunicación como ya se ha citado, suelen contribuir al rechazo de las infraestructuras de telecomunicaciones.

La distancia autoreportada a las antenas no es una medida adecuada para realizar estudios epidemiológicos (Baliatsas et al. 2011), la ausencia de una evaluación real de la exposición (dosimétrica), los numerosos sesgos (de participación, recuerdo, información, etc.) y la ausencia de ajustes de otros factores de confusión explica la poca utilidad de los estudios observacionales para detectar factores causales.

#### **6.2.6. Estudios de cohortes**

Guxens y colaboradores (2013) publicaron un estudio sobre la asociación entre el uso del TM y teléfono inalámbrico durante el embarazo y problemas de conducta, observados mediante un cuestionario cumplimentado por las madres y profesores, en niños de 5 años de edad en Holanda. Los niños participantes fueron 2.618 incluidos en una cohorte de estudio (Amsterdam Born Children and their Development Study) y fueron observados en el período 2003 a 2011. El cuestionario contenía información sobre edad de la madre, nivel de educación, paridad, país de nacimiento, peso y altura antes del embarazo, hábitos de consumo de alcohol durante el embarazo, consumo de tabaco y tabaquismo pasivo, ansiedad y depresión y antecedentes de psicopatología. Los autores concluyen que sus resultados no sugieren que el uso del TM y teléfono inalámbrico durante el embarazo aumenten el riesgo de problemas de conducta de los niños.

Byun y colaboradores (2013) realizaron en Corea un estudio de seguimiento (2008 a 2010) longitudinal de una cohorte de 2.522 niños de entre 8 y 11 años de edad para investigar la asociación entre el uso del TM y los síntomas de Trastorno de Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) y la exposición a plomo medida en sangre.

El riesgo de TDAH se asoció con el uso del TM en relación con el número de llamadas de voz pero la asociación se limitó a niños con una exposición relativamente alta a plomo. Los autores concluyeron que la exposición simultánea al plomo y a las RF de los TM estuvo asociada con un aumento del riesgo de presentar síntomas de TDAH aunque no descartan una causalidad inversa.

Sudan y colaboradores (2013) investigaron la asociación entre el uso del TM, obtenido mediante cuestionario a las madres y la pérdida de audición en una cohorte de niños seguidos desde el nacimiento hasta la edad de 7 años de edad (RR: 1.21, IC: 0.99-1.46) en Dinamarca. Un 36% de los niños usaron el TM a la edad de 7 años pero menos del 1% lo usó más de 1 hora a la semana. Se observó una débil asociación entre el uso del TM y la pérdida de audición en niños de 7 años de edad (RR 1.21. IC 0.99-1.46). No se observó asociación entre una reducción de audición a la edad de 18 meses y uso del TM cuando cumplieron los 7 años de edad. Los autores concluyen que sus resultados podrían estar afectados por varios sesgos y que no son suficientes para deducir que la exposición a TM tenga un efecto sobre la audición.

Huss y colaboradores (2015) investigaron la asociación entre la exposición ambiental a CEM de RF de fuentes interiores y exteriores (GSM, UMTS, Wi-Fi, proximidad a ATM) y el uso del TM y teléfonos inalámbricos y trastornos del sueño en niños a la edad de 7 años. Los datos se obtuvieron de la cohorte ya citada (Amsterdam Born Children and their Development Study), el período de observación fue de 2003 a 2011 y el número de participantes que completaron el seguimiento fue de 2.361. La información sobre la exposición se obtuvo mediante cuestionarios a los padres que contenía información sobre variables sociodemográficas y hábitos de uso del TM y sueño. El retraso en irse a la cama, el despertarse por la noche, la parasomnia y la somnolencia diurna no estuvo asociada con la exposición residencial a CEM de RF procedentes de ATM.

Un elevado uso del TM se asoció con una duración menos favorable del sueño, despertarse por la noche, parasomnia y resistencia a acostarse. El uso del teléfono inalámbrico no se relacionó con ningún trastorno del sueño. Los autores concluyen que la calidad del sueño en niños de 7 años edad no está asociada con la exposición a CEM de RF, pero potencialmente puede estar relacionada con otros factores del uso del TM.

### 6.2.7. Evaluación de evidencias de Agencias y Comités Internacionales

Desde la publicación, en 2013, del anterior informe del CCARS varias agencias y comités internacionales competentes en la evaluación de la exposición a RF han actualizado las evidencias científicas sobre la HE. **Las conclusiones de estas agencias afirman que no existe evidencia científica de que la exposición a niveles de emisiones inferiores a los establecidos en la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea sobre exposición del público a Campos Electromagnéticos, propuestos por la Comisión Internacional de Protección de Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP, en sus siglas en inglés), asumidos por la OMS e incluidos en el Real Decreto 1066/2001, produzca efectos sobre la salud de la población.**

Frente a esta posición existen algunas opiniones que no aceptan los límites reconocidos por la OMS-ICNIRP, consideran que los CEM son peligrosos para la salud aunque no existan evidencias rigurosas y por tanto exigen medidas drásticas de reducción de la exposición.

Según la OMS, se han realizado estudios con personas que se autodeclaran afectadas de HE que fueron expuestas a CEM similares a los que atribuyeron ser la causa de sus síntomas en condiciones controladas de laboratorio. La mayoría de los estudios demuestran que las personas con HE no son capaces de detectar cuando están expuestas. No se observan diferencias en la capacidad de detectar la exposición experimental en comparación con personas que no sienten HE. Estudios doble ciego bien controlados y ejecutados han demostrado que los síntomas no tenían correlación con la exposición.

La OMS (nota 2013) considera que **“Los estudios realizados hasta la fecha no indican que la exposición ambiental a los campos de RF, como los emitidos por las estaciones base, aumente el riesgo de cáncer o de cualquier otra enfermedad”**.

OMS (Nº193.2014) informa que **“En los dos últimos decenios se ha realizado un gran número de estudios para determinar si los teléfonos móviles pueden plantear riesgos para la salud. Hasta la fecha no se ha confirmado que el uso del teléfono móvil tenga efectos perjudiciales para la salud.**

En relación con los efectos a corto plazo la principal consecuencia de la interacción entre la energía radioeléctrica y el cuerpo humano es el calentamiento de los tejidos. En el caso de las frecuencias utilizadas por los teléfonos móviles, la mayor parte de la energía es absorbida por la piel y otros tejidos superficiales, de modo que el aumento de temperatura en el cerebro o en otros órganos del cuerpo es insignificante.

En varios estudios se han investigado los efectos de los campos de radiofrecuencia en la actividad eléctrica cerebral, la función cognitiva, el sueño, el ritmo cardíaco y la presión arterial en voluntarios. Hasta la fecha, esos estudios parecen indicar que no hay pruebas fehacientes de que la exposición a campos de radiofrecuencia de nivel inferior a los que provocan el calentamiento de los tejidos tenga efectos perjudiciales para la salud.

La citada nota establece que *“Además, tampoco se ha conseguido probar que exista una relación causal entre la exposición a campos electromagnéticos y ciertos síntomas notificados por los propios pacientes, fenómeno conocido como «Hipersensibilidad Electromagnética».*

La **Agencia Nacional de Seguridad Sanitaria, Alimentación, Ambiente y Trabajo, de Francia, ANSES**) publicó un nuevo informe (ANSES, 2013) que actualizó el conocimiento científico sobre los efectos de las Radiofrecuencias. En relación con las personas que expresan síntomas que atribuyen a la exposición a las RF (HE), se afirma que no se ha podido identificar ningún *mecanismo fisiopatológico* que explique la relación con la exposición a RF. Sobre los productos anti-CEM, la ANSES (pág.23) después de evaluar su eficacia, estableció: *“Los dispositivos”antiondas” examinados no han mostrado ninguna utilidad en la reducción de las exposiciones.”* Más adelante (pág. 25) se recoge: *“De facto, ningún elemento permite proponer nuevos valores límites de exposición para la población general”.*

En relación con el bienestar y el nivel de salud autodeclarado relacionado con la HE la ANSES revisó los estudios que se han publicado basados en la explotación de cuestionarios de salud contestados por vecinos que viven en la proximidad de antenas de telefonía móvil. Este tipo de estudios solo recogen síntomas subjetivos que no aportan una evaluación objetiva de la exposición por eso carecen de validez científica. La ANSES afirma (pág. 269) que el nivel de prueba es insuficiente para concluir que haya un eventual efecto de la RF sobre el bienestar de la población general.

El SCENIHR, es uno de los Comités Científicos Independientes que asesoran a la Comisión Europea. Actualmente se ha refundido en el llamado *Scientific Committee on Health, Environmental Risks* (SCHER). Sus informes sirven para establecer las políticas de la Comisión Europea en materia de salud pública. Uno de los temas que suele abordar este Comité es la evaluación de riesgos de los CEM de RF, frecuencia intermedia, baja frecuencia y campos estáticos. En su última revisión concluye que las radiofrecuencias no son la causa de los síntomas de la IAI-CEM-HE. En el informe se señala que a menudo la creencia del sujeto de estar expuesto es suficiente para disparar los síntomas de HE. En el informe (pág. 143) se afirma: *“La investigación realizada en los últimos años añade peso a la evidencia de que la exposición a CEM de RF no es la causa de los síntomas de HE. Esta conclusión es aplicable a toda la población, la infancia y adolescencia y a las personas que se autodeclaran como hipersensibles a los CEM.*

Previos meta-análisis y revisiones sistemáticas de estudios de observación y provocación (Rubin et al. 2010; Röösli et al., 2010; Rubin et al. 2011 y Augner et al. 2012) respaldan las conclusiones anteriores.

En relación con los síntomas que se presentan durante exposiciones cortas (minutos, horas) los resultados de múltiples estudios experimentales de tipo doble ciego confirman que no hay relación causal con los CEM de RF. Respecto a los síntomas asociados a exposiciones de mayor duración (días, meses) la evidencia de los estudios observacionales es ampliamente consistente aunque tiene lagunas, la mayoría de ellas en términos de una evaluación objetiva de la exposición real. El peso de la evidencia actual respalda una ausencia de efectos ocasionados por los CEM de RF (SCENIHR, 2015).

Analizados los resultados en conjunto se concluye que los estudios científicos publicados no respaldan que exista una relación entre exposición y síntomas subjetivos. Por tanto, se descarta, que cualquier persona, incluidos los sujetos que autodeclaran padecer la denominada “*Hipersensibilidad Electromagnética*” sean capaces de detectar cuando están expuestos a CEM y cuando no lo están.

Lo que si se ha observado es un *efecto nocebo* definido como un efecto adverso inespecífico que es causado por la expectativa o la creencia de que algo (en este caso los CEM) son dañinos para la salud. Este *efecto nocebo* es el que puede condicionar la presentación de síntomas asociados a la exposición a la telefonía móvil.

Otra revisión sistemática realizada por el **Consejo Científico sobre CEM de la Autoridad Sueca de Seguridad de la Radiación (SSM, 2014)** ha actualizado el conocimiento sobre los efectos de los CEM. En sus conclusiones se afirma que las nuevas evidencias indican que no hay ningún riesgo para la salud de la población expuesta a las RF de las ATM, las redes inalámbricas, transmisores de radio y TV, o las redes de datos inalámbricas que se usan en las escuelas o los hogares. Respecto a la HE la SSM estableció que los estudios analizados no aportan evidencia de que la exposición a los CEM sea un factor causal. En los estudios experimentales de provocación tanto las personas que consideran padecer HE como los voluntarios sanos han sido expuestos a CEM reales o ficticios. No se observaron diferencias de prevalencia de los síntomas observados entre exposición real y simulada. Se insiste en la tesis de que el efecto nocebo explica los síntomas de este tipo de personas con HE.

Este mismo comité ha publicado un nuevo informe que actualiza las evidencias (**SSM, 2016**). Según el comité, los estudios clínicos controlados (doble ciego) realizados durante los últimos 13 años con personas expuestas de forma voluntaria a radiofrecuencias (ATM y TM) demuestran que los síntomas que expresan no se deben a la exposición a las RF. Sin embargo, estos síntomas se presentan o pueden agravarse en algunas personas cuando piensan que están expuestas. Este es el ya conocido efecto nocebo, y es una de las razones que invalidan los supuestos efectos señalados en algunos estudios observacionales basados en encuestas puntuales en grupos de población alarmados por la presencia de ATM.

El **Panel de Expertos de la RSC (Royal Society of Canadá, 2014)**, ha revisado las evidencias para verificar si los límites de exposición vigentes (Safety Code 6. Health Canadá, similares a los de ICNIRP) en ese país siguen siendo suficientes para garantizar la protección de la salud. En relación con la HE la RSC estableció que la investigación de los últimos diez años no aporta una evidencia firme sobre la hipótesis de que las personas con HE puedan percibir la energía de las RF a niveles inferiores de los vigentes en Canadá. Asimismo, se considera que no hay una relación causal entre las RF y los síntomas de HE.

(**ARPANSA, 2014**) revisó la información científica del periodo 2000-2012 sobre los efectos sobre la salud de las RF. Sus conclusiones coinciden con las obtenidas por otras agencias: Los resultados de los estudios epidemiológicos que han investigado la exposición ocupacional y ambiental de transmisores de RF desde el año 2000 no cambia la conclusión de que no se han observado efectos perjudiciales para la salud.

El informe de un comité de expertos promovido por el Ministerio de Salud de Nueva Zelanda (Ministry of Health, 2015) obtiene conclusiones similares respecto a la incapacidad de las personas con HE para detectar las exposiciones reales o simuladas y el efecto nocebo.

#### **6.2.8. Estudios sobre comunicación y percepción del riesgo**

Algunos estudios sugieren que los síntomas de la HE pueden desencadenarse por la creencia (convicción) de estar sometido a una exposición a CEM (Rubin et al. 2011 y Rubin et al. 2010).

En otros casos se ha sugerido que informaciones de tinte alarmista juegan un importante papel en la generación de un miedo que no está justificado por las evidencias de los estudios experimentales. Informaciones no basadas en una sólida y rigurosa evidencia científica puede promover en personas susceptibles y predispuestas la aparición de HE.

Un estudio experimental (Witthöft y Rubin, 2013) investigó la influencia de los reportajes de los medios de comunicación en el desarrollo de HE, estado de ansiedad, somatización, etc. valorada mediante cuestionarios y varios test psicológicos.

Los participantes fueron asignados de forma aleatoria en dos grupos, uno que vio un programa de TV sobre los efectos adversos para la salud del Wi-Fi (76 personas) y otro (71 personas) una película no relacionada con los CEM. Después de ver el programa y la película los participantes fueron sometidos a una exposición de una supuesta señal Wi-Fi (sin emisión de CEM) durante 15 minutos. Mientras estaban supuestamente expuestos se les pidió que vigilaran posibles síntomas que pudieran sentir y que si eran muy intensos pidieran terminar el experimento. Los resultados demostraron que los reportajes de los medios de comunicación sobre los posibles riesgos adversos de las tecnologías modernas pueden elevar los niveles de preocupación de la población y aumentar la probabilidad de expresar síntomas durante una exposición simulada.

Un estudio cualitativo (Huiberts et al. 2013) sobre los artículos publicados en la prensa de Noruega (1 de febrero de 2006 a 11 de agosto de 2010), investigó las informaciones que eran coherentes o incoherentes con la evidencia de la etiología de la HE y el tipo de intervención presentada como la mejor opción para tratamiento de la HE. Un 65% de las informaciones contradecían la evidencia actual sobre la causalidad de la HE, un 35% era coherente con la evidencia. En relación con las intervenciones un 78% se clasificó como “evitación de la radiación”, un 4% como “medicina alternativa” y un 18% como “otros”. Los autores concluyeron que el discurso de los periódicos sobre la etiología y el tratamiento de la HE era contradictorio con la evidencia científica.

La mayoría de las informaciones sobre la causalidad de la HE afirman que está relacionada con la presencia de débiles CEM y que la reducción de la exposición es la mejor medida para disminuir los síntomas de la HE. Conclusiones similares se obtuvieron en otro estudio muy parecido realizado en el Reino Unido (Eldridge-Thomas y Rubin, 2013) sobre 60 artículos publicados entre el 1 de enero de 2006 y el 31 de diciembre de 2011. Un 71,7% de los artículos revisados (43) presentaron los CEM como la principal causa de IAI atribuida a CEM y un 21,7% (13 artículos) a otras causas.

Los artículos que se basaron en una fuente científica tuvieron más probabilidad de atribuir una causalidad no atribuible a los CEM. Los autores concluyeron que existe una frustrante baja calidad de la información sobre estos temas y que potencialmente favorece a más gente a atribuir de forma errónea sus síntomas a los CEM.

Un meta-análisis reciente (Klaps, 2016) concluyó que las ATM no afectan al bienestar de las personas en ensayos clínicos doble ciego. A corto plazo los efectos negativos de las ATM en personas adultas se deben a un efecto nocebo.

Las conclusiones de los estudios y revisiones científicas llevadas a cabo por los Comités y Organismos internacionales vuelven a poner de manifiesto la ausencia de una relación causa-efecto entre la exposición a las radiofrecuencias y la aparición de los efectos adversos sobre la salud en las personas que se declaran como electrosensibles.

#### **6.2.9. Uso de productos anti-CEM por personas que afirman padecer HE**

Algunos ciudadanos adquieren productos anti-CEM: (traje protector, protectores del teléfono, pinturas, aislamientos de ventanas, etc.) que se anuncian en internet o son ofrecidos por algunas empresas especializadas. El CCARS ya publicó un informe sobre estos productos (CCARS, 2010) que cuestionaba la eficacia de los numerosos aparatos que supuestamente protegen de los campos electromagnéticos, tales como pendientes, camas, colchas, pinturas, polvos detergentes, pulseras, cascos, escudos, neutralizadores, etc.

Este comité concluyó que todos estos productos que apelan a su capacidad de prevenir, curar o aliviar todo tipo de dolencias o síntomas inespecíficos, suelen carecer de pruebas científicas fiables que demuestren su eficacia real.



Estos dispositivos no cuentan con evaluaciones científicas verificables y realizadas por instituciones de reconocida experiencia y competencia profesional (como son las Agencias de Evaluación de Tecnologías Sanitarias Nacionales e Internacionales).

Esta opinión sigue vigente en relación con los aparatos, prendas, objetos, etc. que se siguen anunciando en Internet. Es habitual que los medios de comunicación contribuyan, sin pretenderlo, a generar un cierto alarmismo al hacerse eco de tratamientos milagrosos o campañas de promoción de productos con supuestas propiedades protectoras de la salud.

La falta de información objetiva y una percepción distorsionada sobre los CEM se convierte en un excelente caldo de cultivo para vender productos fraudulentos e ineficaces. Recordemos las pulseras del equilibrio y su retirada del mercado ante la demanda de las autoridades australianas para que la empresa comercializadora aportara pruebas científicas de su eficacia que nunca se presentaron.

De esta forma se explota la ignorancia de forma lucrativa, sacando partido del miedo de la población hacia las radiofrecuencias, que son percibidas como una “*fuera extraña, desconocida y peligrosa*” que hace que las personas afectadas por determinadas enfermedades sean más propensas a probar la eficacia de estos métodos “*alternativos*” ajenos a la medicina científica.

La citada revisión sistemática (Rubin et al. 2006) sobre los tratamientos de la HE concluyó que la mejor evidencia disponible sugiere que la terapia cognitivo conductista es la más efectiva para pacientes que se autodeclaran como electro-sensibles.

Este trabajo valoró también el uso de otras técnicas como el aislamiento con productos anti-CEM, filtros de pantallas, medidas de apantallamiento de los CEM, suplementos antioxidantes y acupuntura que no han demostrado su eficacia para tratar a este tipo de personas.

El aislamiento o la evitación de los CEM es prácticamente imposible de cumplir porque los CEM son invisibles, están presentes en nuestro entorno y no se detectan como ya se ha comentado en los estudios clínicos de provocación. Al recomendar “evitar la exposición” se transmite un mensaje de causalidad que no está basado en las evidencias. Esta medida de evitación conduce a un círculo vicioso, que se caracteriza por la asunción automática de las causas e implicaciones de sus síntomas y una mala adaptación que aumenta más la ansiedad cuando la paciente cree que no puede evitar la exposición (Rubin et al. 2006). Por ello, se considera que esta medida es contraproducente ya que refuerza la creencia del paciente de que sus síntomas están producidos por los CEM.

Estas falsas ideas o “creencias” sobre las causas de la HE y las medidas de “evitación” han ocasionado la adopción en nuestro país de medidas injustificadas o ineficientes en el ámbito político, judicial y educativo que no están respaldadas por las evidencias científicas.

Desde el año 2000 la Comisión Europea, además de elaborar legislación específica sobre la protección frente a los CEM, ha invertido 37 millones de euros en investigación sobre CEM y telefonía móvil. Es evidente que este esfuerzo de investigación no ha sido, todavía, suficiente para convencer a las personas que se autodeclaran como “hipersensibles a los CEM”, incluso a límites de exposición inferiores a los considerados como seguros por la OMS.

#### **6.2.10. Conclusiones**

- La HE no es una enfermedad reconocida en la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-OMS).
- No existe un protocolo validado y aceptado por la comunidad científica para el diagnóstico y tratamiento de la HE.
- Los estudios clínicos controlados confirman que no hay una relación causal entre la exposición a las diversas fuentes de RF y los síntomas de HE.
- Las personas que se declaran HE no son capaces de distinguir, en condiciones experimentales, si están expuestas o no a CEM.
- Las nuevas evidencias publicadas confirman que no hay efectos adversos para la salud derivados de la exposición a las RF de las ATM, transmisión de Radio y TV, sistemas inalámbricos (Wi-Fi) utilizados en el trabajo, la escuela o el hogar.

#### **6.3. Efectos sobre la reproducción**

Las revisiones y trabajos recientes sobre los posibles efectos adversos en mujeres embarazadas expuestas a radiaciones no ionizantes, concretamente radiaciones de RF incluido las microondas, como son el tiempo de retraso en el embarazo, relación de género al nacimiento (baja relación entre niños y niñas), malformaciones congénitas, bajo peso al nacer, y preeclampsia (estado patológico de la mujer en el embarazo caracterizado por hipertensión arterial, edemas, presencia de proteínas en la orina y aumento excesivo de peso que puede preceder a una eclampsia), no han demostrado efectos adversos, como los mencionados.

Un estudio noruego de cohortes sobre más de 100.000 nacimientos no encontró ninguna relación entre el uso del teléfono móvil, tanto por parte de la madre como del padre, en lo que afecta a las complicaciones del parto, alteraciones en el feto y a la calidad del semen en el varón (Baste et al. 2015).

Otro estudio iraní sobre 1.200 mujeres no encontró ninguna correlación entre el uso de teléfonos móviles durante el embarazo y el peso del neonato al nacer (Mortazavi et al. 2013).

Los efectos de la radiación electromagnética de RF emitida por los dispositivos móviles en los sistemas biológicos y específicamente en los sistemas reproductivos siguen estando sometidos a debate. Un obstáculo fundamental para orientar el debate es que no existe un mecanismo claro de cómo la radiación no ionizante influye en los sistemas biológicos (Houston 2016). Una reciente revisión por parte de Liu y colaboradores (2014), sobre estudios tanto en humanos como en animales, concluye que, aunque algunos estudios individuales parecen sugerir efectos del uso del teléfono móvil sobre la calidad del esperma humano, el análisis conjunto de todos los datos, concluye que no hay evidencia de alteraciones en el esperma.



## **7. ASPECTOS JURÍDICOS SOBRE RIESGOS DERIVADOS DE LA EXPOSICIÓN A CEM**

En este apartado desarrollamos, sucesivamente, las novedades más significativas que se produjeron en el plano de la legalidad, entendida la palabra en su significado más amplio, así como citas jurisprudenciales que consideramos dignas de particular mención.

### **7.1. Marco normativo**

Las disposiciones legales que se citan a continuación están ordenadas con un criterio puramente cronológico, es decir, prescindiendo de la procedencia y de la jerarquía normativa de las regulaciones que se enumeran.

#### **7.1.1. Directiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 26 de junio de 2013**

Versa sobre disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos) y deroga la Directiva 2004/40/CE (ver punto 4.4). Su artículo 1, sobre “objeto y ámbito de aplicación”, reza:

«1. La presente Directiva, que es la vigésima Directiva específica con arreglo al artículo 16, apartado 11, de la Directiva 89/391/CE, establece disposiciones mínimas en materia de protección de los trabajadores contra los riesgos para la salud y la seguridad derivados o que puedan derivarse de la exposición a campos electromagnéticos en el trabajo.

2. La presente Directiva aborda todos los efectos biofísicos directos conocidos y los efectos indirectos causados por campos electromagnéticos.

3. Los valores límite de exposición establecidos en la presente Directiva se refieren únicamente a los vínculos comprobados científicamente entre los efectos biofísicos directos a corto plazo y la exposición a los campos electromagnéticos.

4. La presente Directiva no aborda los posibles efectos a largo plazo.

La Comisión examinará los últimos avances científicos. En caso de que se disponga de datos científicos comprobados sobre posibles efectos a largo plazo, estudiará una respuesta política adecuada que incluya, en su caso, la presentación de una propuesta legislativa para abordar dichos efectos. La Comisión mantendrá al Parlamento Europeo y al Consejo informados al respecto mediante su informe sobre la aplicación práctica de la presente Directiva contemplado en el artículo 15.

5. La presente Directiva no aborda los riesgos derivados del contacto con conductores en tensión».

Más adelante nos referiremos a la trasposición de esta Directiva al Derecho español.

#### **7.1.2. Directiva 2014/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014**

Tuvo por objeto la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de comercialización de material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.

#### **7.1.3. Ley 9/2014, Ley General de Telecomunicaciones de 9 de mayo de 2014. Publicada en el Boletín Oficial del Estado de 10 de mayo**

Sustituye a la Ley 32/2003, General de Telecomunicaciones, y es el marco de referencia en su ámbito.

➤ **Su preámbulo**, después de exponer el marco normativo en el que la Ley se asienta, incluyendo dos Directivas de la Unión Europea, expone cuidadosamente la razón de ser y los objetivos de la regulación legal implantada. Se dice:

«Las telecomunicaciones constituyen uno de los sectores más dinámicos de la economía y uno de los que más pueden contribuir al crecimiento, la productividad, el empleo, y por tanto, al desarrollo económico y al bienestar social, afectando directamente al círculo de protección de los intereses generales.

*La Agenda Digital para Europa, principal instrumento para el cumplimiento de los objetivos de la Estrategia Europa 2020, persigue que para 2020 todos los europeos tengan la posibilidad de acceder a conexiones de banda ancha a una velocidad como mínimo de 30 Mbps, y que, al menos, un 50% de los hogares europeos estén abonados a conexiones de banda ancha superiores a 100 Mbps. Estos objetivos han quedado incorporados a la agenda digital española, aprobada por el Gobierno en febrero de 2013.*

*En consecuencia, introduce reformas estructurales en el régimen jurídico de las telecomunicaciones dirigidas a facilitar el despliegue de redes y la prestación de servicios por parte de los operadores, para que ello les permita ofrecer a los usuarios servicios más innovadores, de mayor calidad y cobertura, a precios más competitivos y con mejores condiciones, lo que contribuirá a potenciar la competitividad y la productividad de la economía española en su conjunto. También favorece la seguridad jurídica, al compendiar la normativa vigente, y en particular en lo que se refiere al marco comunitario de las comunicaciones electrónicas.*

*La presente Ley persigue, por tanto, garantizar el cumplimiento de los objetivos de la Agenda Digital para Europa, que requiere, en la actual situación de evolución tecnológica e incertidumbre económica, asegurar un marco regulatorio claro y estable que fomente la inversión, proporcione seguridad jurídica y elimine las barreras que han dificultado el despliegue de redes, y un mayor grado de competencia en el mercado.*

*Para ello, con fundamento en la competencia exclusiva estatal en materia de telecomunicaciones del artículo 149.1.21.ª de la Constitución y en las competencias de carácter transversal de los artículos 149.1.1.ª y 149.1.13.ª del texto constitucional, la Ley persigue, como uno de sus principales objetivos, el de recuperar la unidad de mercado en el sector de las telecomunicaciones, estableciendo procedimientos de coordinación y resolución de conflictos entre la legislación sectorial estatal y la legislación de las Administraciones competentes dictada en el ejercicio de sus competencias que pueda afectar al despliegue de redes y a la prestación de servicios.*

*Con el mismo objetivo de facilitar el despliegue de las redes y la prestación de servicios de comunicaciones electrónicas, se procede a una simplificación administrativa, eliminando licencias y autorizaciones por parte de la Administración de las telecomunicaciones para determinadas categorías de instalaciones que hacen uso del espectro. En la misma línea se prevé una revisión de las licencias y autorizaciones por parte de las Administraciones competentes, eliminando su exigibilidad para determinadas instalaciones en propiedad privada o para la renovación tecnológica de las redes y se facilita el despliegue de las nuevas redes permitiendo el acceso a las infraestructuras de otros sectores económicos susceptibles de ser utilizadas para el despliegue de redes de comunicaciones electrónicas.*

*En esta misma línea de reducción de cargas administrativas, la Ley simplifica las obligaciones de información de los operadores, a los que únicamente se les podrá solicitar aquella información que no se encuentre ya en poder de las Autoridades Nacionales de Reglamentación.*

*Asimismo, se establecen condiciones estrictas para la existencia de operadores controlados directa o indirectamente por Administraciones públicas, de manera que, fuera del concepto de autoprestación, se garantice la provisión de los servicios bajo condiciones de mercado y criterios de inversor privado, evitando de este modo que se produzcan distorsiones de la competencia, y con el objetivo de racionalizar el gasto público.*

*Por último, como necesario contrapunto a la reducción de cargas y obligaciones impuestas a los operadores, la Ley refuerza el control del dominio público radioeléctrico y las potestades de inspección y sanción, facilitando la adopción de medidas cautelares y revisando la cuantía de las sanciones.*

*En definitiva, los criterios de liberalización del sector, libre competencia, de la recuperación de la unidad de mercado y de reducción de cargas que inspiran este texto legal pretenden aportar seguridad jurídica a los operadores y crear las condiciones necesarias para la existencia de una competencia efectiva, para la realización de inversiones en el despliegue de redes de nueva generación y para la prestación de nuevos servicios, de modo que el sector pueda contribuir al necesario crecimiento económico del país».*

Hasta aquí, el preámbulo de la Ley.

➤ **Pero, sin duda, la norma de mayor relieve** para el común de los mortales (es decir, para cualquier ciudadano) es la contenida en **el artículo 61**. Forma parte del Título IV, artículos 60 a 67, sobre “dominio público radioeléctrico”. Ese artículo 61 regula las facultades del Gobierno para la administración del dominio público radioeléctrico. Dispone que el Gobierno desarrollará mediante Real Decreto las condiciones para la adecuada administración del dominio público radioeléctrico. En dicho Real Decreto se regulará, como mínimo, lo siguiente:

*«b) El procedimiento de determinación, control e inspección de los niveles únicos de emisión radioeléctrica tolerable y que no supongan un peligro para la salud pública, que deberán ser respetados en todo caso y momento por las diferentes instalaciones o infraestructuras a instalar y ya instaladas que hagan uso del dominio público radioeléctrico. En la determinación de estos niveles únicos de emisión radioeléctrica tolerable se tendrá en cuenta tanto criterios técnicos en el uso del dominio público radioeléctrico, como criterios de preservación de la salud de las personas, y en concordancia con lo dispuesto por las recomendaciones de la Comisión Europea. Tales límites deberán ser respetados, en todo caso, por el resto de Administraciones públicas, tanto autonómicas como locales».*



Parece claro que la alusión a las recomendaciones de la Comisión Europea se refiere, sobre todo, a la Recomendación 1999/519, de 12 de julio, del Consejo de la Unión Europea, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos.

Por otra parte, del contenido de la disposición derogatoria única de la Ley se desprende, a nuestro juicio, que sigue en vigor el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, que aprobó 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.

#### **7.1.4. El Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo de 2014**

Aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC- RAT 01 a 23.

#### **7.1.5. El Real Decreto 805/2014, de 19 de septiembre**

El Real Decreto 805/2014, aprobó el Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Terrestre y reguló determinados aspectos para la liberación del dividendo digital.

El objetivo perseguido es, además de favorecer el uso más eficiente del espectro, garantizar el uso de la banda del dividendo digital para servicios que son considerados clave para la recuperación económica, como los asociados a la telefonía móvil de cuarta generación que permitirán el acceso a la banda ancha ultrarrápida en movilidad. Por otra parte, el acceso al dividendo digital es considerado fundamental para la consecución de los objetivos de cobertura de banda ancha establecidos en la Agenda digital para Europa.

#### **7.1.6. El Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo**

El Real Decreto 186/2016 regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos transpone la Directiva 2014/30/UE, de 26 de febrero de 2014, sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética y deroga El Real Decreto 1580/2006, que regulaba “la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos estableció los procedimientos de evaluación y los requisitos de protección relativos a la compatibilidad electromagnética de los equipos, sistemas e instalaciones”.

Así, la Directiva 2014/30/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, modifica diversos aspectos de la Directiva 2004/108/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y, en concreto, lleva a cabo la inclusión de definiciones sobre conceptos básicos, tales como agentes económicos (fabricante, representante autorizado, importador, distribuidor), comercialización, puesta en servicio, acreditación, etc., la determinación de las obligaciones de los agentes económicos y la adaptación de los procedimientos de evaluación de la conformidad, los requisitos exhaustivos sobre los

organismos notificados (incluyendo su designación por los Estados miembros sobre la base preferente de una acreditación por una entidad acreditadora), marcado CE y declaración UE de conformidad.

En consecuencia, el Real Decreto 186/2016 tiene por objeto la transposición a la legislación nacional de la citada Directiva 2014/30/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, armonizando así, con el resto de Estados miembros de la Unión Europea, las disposiciones nacionales de protección frente a las perturbaciones electromagnéticas, para garantizar en este ámbito y en el funcionamiento del mercado interior, la libre circulación de equipos eléctricos y electrónicos.

Se trata de regular la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos con la finalidad de que las radiocomunicaciones, las redes de suministro eléctrico, las redes de telecomunicaciones y los equipos conectados a estas redes estén protegidos contra las perturbaciones electromagnéticas. Para lograr este objetivo, los fabricantes de equipos eléctricos y electrónicos deberán construirlos de forma tal que los demás equipos o las redes no se vean afectados por una degradación inaceptable del servicio cuando se utilicen en condiciones operativas normales y los operadores de redes deberán construirlas de modo que los fabricantes de equipos que puedan conectarse a ellas no se vean expuestos a trabas desproporcionadas para evitar la degradación del servicio en dichas redes, todo ello teniendo en cuenta también los aspectos acumulativos de fenómenos electromagnéticos que puedan originarse».

Todo ello es consecuencia de la adopción en julio de 2008, por el Consejo y el Parlamento Europeo del denominado Nuevo Marco Legislativo (NML), por el cual se establece una batería de medidas destinadas a eliminar las barreras que pudieran existir aún para la libre comercialización de productos en la Unión Europea a la vez que se mantienen los niveles de seguridad y salud para los usuarios.

El NML se compone de dos instrumentos complementarios: el Reglamento 765/2008/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de julio de 2008, por el que se establecen los requisitos de acreditación y vigilancia del mercado relativos a la comercialización de los productos y por el que se deroga el Reglamento (CEE) 339/93, y la Decisión 768/2008/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de julio de 2008, sobre un marco común para la comercialización de los productos y por la que se deroga la Decisión 98/465/CEE, del Consejo.

El Reglamento 765/2008/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de julio de 2008, que entró en vigor el día 1 de enero de 2010 y que es directamente aplicable en todos los Estados miembros, regula la acreditación de los organismos de evaluación de la conformidad, adopta un marco para la vigilancia del mercado de los productos y para los controles de los productos procedentes de terceros países y establece los principios generales del mercado CE.

Por su parte, el contenido de la Decisión 768/2008/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de julio de 2008, está pensado para funcionar como marco para la futura revisión de la legislación comunitaria de armonización técnica, de modo que sus disposiciones deben integrarse en toda legislación nueva o revisada.

El Parlamento y el Consejo de la Unión Europea han adoptado la Directiva 2014/30/UE, de 26 de febrero de 2014, sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética, por la que se refunde la Directiva 2004/108/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética y por la que se deroga la Directiva 80/336/CE, para adaptarla a la Decisión 768/2008/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de julio de 2008.

En cuanto a la fundamentación legal del Real Decreto, éste se dictó con base en las habilitaciones normativas contenidas en el artículo 12 y artículo 15.1. de la Ley de Industria y en los artículos 56.2. y 57.1. y en la disposición final décima de la Ley 9/2014, General de Telecomunicaciones.

#### **7.1.7. El Real Decreto 187/2016, de 6 de mayo**

Este Real Decreto regula las exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de exposición.

Este Real Decreto también es consecuencia del Nuevo Marco Legislativo y tiene por objeto trasponer a la legislación nacional la citada Directiva 2014/35/UE, armonizando así, con el resto de los Estados miembros de la UE, las disposiciones nacionales en materia de comercialización de material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión, para garantizar en este ámbito y en el funcionamiento del mercado interior, la libre circulación del material eléctrico.

Por otra parte, hay que señalar que el Real Decreto 330/2008, de 29 de febrero, por el que se adoptan medidas de control a la importación de determinados productos respecto a las normas aplicables en materia de seguridad de los productos, establece un procedimiento de control reforzado para una serie de productos procedentes de terceros países, considerados como sensibles, entre los que se incluyen el pequeño material eléctrico, objeto en parte de esta disposición.

#### **7.1.8. El Real Decreto 188/2016, también de 6 de mayo**

Aprueba el Reglamento por el que se establecen los requisitos para comercialización, puesta en servicio y uso de equipos radioeléctricos, y se regula el procedimiento para la evaluación de la conformidad, la vigilancia del mercado y el régimen sancionador de los equipos de telecomunicaciones.

Mediante esta disposición se traspuso íntegramente la Directiva 2014/53/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de abril de 2014, relativa a la armonización de las legislaciones de los Estados miembros sobre la comercialización de equipos radioeléctricos, y por la que se deroga la Directiva 1999/5/CE; también incorpora las novedades del NML a los equipos radioeléctricos garantizando que únicamente puedan ser comercializados cuando cumplan los requisitos que proporcionan un nivel elevado de protección de la salud y la seguridad, un nivel adecuado de compatibilidad electromagnética y un uso eficaz y eficiente del espectro radioeléctrico que evite interferencias perjudiciales.

#### **7.1.9. El Real Decreto 299/2016 de 22 de julio,**

Este Real Decreto traspuso al Derecho español la Directiva 2013/35/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2013, sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos).

Entró en vigor el día 30 de julio de 2016.

### **7.2. Jurisprudencia**

#### **7.2.1. Observaciones de carácter general**

En el periodo de tiempo al que se refiere este Informe, y refiriéndonos al Tribunal Supremo, se dictaron sentencias sobre cuestiones competenciales. Es decir, litigios en los que lo discutido era la competencia (o falta de ella) de una comunidad autónoma o de un ayuntamiento para reglamentar materias en las que entraban en juego aspectos relativos a emisiones radioeléctricas.

Por otro lado, también se encuentran sentencias en casos en los que un particular (o una Administración) impugnó -en parte- alguna disposición del Gobierno sobre la materia que nos ocupa.

En el plano de la responsabilidad civil, no se encuentra ninguna resolución judicial significativa sobre este aspecto. Es decir, se mantiene intacta la doctrina de la documentada sentencia de la Sala Primera de 19 de febrero de 2010.

En general, refiriéndonos a los diversos órdenes jurisdiccionales, siguen en pie los criterios y los principios que se expusieron en el Informe de CCARS correspondiente al año 2013.

No obstante, mencionamos a continuación alguna sentencia.

### **7.2.2. Sentencia del Tribunal Constitucional (Pleno) de 21 de enero de 2016**

El Tribunal Constitucional estimó parcialmente el recurso de inconstitucionalidad interpuesto por el Presidente del Gobierno contra la Ley 3/2013, de 20 de mayo, de impulso y ordenación de las infraestructuras de telecomunicaciones en Galicia, por vulneración de la competencia exclusiva del Estado en materia de régimen general de comunicaciones recogidas en el artículo 149.1.21 de la Constitución.

### **7.2.3. Sentencia de 11 de febrero de 2013, del Pleno (47 magistrados), de la Sala de lo Contencioso-administrativo del Tribunal Supremo**

Se trataba de la impugnación, por parte de VODAFONE, de una ordenanza municipal reguladora de las infraestructuras radioeléctricas de telecomunicaciones (del Ayuntamiento de Burriana).

Con el voto discrepante de dos magistrados, la sentencia declaró que ni el principio de autonomía municipal que garantiza el artículo 140 de la Constitución, ni el principio de subsidiaridad del artículo 28 de la Ley de bases de régimen local, pueden invocarse cuando el Estado, en el ejercicio de sus competencias y velando por los intereses generales, ha establecido una regulación sobre la misma materia a la que sin duda alguna puede atribuirse una vocación de exclusividad, como sucede con el Real Decreto 1066/2001, en el que no sólo se establecen más límites de exposición al público en general a los campos electromagnéticos procedentes de emisiones radioeléctricas sino que se contienen específicas previsiones sobre la afectación de la población en esos espacios calificados como “sensibles”, que agotan las medidas que en este campo puedan adoptarse basadas en el principio de precaución e impiden cualquier actuación municipal adoptada con base en el mismo título habilitante.

### **7.2.4. Sentencia de la Sala Tercera del Tribunal Supremo de 28 de junio de 2016**

Se estimó el recurso por el que la Administración Pública de la Comunidad Autónoma de Canarias impugnó el Real Decreto 805/2014, de 19 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Terrestre y se regulan determinados aspectos para la liberación del dividendo digital.

La Administración demandante había alegado:

- Defectuoso cumplimiento del trámite de audiencia en el procedimiento de elaboración de la disposición reglamentaria impugnada.
- Ausencia de facultades del Consejo Asesor de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, que se decía haber quedado vacío de funciones al haber sido derogada la Ley 2/2003, de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones.

- Incumplimiento del artículo 2 del Real Decreto 1083/2009 de 3 de julio, por el que se regula la memoria del análisis del impacto normativo.
- Colisión de títulos competenciales propios del Estado y la Comunidad Autónoma de Canarias en materia de comunicación audiovisual.
- Omisión en la organización del Plan Nacional de Telecomunicaciones de la previsión específica formulada para Canarias por la Ley 7/2010, de 31 de marzo, de comunicación audiovisual. E infracción del principio de legalidad y jerarquía normativa.
- Omisión de la delimitación de las obligaciones de cobertura en ámbitos inferiores al de la licencia.
- Inobservancia de la situación creada por la Decisión de la CE de 19 de junio de 2013.

#### **7.2.5. Sentencia de 6 de julio de 2016 de la Sala de lo Social del Tribunal Superior de Justicia de Madrid<sup>6</sup>**

El demandante, Ingeniero de Telecomunicación, había entablado demanda contra el Instituto Nacional de Seguridad Social y contra la Tesorería General de la Seguridad Social, en reclamación de declaración de incapacidad permanente. El Juzgado había desestimado íntegramente la demanda. Interpuesto recurso de suplicación, la Sala de lo Social revocó la sentencia del Juzgado, declarando que el actor se halla en situación de incapacidad permanente total para su profesión habitual de Ingeniero de Telecomunicación.

En su fundamento de Derecho quinto, la Sala declaró: *«Una vez que se ha resuelto definir el supuesto de aplicación de las normas legales sustantivas que regulan la incapacidad laboral, es decir, los artículos 136 y 137 de la LGSS, en la forma resultante de lo antes descrito, a la vista del mismo queda razonablemente acreditada la incapacidad permanente total del demandante para su profesión habitual de Ingeniero de Telecomunicación a causa del síndrome de sensibilidad química que padece o Hipersensibilidad Electromagnética que el Ministerio de Sanidad español lo ha calificado en su versión de la clasificación internacional de enfermedades CIE-9-MC dentro del grupo de alergias no específicas (código 995.3). Alergia que provoca en quien la padece pérdida de tolerancia inducida por, a modo de focos más recurrentes, la contaminación radioeléctrica, teléfonos inalámbricos, antenas de telefonía móvil, Wi-Fi, que obliga a quien lo padece a reducir al máximo su exposición en los entornos doméstico y laboral y evitar lugares con contaminación electromagnética.»*

---

<sup>6</sup> El contenido de la sentencia del TSJM “...a causa del síndrome de sensibilidad química que padece o Hipersensibilidad Electromagnética que el Ministerio de Sanidad español lo ha calificado en su versión de la clasificación internacional de enfermedades CIE-9-MC dentro del grupo de alergias no específicas (código 995.3)...”, no se corresponde con la realidad y las evidencias actuales ya que, como se ha establecido en la capítulo 6.2., en España, el MSSSI es la autoridad competente para la 9ª edición en castellano de la CIE9MC, en ella no figura la Hipersensibilidad Electromagnética ni ningún otro tipo de síndrome como el denominado en algunos medios como “síndrome de Hipersensibilidad a CEM”.

*Circunstancias éstas que conducen a la razonable decisión de declarar al demandante en situación de incapacidad permanente total para su profesión habitual de Ingeniero de Telecomunicación derivada de enfermedad común con derecho a percibir la prestación económica correspondiente en aplicación de lo dispuesto en el artículo 137.4 de la LGSS».*

### **7.3. Conclusiones**

- Uno de los principales objetivos de la Ley 9/2014, Ley General de Telecomunicaciones de 9 de mayo de 2014 es recuperar la unidad de mercado en el sector de las telecomunicaciones.
- Se procede a una simplificación administrativa, eliminando licencias y autorizaciones por parte de la Administración de las telecomunicaciones para determinadas categorías de instalaciones que hacen uso del espectro.
- En el artículo 61 regula las facultades del Gobierno para la administración del dominio público radioeléctrico, el procedimiento de determinación, control e inspección de los niveles únicos de emisión radioeléctrica tolerable y que no supongan un peligro para la salud pública. Estos niveles que deberán ser respetados por las diferentes instalaciones o infraestructuras a instalar y ya instaladas que hagan uso del dominio público radioeléctrico. Tales límites deberán ser respetados, en todo caso, por el resto de Administraciones Públicas, tanto autonómicas como locales.





## **8. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN SOBRE RADIOFRECUENCIAS**

La preocupación de algunos sectores de la población respecto a los posibles efectos sobre la salud asociados al uso del teléfono móvil y los sistemas inalámbricos de telecomunicaciones ha promovido la ejecución de numerosos proyectos de investigación financiados por la Unión Europea.

El aumento de las fuentes de exposición a los campos electromagnéticos de Radiofrecuencias requiere investigar si hay algún cambio de la incidencia de enfermedades que pudiera ser atribuible al uso de las tecnologías de telecomunicación.

Hasta el momento las evidencias no son totalmente concluyentes, pero la mayoría de los mejores estudios experimentales, clínicos y epidemiológicos publicados confirman que no se observan efectos adversos para la salud derivados del uso de la telefonía móvil y los sistemas inalámbricos de comunicación (Wi-Fi).

Como se ha resumido en capítulos anteriores los resultados de los últimos estudios caso-control no aportan novedades significativas sobre la relación entre tumores cerebrales y uso del teléfono móvil. Por esta razón, numerosos autores consideran que son necesarios estudios más rigurosos, de tipo cohorte, prospectivos, que realicen un seguimiento a largo plazo de los usuarios de los teléfonos móviles y los sistemas inalámbricos de telecomunicación.

Otro de los argumentos que justifica seguir investigando los hipotéticos efectos de las radiofrecuencias es el relativo poco tiempo transcurrido desde el uso masivo de la telefonía móvil (desde la mitad de los años 90). Los amplios periodos de latencia desde el inicio de la exposición hasta la aparición de un efecto (enfermedad) aconsejan la ejecución de estudios de seguimiento de grupos de población expuesta para verificar si se produce algún efecto después de un uso prolongado.

Desde el año 1998 más de 37 millones de euros se han invertido en investigación sobre los efectos de los campos electromagnéticos (CEM) en la Unión Europea.

([http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/env\\_health\\_projects/electromagnetic\\_fields/e-interphone.pdf](http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/env_health_projects/electromagnetic_fields/e-interphone.pdf)).

A continuación, se resumen los principales estudios de investigación que se están desarrollando o que ya han concluido en la Unión Europea.



*Mobi-kids* (Study on Communication Technology Environment and Brain Tumours in Young People). Este estudio de tipo caso –control, similar en metodología al estudio Interphone, cuenta con la participación de 14 países y está coordinado por el Institut de Salut Global-CREAL de Barcelona. Aproximadamente 1.000 personas de entre 10 a 24 años diagnosticadas de tumor cerebral y cerca de 2.000 personas sanas han sido contactadas para participar en este proyecto.

Su objetivo es evaluar el riesgo de tumores cerebrales durante la infancia y adolescencia asociado a la exposición a los CEM (Radiofrecuencia y Frecuencia Extremadamente Baja) emitidos por las tecnologías de comunicación y otros agentes ambientales y personales.

El cuestionario rellenado por los participantes recoge información sobre factores de riesgo de tipo personal (edad y género), historial sobre lugar de residencia y exposiciones ambientales, información personal y familiar sobre salud y sobre uso de las tecnologías de telecomunicación.

Sus resultados se publicarán a finales de 2016 o principios de 2017. La información sobre este proyecto de investigación está disponible en:

<http://www.crealradiation.com/index.php/es/descripcion-del-proyecto-mobi-kids>



SEAWIND (*Sound Exposure & Risk Assessment of Wireless Network Devices*)

Su principal objetivo fue conocer el impacto de la exposición a los dispositivos de las diversas redes inalámbricas (WLAN, WMAN, WIMAX, WPAN y RFID, en sus siglas en inglés) sobre la salud. Para conseguir este objetivo el estudio ha obtenido información exhaustiva sobre los niveles de exposición del público, caracterizado los campos inducidos en el interior del cuerpo humano, evaluado los efectos de exposiciones específicas sobre las células y el ADN y ha combinado los resultados obtenidos con las evidencias científicas disponibles para facilitar la gestión y comunicación de los riesgos. El estudio se realizó en el periodo 2009-2012. El informe final está disponible en: <http://seawind-fp7.eu/> y [http://cordis.europa.eu/result/rcn/56847\\_en.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/56847_en.html)



LEXNET (*Low EMF Exposure Networks*) fue financiado por la Unión Europea en el marco del Programa de Trabajo FP7. El principal objetivo general de este Proyecto fue desarrollar mecanismos efectivos para reducir la exposición del público a CEM en un 50% (al menos), sin comprometer la calidad del servicio.

Sus objetivos específicos fueron los siguientes:

- Desarrollar una metodología común para caracterizar la exposición humana a campos electromagnéticos debidos a redes inalámbricas, incluyendo métricas adecuadas y la definición de un índice de exposición a estos campos (EMF Exposure Index, EI)
- Evaluar la exposición mediante medidas del EMF in-situ haciendo uso de dosímetros portátiles de banda ancha. Estudiar la capacidad de reducción de la exposición electromagnética, de novedosos principios en arquitectura de red y tecnologías de acceso radio.
- Derivar recomendaciones de despliegue que reduzcan la exposición humana a campos electromagnéticos inducidos por redes inalámbricas. Desarrollar tecnologías radio y conceptos de capa física que contribuyan a una baja exposición.
- Validar los objetivos a través de un despliegue en una Smart City y múltiples plataformas de prototipado.
- Contribuir a la estandarización de metodologías y métricas para establecer un marco que permita evaluar la exposición a campos electromagnéticos

De los artículos publicados sobre este estudio se deduce que una reducción de los límites de exposición no aumenta de forma automática la aceptabilidad de las nuevas tecnologías. Incluso puede afirmarse que el conocimiento de las características de la exposición puede influir en una amplificación de la percepción del riesgo (Freudenstein, F, Wiedemann PM y Varsier N, 2015). La pregunta clave que formulan estos autores es: ¿Cuánta reducción es suficiente para conseguir una mayor aceptabilidad de las nuevas tecnologías de telecomunicación?.

Está pendiente de publicación su informe final. La información sobre este proyecto, que concluyó en el año 2015, está disponible en: <http://www.lexnet.fr/>



*GERoNiMO (Generalized EMF research using novel methods. An integrated approach: from research to risk assessment and support to risk management).*

Su objetivo es generar nuevos conocimientos sobre los posibles efectos para la salud de las RF y las frecuencias intermedias. El estudio se centrará en el cáncer, las enfermedades degenerativas, conducta, reproducción y envejecimiento.

Es un proyecto común con un enfoque que integra a investigadores de diferentes disciplinas, centros de investigación y países miembros de la UE para abordar los principales problemas detectados por otros proyectos europeos previos como el European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure (EFHRAN), por la OMS y el International EMF Project Research Agenda.

El enfoque integrado de esta investigación mejorará de forma significativa la fortaleza, coherencia, credibilidad y coordinación de la investigación Europea sobre CEM y salud. Sus resultados mejorarán las políticas de salud pública de la Unión Europea y de las autoridades reguladoras competentes de los países miembros sobre las estrategias de comunicación de los riesgos de los CEM.

Es un proyecto de 5 años de duración que se inició en el año 2014 (CREAL). Ya se han publicado algunos resultados (Sudan et al. 2016) de distintos subproyectos (Danish National Birth Cohort), pero son necesarios 2 años y medio para terminar el proyecto.

Los objetivos, metodología y situación de este estudio está disponible en:

<http://www.crealradiation.com/index.php/es/descripcion-del-proyecto/geronimo-project-description>

<http://www.crealradiation.com/index.php/en/geronimo-home>



COSMOS (*Cohort Study of Mobile Phone Use and Health*). *Design considerations and enrolment*.

Es un estudio internacional de cohortes prospectivo que investiga los efectos a largo plazo del uso del teléfono móvil y otras tecnologías inalámbricas. Las características de su metodología están descritas en varios artículos (Schüz et al. 2011 y Toledano et al. 2015).

COSMOS es un consorcio internacional de 6 países (Dinamarca, Finlandia, Suecia, Holanda, Reino Unido y Francia) que ha incluido a 290.000 usuarios de teléfonos móviles. La información sobre el uso del teléfono se obtiene mediante un cuestionario validado que rellenan los participantes en el estudio y por los datos facilitados por las compañías operadoras. El período previsto de seguimiento es de 20 a 30 años.

El cuestionario sobre efectos sobre la salud investiga otros agentes ambientales que pueden estar implicados, hábitos de salud, enfermedades (cáncer, tumores benignos, enfermedades neurológicas y cerebrovasculares y otros síntomas como dolor de cabeza o desórdenes del sueño).

Los objetivos, metodología y situación de este estudio pueden consultarse en la dirección electrónica. Disponible en: <http://www.thecosmosproject.org/>



REMBRANDT (*Radiofrequency ElectroMagnetic fields exposure and BRAiN Development from exposure assessment to dose-response assessment*).

Este Proyecto está coordinado por ISG Global (Barcelona) está asociado a contrato Miguel Servet integrado en el Plan Estatal de I+D+i 2013-2016 y cofinanciado por el ISCIII-Subdirección General de Evaluación y Fomento de la investigación y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Su objetivo es valorar la asociación entre la exposición a CEM de Radiofrecuencias y el desarrollo cerebral durante la infancia y la adolescencia. REMBRANDT utilizará la información epidemiológica de tres estudios de cohortes prospectivos previos, el proyecto español INMA, el estudio holandés GENERATION R y el suizo HERMES.

REMBRANDT colabora con otros dos proyectos europeos: MOBI-EXPO (caracterización del uso del teléfono móvil en niños, adolescentes y jóvenes adultos) y GERoNiMO (Generalised electromagnetic fields research using novel methods). El estudio se inició en el año 2014 y finalizará en el año 2017. Disponible en: <http://www.crealradiation.com/index.php/es/proyectos-programa-radiaciones/rembrandt>



## 9. CONCLUSIONES

### **Nuevas fuentes de Radiofrecuencia. Evolución de la telefonía móvil (2011-2015). Redes móviles de cuarta generación (4G-LTE)**

- Las redes móviles de nueva generación (LTE) permiten mejorar los servicios de telefonía móvil (mejor calidad, mayor velocidad, comunicaciones móviles en vehículos, etc.) sin aumentar la exposición de la población.
- Los niveles de exposición del público a las nuevas redes y terminales basados en la LTE medidos por varias Agencias Internacionales confirman que están muy por debajo de los límites considerados como seguros.
- No hay razones técnicas ni sanitarias que justifiquen la imposición arbitraria de límites de exposición mucho más restrictivos y sensiblemente inferiores a los recomendados por la OMS-ICNIRP y la Unión Europea. Aplicar límites más restrictivos supone que hay que aumentar el número de antenas, con los impactos consecuentes (ambientales, económicos, administrativos, etc.).

### **Sistemas inalámbricos y efectos para la salud**

- La densidad de potencia de pico de los dispositivos Wi-Fi está razonablemente bien caracterizada, tanto por los datos suministrados por las distintas Agencias, como por medidas directas en diversos escenarios.

- Los niveles de exposición a las RF derivados de las redes Wi-Fi, bajo condiciones realistas de funcionamiento, representan una fracción de los límites fijados por los Comités Científicos (como la ICNIRP) o los Organismos de Normalización (como la FCC y el IEEE). Todas las conclusiones y recomendaciones contenidas en el anterior informe del CCARS, y citadas anteriormente, sobre las redes Wi-Fi siguen siendo válidas.

### **Campos electromagnéticos en bandas de milimétricas y Terahercios (THz)**

- Los estudios que miden los niveles de exposición del público sometido a inspección de seguridad, mediante los escáneres instalados en los aeropuertos, demuestran que los valores que recibe el cuerpo humano son muy inferiores a los establecidos como seguros por la UE y el ICNIRP.
- Las dosimetrías realizadas a los sensores que utilizan tecnologías inalámbricas (IoT, contadores inteligentes, RFID, etc.) indican que los niveles de exposición están muy por debajo de los límites recomendados.
- En relación con las aplicaciones emergentes (Drones, UAV, RPA, etc.) es necesario realizar más evaluaciones de dosimetría para establecer recomendaciones de un uso seguro de este tipo de tecnologías.

### **Exposición laboral a Radiofrecuencias. Directiva 2013/35/UE y Real Decreto 299/2016.**

- Los niveles de exposición ocupacional a los CEM establecidos en la Directiva 2013/35/UE y en el Real Decreto 299/2016 son menos estrictos que los previstos en la Directiva 2004/40/CE.
- Los valores más permisivos evitan los problemas que planteaba la Directiva 2004/40/CE con la exposición laboral de las personas que trabajan en algunas actividades industriales y en el diagnóstico por imagen de la resonancia magnética.
- No se contemplan los efectos a largo plazo de la exposición ocupacional crónica.

### **Compatibilidad electromagnética**

- El uso del teléfono móvil es seguro en el ámbito hospitalario siempre que se mantenga una distancia de seguridad de menos de 1 metro entre los dispositivos- aparatos médicos que se están utilizando para tratar o vigilar a un paciente hospitalizado.
- Cuando el teléfono móvil esté encendido se recomienda mantenerlo a una distancia de 15 cm del marcapasos cardíaco.
- Las antenas de telefonía móvil no producen interferencia electromagnética en los marcapasos cardíacos.



### **Normativa y niveles de exposición en España.**

- Los niveles de intensidad de campo eléctrico (V/m) y niveles de densidad de potencia ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ), medidos por los servicios de Inspección de Telecomunicaciones de la Administración, se encuentran muy por debajo de los niveles de referencia establecidos en el Real Decreto 1066/2001. Durante el año 2015, estos sistemas de medición han estado midiendo de manera continua en 43 ubicaciones diferentes. En total, se han realizado 2.390.733 medidas con un valor promedio de  $0,89 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ .
- Las certificaciones sobre el cumplimiento de los niveles de emisión fueron realizadas correctamente y permitieron comprobar que los niveles de exposición en el entorno de las estaciones, donde pueden permanecer habitualmente las personas, se encontraban por debajo de los límites establecidos.

### **Estudios experimentales en células y animales**

- Mientras los estudios no incluyan un número significativamente alto de muestras y ensayos y, sobre todo, no se proceda a una estandarización de protocolos que permita la comparación de los distintos resultados entre sí, será imposible alcanzar conclusiones definitivas.
- Es necesario diseñar aproximaciones experimentales y herramientas más fiables para profundizar en el análisis de los efectos del electromagnetismo en organismos vivos pre-y postnatales.

### **Estudios clínicos y epidemiológicos. Tumores**

- Los resultados de los estudios epidemiológicos en el periodo estudiado (2013-2016) confirman que no se observa un aumento en el riesgo de tumores cerebrales en usuarios de teléfonos móviles.
- Esta conclusión coincide con las de otras revisiones sistemáticas y evaluaciones de riesgo realizadas por Agencias y Comités competentes en la evaluación de los efectos de los CEM sobre la salud.
- En relación con el informe anterior del CCARS, publicado en el año 2013, no se observa un aumento del riesgo de tumores cerebrales en personas expuestas a las RF emitidas por las antenas de telefonía móvil, radio y televisión.
- La evolución de las tasas de incidencia de tumores cerebrales en los países desarrollados no respalda la relación entre uso del teléfono móvil y un mayor riesgo de padecer estos tumores.

## Hipersensibilidad Electromagnética

- La Hipersensibilidad Electromagnética no es una enfermedad reconocida en la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-OMS). No existe un protocolo validado y aceptado por la comunidad científica para el diagnóstico y tratamiento de la HE.
- Los estudios clínicos controlados confirman que no hay una relación causal entre la exposición a las diversas fuentes de Radiofrecuencia y los síntomas de Hipersensibilidad Electromagnética
- Las personas que declaran padecer Hipersensibilidad Electromagnética no distinguen, en condiciones experimentales, si están expuestas o no a CEM.
- Las nuevas evidencias publicadas confirman que no hay efectos adversos para la salud derivados de la exposición a las Radiofrecuencias emitidas por las antenas de telefonía móvil, transmisión de Radio y Televisión y sistemas inalámbricos (Wi-Fi) utilizados en el trabajo, la escuela o el hogar.

## Aspectos jurídicos sobre riesgos derivados de la exposición a CEM

- Uno de los principales objetivos de la Ley 9/2014, Ley General de Telecomunicaciones, de 9 de mayo de 2014, es recuperar la unidad de mercado en el sector de las telecomunicaciones.
- En el artículo 61 regula las facultades del Gobierno para la administración del dominio público radioeléctrico, el procedimiento de determinación, control e inspección de los niveles únicos de emisión radioeléctrica tolerable y que no supongan un peligro para la salud pública. Estos niveles que deberán ser respetados por las diferentes instalaciones o infraestructuras a instalar y ya instaladas que hagan uso del dominio público radioeléctrico. Tales límites deberán ser respetados, en todo caso, por el resto de Administraciones Públicas, tanto autonómicas como locales.
- Se procede a una simplificación administrativa, sustituyendo las licencias por declaraciones responsables por parte de las Administraciones locales, para determinadas categorías de instalaciones que hacen uso del espectro radioléctrico (antenas).

## 10. RECOMENDACIONES

De la lectura del presente informe se desprende que es necesario mejorar el conocimiento y la información de la población sobre cómo funcionan las RF y qué efectos reales tienen los campos electromagnéticos sobre la salud humana.

Algunos segmentos de la ciudadanía mantienen sus dudas e incertidumbre sobre las consecuencias del uso y exposición a las nuevas tecnologías de telecomunicación. Esta inquietud genera respuestas de rechazo a la instalación de infraestructuras de telecomunicación que dificultan el desarrollo de nuevas tecnologías y empeoran la prestación de un servicio de calidad.

El CCARS considera que desde la publicación del anterior informe, en 2013, se han producido muy pocos avances que permitan un mejor conocimiento de las RF que están plenamente integradas en nuestra vida diaria. Cada día que pasa se van incorporando nuevas aplicaciones tecnológicas que amplían los usos de los CEM (drones, Internet de las cosas, sensores adosados al cuerpo humano, contadores inteligentes, comunicaciones en vehículos, auriculares inalámbricos, etc.). La introducción de estas tecnologías no va acompañada de una labor pedagógica simultánea sobre las implicaciones y consecuencias de su uso.

Por estas razones el CCARS recomienda las siguientes medidas:

- Debe aumentarse la financiación pública y privada de los planes y programas de Investigación, Desarrollo e Innovación sobre los efectos de los CEM en el ser humano.
- Nuestro país debería tener una mayor presencia internacional en los proyectos de investigación que están en fase de ejecución y en las actividades de las Agencias y Organismos competentes en la evaluación de riesgos de los CEM (OMS, IARC, UE, ICNIRP, US National Toxicology Programme, etc.).
- Al mismo tiempo, las Autoridades competentes (Ministerios de Energía, Turismo y Agenda Digital y de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad) deberían coordinar sus actividades y mejorar la cooperación para optimizar y rentabilizar los resultados de los proyectos de investigación públicos y privados sobre los CEM (Mobi kids, COSMOS, Geronimo, WHO EMF Project, Lexnet, etc.).
- Debe fomentarse una mayor colaboración y coordinación entre las autoridades estatales, autonómicas y locales con los sectores implicados (Industria, compañías operadoras de Telecomunicaciones, Colegios Profesionales, Sociedades científicas, Consumidores, etc.) en la evaluación, gestión y comunicación de los efectos de los CEM y las RF.
- Esta colaboración debe propiciar un diálogo abierto y transparente que facilite una implantación y desarrollo ordenado de las nuevas tecnologías de telecomunicaciones.
- Las autoridades competentes deberían realizar campañas de información y educación sobre los CEM, sus usos, aplicaciones y efectos. Esta información debe ser objetiva y basada en las mejores evidencias científicas aportadas por las agencias y organismos nacionales e internacionales que cuentan con acreditada experiencia, responsabilidad y competencia.
- Estas actividades informativas deben favorecer un uso razonable de las nuevas tecnologías especialmente durante la infancia y adolescencia (medio escolar, uso problemático y excesivo, seguridad en Internet y redes sociales, etc.), un uso respetuoso con los demás ciudadanos (intimidación, medios de transporte público, lugares de ocio, etc.) y un uso seguro (conducción de vehículos).
- Todos los estudios y sistemas de vigilancia de los niveles de exposición que se utilizan en nuestro país y en Europa confirman, de forma reiterada que están cientos o miles de veces por debajo de los recomendados por la UE, la OMS, el ICNIRP y la legislación estatal (Real Decreto 1066/2001). Por ello, no se recomienda invertir recursos en nuevos sistemas de vigilancia que no aportan novedades significativas sobre los niveles de exposición ya conocidos.

## 11. REFERENCIAS

Lafuente J, (1998). Secuencias rápidas en imágenes por RMN, valoración de parámetros de la secuencia turbo spin-eco para utilización del contraste y su utilidad clínica: Fourier parcial segmentado, Octubre de 1998, Universidad Complutense.

### 4. Dosimetría y evaluación de la exposición

Barnes FS y Greenebaum B (2007). Biological and Medical Aspects of Electromagnetic Fields, CRC Press, 2007. Disponible en:

[http://diyhpl.us/~nmz787/biological%20radio%20research/crc\\_-\\_biological\\_and\\_medical\\_aspects\\_of\\_electromagnetic\\_fields.pdf](http://diyhpl.us/~nmz787/biological%20radio%20research/crc_-_biological_and_medical_aspects_of_electromagnetic_fields.pdf)

Habash RW (2008). Bioeffects and therapeutic applications of electromagnetic energy. Boca Raton: CRC Press. Disponible en:

<http://files.meetup.com/1597499/Bioeffects%20and%20Therapeutic%20Applications%20of%20Electromagnetic%20E.pdf>

Havas M (2004). Biological Effects of Low Frequency Electromagnetic Fields, in D. Clements-Croome. Electromagnetic Environments and Health in Buildings. Spon Press, London,535. Disponible en:

[http://www.magdahavas.org/wordpress/wp-content/uploads/2009/10/04\\_Havas\\_London-Rev.pdf](http://www.magdahavas.org/wordpress/wp-content/uploads/2009/10/04_Havas_London-Rev.pdf)

Kaune WT, Gillis MF (1981). General properties of the interaction between animals and Electric fields. Bioelectromagnetics, 2, 1-11. Disponible en:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7284038>

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), New York, NY (United States) (1996). Sources and effects of ionizing radiation UNSCEAR 1996 report to the General Assembly, with scientific annex.

Han W y Yu KN (2010). Ionizing Radiation, DNA Double Strand Break and Mutation, Advances in Genetics Research, Novascience Volume 4.

Habash RW (2001). Electromagnetic Fields and Radiation: Human Bioeffects and Safety. New York: Marcel Dekker.

Challis LJ (2005). Mechanisms for interaction between RF fields and biological tissue. Bioelectromagnetics, 25, 98–105.

Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No-Ionizantes, ICNIRP (1998). Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health physics, 74 (4),494-522.

Bit-Babik G, Guy AW, Chou CK, Faraone A, Kanda M, Gessner A, Wang J y Fujiwara O (2005).Simulation of exposure and SAR estimation for adult and child heads exposed to radiofrequency energy from portable communication devices. Radiat Res., 163(5),580-590

Foster KR, Chou CK, (2004). Are Children More Exposed to RF Energy From Mobile Phones Than Adults? IEEE Access 2,1497.

Lorrain P y Corson D, (1990). Campos y Ondas electromagnéticas, Selecciones Científicas.

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. Recuperado el 7 de Julio de 2016 de:

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-18256>

Recomendación EU 12/07/1999 del Consejo de 12 de julio de 1999 relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz). Recuperado el 7 de julio de 2016 de:

[http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/NivelesExposicion/ActuacionesUE/Recomendacion\\_Consejo\\_europeo\\_12\\_julio\\_1999.pdf](http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/NivelesExposicion/ActuacionesUE/Recomendacion_Consejo_europeo_12_julio_1999.pdf)

Farmer R (2007). The problems with some epidemiological studies. Maturitas 57(1),11-5. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17399923>

#### **4.1. Nuevas Fuentes de RF. Evolución de la telefonía móvil**

Decisión 243/2012/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de marzo de 2012, por la que se establece un programa plurianual de política del espectro radioeléctrico. Disponible en: <http://www.boe.es/doue/2012/081/L00007-00017.pdf>

Real Decreto 805/2014, de 19 de septiembre de 2014, por el que se aprueba el Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Terrestre y se regulan determinados aspectos para la liberación del dividendo digital. Disponible en:

[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-9667](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-9667)

3rd Generation Partnership Project (3GPP). Especificaciones técnicas del sistema LTE. Series TS.36. Disponible en <http://www.3gpp.org/DynaReport/36-series.htm>

Cardona N, Olmos J, Monserrat J y García-Lozano M (2011). *3GPP LTE: Hacia la 4G móvil*. Editorial Marcombo, Barcelona. ISBN: 978-84-267-1710-8.

Osseiran A, Monserrat J y Mohr W (2011). *Mobile and Wireless Communications for IMT-Advanced and Beyond*. Editorial Wiley. ISBN: 978-1-119-99321-6

3GPP-V2X (2015). Study on LTE support for Vehicle to Everything (V2X) services, 2015, [www.3gpp.org/DynaReport/22885.htm](http://www.3gpp.org/DynaReport/22885.htm)

5th Generation Private Public Partnership (5GPPP). 5G Automotive Vision. Disponible en [www.5g-ppp.eu](http://www.5g-ppp.eu)

Directiva 2014/53/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de abril de 2014 relativa a la armonización de las legislaciones de los Estados miembros sobre la comercialización de equipos radioeléctricos, y por la que se deroga la Directiva 1999/5/CE. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2014/153/L00062-00106.pdf>

LTE-V2X (2015). ITU Workshop 2015, Beijing, China. LTE-V: A Cellular-Assisted V2X Communication Technology. Disponible en [www.itu.int](http://www.itu.int)

WRC (2012). Unión Internacional de Telecomunicaciones. Actas finales de la WRC-12 World Radiocommunication Conference, Ginebra. Actas disponibles en [www.itu.int](http://www.itu.int)

WRC (2015). Unión Internacional de Telecomunicaciones. Actas finales de la WRC-15 World Radiocommunication Conference, Ginebra. Actas disponibles en [www.itu.int](http://www.itu.int)

Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, SCENIHR (2015). Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF), Luxemburgo. Disponible en [www.ec.europa.eu/health](http://www.ec.europa.eu/health)

Colombi D, Thors B, Wirén N, Larsson LE, y Törnevik C (2013). Measurements of downlink power level distributions in LTE networks. Actas de la IEEE Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA). ISBN 978-1-4673-5707-4/13 DOI: 10.1109/ICEAA.2013.6632196.

Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No-Ionizantes, ICNIRP (2009). High Frequency Review, Germany, ISBN 978-3-934994-10-2.

Independent Advisory Group on Non-ionising Radiation, AGNIR (2012). Health Effects from Radiofrequency Electromagnetic Fields. Informe RCE-20, Health Protection Agency, Reino Unido. ISBN 978-0-85951-714-0

IZMF (2012). Sicherheit durch Transparenz – LTE auf dem Prüfstand (Informe IZMF sobre estudio de exposición tras la ampliación de las redes móviles a LTE en Alemania). Disponible en:

<http://www.informationszentrum-mobilfunk.de/sicherheit-durch-transparenz-lte-auf-dem-pruefstand-2012>

Joseph W, Verloock L, Goeminne F, Vermeeren G y Martens L (2012). General public exposure to LTE in an urban environment. *Bioelectromagnetics*, 31(7):576-579. DOI: 10.1002/bem.20594

Lunca E, Damian C y Salceanu A (2014). EMF Exposure Measurements on 4G/LTE Mobile Communication Networks. Actas del International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, 545-548. DOI: 978-1-4799-5849-8/14. Disponible en [www.ec.europa.eu/health](http://www.ec.europa.eu/health)

EARTH (2012). Driving the Energy Efficiency of Wireless Infrastructure to its Limits. <http://www.ict-earth.eu/publications>

Meroni D y Schreck S (2015). *Electromagnetic fields: activities in the European Commission with a focus on research projects and the Scientific Committee of Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR)*. *Journal on Electromagnetic Biology and Medicine*, Vol 34-3.

Wiar J, Willems K, Fischer C, Natascha K., Peña M, Roncero JJ, Hatem O, Cloutour A, Belabassi Y, Bourdel F y Masera E (2015). *LEXNET. Low EMF Exposure Future Networks*. Informe disponible en <http://www.lexnet-project.eu/>

Joseph W, Verloock L, Goeminne F, Vermeeren G y Martens L (2012). General public exposure to LTE in an urban environment, *Bioelectromagnetics*, 31(7):576-579. DOI: 10.1002/bem.20594

Institut Belge des Services Postaux et des Télécommunications, BIPT (2013). Communication du conseil de l'IBPT du 15 Février 2013 Concernant les normes de rayonnement dans la Région de Bruxelles-Capitale. Disponible en: [www.bipt.be](http://www.bipt.be)



Instituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ISPRA, (2010). *Report ISPRA 11/2/2010*. Disponible en <http://www.isprambiente.gov.it>

Agencia Francesa para la Salud y Seguridad Ocupacional y Medioambiental, ANSES, (2011). Opinion of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety (ANSES) concerning the update of the “Radiofrequency electromagnetic fields and health”. Disponible en: <http://www.anses.fr/en/documents/AP2011sa0150RaEN.pdf>

#### **4.2. Sistemas inalámbricos y efectos para la salud**

Lin JC (2016). Human Exposures to RF, Microwave, and Millimeter-Wave Electromagnetic Radiation, *IEEE Microwave Magazine*, 17(6), 32-36.

Foster KR (2013). A World Awash with Wireless Devices?, *IEEE Microwave Magazine*, 14 (2), 73-84.

Wi-Fi Alliance. Disponible en: <http://www.wi-fi.org>

Thota K (2012). Quoted in Business Wire. Disponible en: [www.businesswire.com/portal/site/home/permalink/?ndmViewId=news\\_view&newsLang=en&newsId=20120404006331&div=-1063439563](http://www.businesswire.com/portal/site/home/permalink/?ndmViewId=news_view&newsLang=en&newsId=20120404006331&div=-1063439563).

Foster KR (2007). Radiofrequency Exposure from Wireless LANs utilizing Wi-Fi Technology”, *Health Physics*, 92, 280-289.

Willig A, Matheus K y Wolisz A (2005). Wireless Technology in Industrial Networks, *Proceedings IEEE*, 93(6), 1130-1151.

Khalid M, Mee T, Peyman A, Addison D, Calderon C, Maslanyj M y Mann S (2011). Exposure to radio frequency electromagnetic fields from wireless computer networks: Duty factors of Wi-Fi devices operating in schools, *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 107, 412-420, DOI: 10.1016/j.pbiomolbio.2011.08.004.

Foster KR y Repacholi MH (2004). Biological effects of radiofrequency fields: Does modulation matter?, *Radiation Research*, 162(2), 219-225.

Anderson B, Nishen JO, Pedersen GP, Bauch G y Herdin M (2007). Room Electromagnetics”, *IEEE Antennas Propagation Magazine*, 49, 27-33.

Schmid G, Preiner P, Lager D, Uberbacher R y Georg R (2007). Exposure of the general public due to wireless LAN applications in public places, *Radiat. Prot. Dosimet.*, 124, 48-52.

Peyman A, Khalid M, Calderon C, Addison D, Mee T, Maslanyj M y Mann S (2011). Assessment of Exposure to Electromagnetic Fields from Wireless Computer Network (Wi-Fi) in Schools: Results of Laboratory Measurements, *Health Physics*, 100, 594-612.

Lunca E, David, V, Salceanu, A y Cretescu I (2012). Assessing the Human Exposure due to Wireless Local Networks in Office Environments, *Environments Engineering and Management Journal*, 11, 385-391.

Martínez-Burdalo M, Martín A, Sanchis A y Villar R (2009). FDTD assessment of human exposure to electromagnetic fields from WiFi and Bluetooth devices in some operating conditions”, *Bioelectromagnetics*, 30, 142-151.

Verloock L, W. Joseph W, G. Vermeeren G y Martens L (2010). Procedure for assessment of general public exposure from WLAN in offices and in wireless sensor network testbed, *Health Physics*, 98(4), 628–638.

Bechet P, Miclus S y Bechet AC (2012). Improving the Accuracy of Exposure Assessment to Stochastic-like Radiofrequency Signals. *IEEE Transciever Electromagnetic Compatibility*, 54, 1169-1177.

Koutitas G, Samaras T, (2010). Exposure minimization in indoor Wireless networks”, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 9, 199-202.

Informe Nueva Zelanda, (2014). Exposures to Radiofrequency from Wi-Fi in New Zealand Schools. Report 2014/02. EMF Services. Profesional EMF Measurement and Advisory Services. Report 2014/02. Disponible en:

<https://www.health.govt.nz/system/files/documents/publications/wifi-in-nz-schools.pdf>

Informe Canada, (2012). Case Study: Measurements of Radio Frequencies Exposure from Wi-Fi Devices. May 2012. Disponible en: [https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/vwapj/Wifi-e.pdf/\\$FILE/Wifi-e.pdf](https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/vwapj/Wifi-e.pdf/$FILE/Wifi-e.pdf)

Findlay RP y Dimbylow PJ (2010). SAR in a child voxel phantom from exposure in Wireless computer networks (WiFi)”, *Physical Medical Biology*, 58, 405-411.

Parazzini M, Sibella F, Paglialonga A y Ravazzani P (2016). Assessment of the exposure to WLAN frequencies of a head model with a cochlear implant, *Bioelectromagnetics*, 31(7), 546-555.

Foster KR y Moulder JE (2013). Wi-Fi and Health: Review of Current Status of Research”, *Health Physic*, 105(6), 561-575.

Gabriel S, Lau RW y Gabriel C (1996). The dielectric properties of biological tissues: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues, *Physics in Medicine and Biology*, 41 (11), 2271–2293.

Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CARS) (2013). Informe sobre radiofrecuencias y Salud 2011-2012. Editorial Complutense, Marzo 2013. Disponible en: [http://ccars.org.es/attachments/article/17/Informe\\_CCARS\\_2011-2012\\_0.pdf](http://ccars.org.es/attachments/article/17/Informe_CCARS_2011-2012_0.pdf)

Verschaeve L (2012). Evaluation of international expert group reports on the biological effects of radio-frequency fields, *Wireless Communications and Networks-Recent Advances*, A.Eksim, Ed. Shangai, China, InTech.

### **4.3 Campos electromagnéticos en bandas de milimétricas y Terahercios (THz)**

Reglamento (UE) 1141/2011 de 10 de noviembre de 2011, por el que se completa las normas básicas comunes sobre la seguridad de la aviación civil, en lo que respecta al uso de escáneres de seguridad en los aeropuertos de la UE. Boletín Oficial de la Unión Europea L 293/22. Disponible en:

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32011R1141>

TSA (Transport Security Administration. Información sobre escáneres implantados en el territorio estadounidense. Disponible en: <http://blog.tsa.gov/2009/11/response-to-oops-backscatter-x-ray.html>

U.S. Department of Homeland Security. Science and Technology Directorate (2012). DHS/ST/TSL-12/118 Compilation of Emission Safety Reports on the L3 Communications, Inc. ProVision 100 Active Millimeter Wave Advanced Imaging Technology (AIT) System, version 2. September 1, 2012. Disponible en:

<https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/tsa-compilation-of-emission-safety-reports-on-the-l3-communications-inc-ait-system.pdf>

IEEE (2005). Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. Disponible en:

<http://emfguide.itu.int/pdfs/C95.1-2005.pdf>

ICNIRP (2012). ICNIRP Statement on Health Issues Associated with Millimeter Wave Whole Body Imaging Technology. *Health Physics*, 102(1), 81-82. Disponible en:

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPmmwavesStatement2012.pdf>

SCENIHR (2015). Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). SCENIHR adopted this Opinion at the 9th plenary meeting on 27 January 2015. Disponible en:

[http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenihr\\_o\\_041.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_041.pdf)

Gallerano GP, Giovenale E, Nenzi P, De Amicis A, De Sanctis S, Di Cristofaro S, Franchini V, Lista F, Regalbuto E, Sgura A, Coluzzi E, Bei R, Fantini M, Benvenuto M y Masuelli, L (2014). Effects of THz radiation on human fibroblasts in-vitro: Exposure set-up and biological endpoints. 2014 39th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz waves (IRMMW-THz),1-2,DOI:10.1109/IRMMW-THz.2014.6956056.Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7327476/>

Gallerano GP, Giovenale E, Nenzi P, De Amicis A., De Sanctis S., Di Cristofaro S, Franchini V, Lista F, Regalbuto E, Sgura A, Coluzzi E, Bei R, Fantini M, Benvenuto M y Masuelli L (2015). Effects of mm-waves on human fibroblasts in-vitro. 2015 40th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz waves (IRMMW-THz),1-2,DOI:10.1109/IRMMW-THz.2015.7327476. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6956056/>

Project THz-BRIDGE. QLK4-CT-2000-00129. Quality of Life and Management of Living Resources Key Action 4 – Environment and Health Tera-Hertz radiation in Biological Research, Investigations on Diagnostics and study on potential Genotoxic Effects. DOI:10.1109/ISEMC.2008.4652133. Disponible en: <http://www.frascati.enea.it/THz-BRIDGE/reports/THz-BRIDGE%20Final%20Report.pdf>

Novotny DR, Guerrieri JR, Francis M y Remley K (2008). HF RFID Electromagnetic Emissions and Performance, Electromagnetic Compatibility (EMC). IEEE International Symposium,18-22 Aug 2008, 1-7. DOI: 10.1109/ISEMC.2008.4652133. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4652133>

Censi F, Calcagnini G, Mattei E, Triventi M y Bartolini P (2010). RFID in Healthcare Environment: Electromagnetic Compatibility Regulatory Issues. 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS. Buenos Aires, Argentina, August 31 - September 4. DOI: 10.1109/IEMBS.2010.5627679. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5627679>

Calcagnini G, Censi F, Maffia M, Mainetti L, Mattei E, Patrono L y Urso E (2012). Evaluation of Thermal and Nonthermal Effects of UHF RFID Exposure on Biological Drugs. IEEE Transactions on Information Technology In Biomedicine, 16(6),1051-1057, DOI: 10.1109/TITB.2012.2204895. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6218185/>

AFSSET (2009). Les systems d'identification par radiofréquences (RFID). Evaluation des impacts sanitaires. Disponible en: <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2005et0013Ra.pdf>

Sungsik K, Donggeun C y Haktae O (2008). Evaluation of Human Exposure to Electromagnetic Fields from RFID Devices at 13.56 MHz. IEEE Asia-Pacific Conference. DOI: 10.1109/APMC.2008.4958434. Disponible en:

<http://ieeexplore.ieee.org/document/4958434/>

Zulim I, Senic D, Poljak D y Sarolic A (2012). Assessment of SAR in the Human Body Exposed to an RFID Loop Antenna. 20th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), 1-5. Disponible en:

<http://ieeexplore.ieee.org/document/6347562/>

Arumugam D y Engels DW (2008). Impacts of RF Radiation on the Human Body in a Passive RFID Environment. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 1-4. DOI: 10.1109/APS.2008.4619663. Disponible en:

<http://ieeexplore.ieee.org/document/4619663/>

Amendola S, Lodato R, Manzari S, Occhiuzzi C, y Marrocco G (2014). RFID Technology for IoT-Based Personal Healthcare in Smart Spaces. IEEE Internet of Things Journal, 1(2), DOI: 10.1109/JIOT.2014.2313981. Disponible en:

<http://ieeexplore.ieee.org/document/6780609/>

Manzari S, Occhiuzzi C y Marrocco G (2012). Feasibility of body-centric passive RFID systems by using textile tags, IEEE Antennas Propag. Mag.,54(4),49-62,DOI: 10.1109/MAP.2012.6309156. Disponible en:

<http://ieeexplore.ieee.org/document/6309156/>

Occhiuzzi C y Marrocco G (2010). The RFID technology for neurosciences: Feasibility of limbs monitoring in sleep diseases, IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed., 14(1), 37-43, DOI: 10.1109/TITB.2009.2028081. Disponible en:

<http://ieeexplore.ieee.org/document/5229312/>

Di Giampaolo, E Marrocco G, y Aliberti R (2009). Estimation of UHF RFID Reading Regions in Real Environments. IEEE Antennas and Propagation Magazine,51(6), 44-57, DOI: 10.1109/MAP.2009.5433096. Disponible en:

<http://ieeexplore.ieee.org/document/5433096/>

Phan-Huy D, Kokar Y, Sarrebourg T, Malhouroux-Gaffet N, Pajusco P, Leray C, Gati A y Wiart J (2014). On the human exposure to radio frequency radiations expected from future small connected objects. Globecom 2014 Workshop - 2nd Workshop on Green Broadband access: energy efficient wireless and wired network solutions. Disponible en:

<http://ieeexplore.ieee.org/document/7063594/>

COMAR (2013). Finding on Radiofrequency Safety and Utility Smart Meters. IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine, 2(4). Disponible en:

<http://ieeexplore.ieee.org/document/6714701/>

Zhou L y Schneider JB (2012). A Study of RF Dosimetry from Exposure to an AMI Smart Meter. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 54(6). Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6387783/>

Wijayasinghe D, y Karipidis Technical K (2013). ARPANSA Preliminary Measurements of Radiofrequency Transmissions from a Mesh Radio Smart Meter. Report 163, ISSN 0157-1400. Disponible en: <http://www.arpansa.gov.au/pubs/technicalreports/tr163.pdf>

Mech LD y Barber SM (2002). A Critique of Wildlife Radio-tracking and Its Use in National. Disponible en: <http://faculty.ksu.edu.sa/14475/DocLib1/A%20CRITIQUE%20OF%20WILDLIFE%20RADIO-TRACKING.pdf>

Balmori A (2016). Radiotelemetry and wildlife: Highlighting a gap in the knowledge on radiofrequency radiation effects. Science of the Total Environment; Elsevier. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.073><http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.073>

#### **4.4.1. Aplicaciones médicas de las RF**

Muñoz V, Pérez J J, Pérez-Cajaraville J J y Berjano E (2014). Aspectos teóricos sobre la biofísica de la radiofrecuencia aplicada al tratamiento del dolor, So Esp Dolor, 21(6),351-358d.

de Andres J, Roca G, Perucho A, Nieto C, López D y Perez Pajareville J; Grupo de Radiofrecuencia de la Sociedad Española de dolor (2011). Situación actual de la Radiofrecuencia en España, Soc Esp Dolor, 18(6), 351-60.

Belenky I, Margulis A, Elman M, Bar-Yosef U, y Paun S D (2012). Exploring Channeling Optimized Radiofrequency Energy: a Review of Radiofrequency History and Applications in Esthetic Fields. Advances in Therapy, 29(3),249-66.

Lolis MS y Goldberg DJ (2012). Radiofrequency in Cosmetic Dermatology: A Review, Dermatologic Surgery, 38(11),1765–76.

ANMM (2011).Evidencia del uso clínico y terapéutico de la radiofrecuencia en el dolor crónico, Boletín de información clínico terapéutica,20(5),1-8.

Chua NH, Vissers KC y Sluijter ME (2011). Pulsed radiofrequency treatment in interventional pain management: Mechanisms and potential indications-a review, Act Neurochir,71,153-763.

Cosman ER Jr y Cosman ER Sr (2005). Electric and thermal field effects in tissue around radiofrequency electrodes, *Pain Medicine*, 6(6).

Abejón D, García del Valle S, Fuentes ML, Gomez-Arnau JI, Reig E y van Zundert J (2007). Pulsed radiofrequency in lumbar radicular pain: clinical effects in various etiological groups, *Pain Practice* Mar,1,21-6.

de Andrés J, Roca G, Perucho A, Nieto C y López D (2012). Generadores de Radiofrecuencia disponibles en el estado español, *Soc Esp Dolor*, 19(3), 157-64.

Racz GB y Ruiz Lopez R (2006). Radiofrequency procedures, *Pain Practice*,6(1),46-50.

Sluijter M y Racz GB (2002). Technical Aspects of Radiofrequency, *Pain Practice*,3,195-200

Weis S, Fanke A, Mössner J, Jacobsen JC y Schoopmeyer K (2013). Radiofrequency (thermal) ablation versus no intervention or other interventions for hepatocellular carcinoma, *Cochrane Database Systematic Reviews*, Issue 12. Art. No: Cd003046. DOI: 10.1002/14651858. CD003046. Pub3.

Van Vilsteren FGI y Bergman JJ (2010). Endoscopic therapy using radiofrequency ablation for esophageal dysplasia and carcinoma in Barrett esophagus, *Gastrointest Endosc Clin North Am*, 20, 55-74.

Zhu JC, Yan T, Glenn D y Morris DL (2009). Radiofrequency ablation of lung tumor, Feasibility and safety, *Ann Thorac Surg*,87,1023-1029

Lanuti M, Sharma A, Digumarthy SR, Wright CD, Donahue DM y Wain JC (2009). Radiofrequency ablation for the treatment of medically inoperable stage I non small cell lung cancer, *J. thorac Cardiovasc Surgery*,137,160-166

Gillams AR y Lees WR (2008). Radiofrequency ablation of lung metastases: factors influencing success, *Er Radiol*,18,672-7

Yip PS, Lam YL y Chan MK (2006). Computed tomography-guided percutaneous radiofrequency ablation of osteoid osteoma: local experience, *Hong Kong Med*, 12(4), 305-309.

Calkins H, Brugada J, Packer DL, Cappato R, Chen SA y Crijns HJ (2007). Expert consensus statement on catheter and surgical ablation of atrial fibrillation: recommendations for personal, policy, procedures and follow-up. *Heart Rhythm*,4(6),816-61.

Miller JM y Zipes DP (2012). Therapy for cardiac arrhythmias, Text book of Cardiovascular Medicine 10th edition. Philadelphia, PA. Elsevier Saunders, 35.

#### **4.4.2 Exposición laboral a CEM, Real Decreto 299/2016 y Directiva 2013/35/UE**

Directiva 89/391/CEE de 12 de junio de 1989 relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo.

Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:31989L0391&from=ES>

Directiva 2013/35/UE de 26 de junio de 2013 sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos) (vigésima Directiva específica con arreglo al artículo 16, apartado 1, de la Directiva 89/391/CEE), y por la que se deroga la Directiva 2004/40/CE. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2013/179/L00001-00021.pdf>

Directiva 2004/40/CE de 29 de abril de 2004 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (campos electromagnéticos) (decimoctava Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE). Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:184:0001:0009:ES:PDF>

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 con frecuencias comprendidas entre 0 Hz y 300 GHz. Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-7303](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-7303)

Recomendación del Consejo 1999/519/EEC de 12 de julio de 1999 relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz).

Disponible en:

[http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/NivelesExposicion/ActuacionesUE/Recomendacion\\_Consejo\\_europeo\\_12\\_julio\\_1999.pdf](http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/NivelesExposicion/ActuacionesUE/Recomendacion_Consejo_europeo_12_julio_1999.pdf)

Real Decreto 1066/2001 de 28 de septiembre, por el que se establecen las condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas. BOE núm. 234, de 29 de septiembre [RCL 2001, 3009]. Recuperado el 7 de Julio de 2016 de: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-18256>

Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos. Disponible en:

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2016-4442>



#### **4.5. Exposición a Radiofrecuencias y Compatibilidad electromagnética de los productos sanitarios implantables activos y de los equipos médicos hospitalarios**

Real Decreto 1616/2009, de 26 de octubre, que regula los productos sanitarios implantables activos. BOE núm. 268, de 6 noviembre [RCL 2009, 2106]. Recuperado el 10 de junio de 2016 de:

[http://www.aemps.gob.es/legislacion/espana/productosSanitarios/docs/Directiva\\_90-385-CEE/rc\\_l\\_2009\\_2106.pdf](http://www.aemps.gob.es/legislacion/espana/productosSanitarios/docs/Directiva_90-385-CEE/rc_l_2009_2106.pdf)

Directiva 2004/108/CE del Parlamento europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética y por la que se deroga la Directiva 89/336/CEE. Recuperado el 10 de junio de 2016 de:

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:390:0024:0037:es:PDF>

Directiva 2014/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética. Recuperado el 10 de junio de 2016 de:

<https://www.boe.es/doue/2014/096/L00079-00106.pdf>

Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos. B.O.E. Núm. 113. Martes 10 de mayo de 2016 Sec. I. Pág. 31015. Disponible en:

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2016-4442>

Censi F, Calcagnini G, Triventi M, Mattei E y Bartolini P (2007). Interference between mobile phones and pacemakers: a look inside. *Ann Ist Super Sanità*; 43(3), 254-259.

FDA (2016 a). Electromagnetic Compatibility (EMC). Recuperado de :

<http://www.fda.gov/RadiationEmittingProducts/RadiationSafety/ElectromagneticCompatibilityEMC/default.htm>

FDA (2016 b). Interference with Pacemakers and Other Medical Devices. Potential interference

<http://www.fda.gov/RadiationEmittingProducts/RadiationEmittingProductsandProcedures/HomeBusinessandEntertainment/CellPhones/ucm116311.htm>

Francis J y Niehaus M (2006). Interference between cellular telephones and implantable rhythm devices: a review on recent papers. *Indian Pacing Electrophysiol J.*, Oct 1, 6 (4),226-33. PubMed PMID: 17031411; PubMed Central PMCID: PMC1586160.

Karger CP (2005). Mobile phones and health: a literature overview. *Z Med Phys*,15 (2),73-85. Review. PubMed PMID: 16008077.

Kainz W, Neubauer G, Alesch F, Schmid G y Jahn O (2001). Electromagnetic compatibility of electronic implants-review of the literature. *Wien Klin Wochenschr.* Dec 17, 113(23-24), 903-14. Review. PubMed PMID: 11802505.

Hekmat K, Salemin B, Lauterbach G, Schwinger RH, Südkamp M, Weber HJ y Mehlhorn U (2004). Interference by cellular phones with permanent implanted pacemakers: an update. *Europace*, Jul, 6(4), 363-9. PubMed PMID: 15172661.

ANSES (2016). Compatibilité électromagnétique des dispositifs médicaux exposés à des sources radiofréquences Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. Édition scientifique. Disponible en:

<https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2011SA0211Ra.pdf><https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2011SA0211Ra.pdf>

Tiikkaja M, Aro AL, Alanko T, Lindholm H, Sistonen H, Hartikainen JE, Torvonin L, Juutilainen J y Hietanen M (2013). Testing of common electromagnetic environments for risk of interference with cardiac pacemaker function. *Saf Health Work.* Sep, 4(3):156-9. doi: 10.1016/j.shaw.2013.06.002. Epub 2013 Jul 20. PubMed PMID: 24106646; PubMed Central PMCID: PMC3791084.

Calcagnini G, Censi F y Bartolini P (2007). Electromagnetic immunity of medical devices: the European regulatory framework. *Ann Ist Super Sanità*, 43(3), 268-276.

Directiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 26 de junio de 2013 sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos), (vigésima Directiva específica con arreglo al artículo 16, apartado 1, de la Directiva 89/391/CEE), y por la que se deroga la Directiva 2004/40/CE. Disponible en: <http://www.boe.es/doue/2013/179/L00001-00021.pdf>

CENELEC. European Committee for Electrotechnical Standardization. Procedure for the assessment of the exposure to electromagnetic fields of workers bearing active implantable medical devices Part 2-1: Specific assessment for workers with cardiac pacemakers. Brussels (Belgium): EC; 2011.

Cecil S, Neubauer G, Rauscha F, Stix G, Müller W, Breithuber C y Glanzer M (2014). Possible risks due to exposure of workers and patients with implants by TETRA transmitters. *Bioelectromagnetics*, 35(3), 192-200. doi:10.1002/bem.21839. Epub 16 enero 2014. PubMed PMID: 24436224.

Ismail MM, Badreldin AM, Heldwein M y Hekmat K (2010). Third-generation mobile phones (UMTS) do not interfere with permanent implanted pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol.*, 33(7), 860-4. doi: 10.1111/j.1540-8159.2010.02707.x. Epub 18 Febrero 2010. PubMed PMID: 20180913.

Health tips (2014). Precautions with pacemakers, Mayo Clin Health Lett, 32(1):3. PubMed PMID: 24818292

Oter R (coordinador), De Juan J, Roldán T, Bardají A y Molinero E.(2000). Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología en marcapasos. Rev Esp Cardiol,53, 947-966.

Vardas PE, Auricchio A, Blanc JJ, Daubert JC, Drexler H, Ector H, Gasparini M, Linde C, Morgado FB, Oto A, Sutton Ry Trusz-Gluza M (2007). Guías europeas de práctica clínica sobre marcapasos y terapia de resincronización cardíaca Grupo de Trabajo de la Sociedad Europea de Cardiología (ESC) sobre marcapasos y terapia de resincronización cardíaca. Desarrollada en colaboración con la European Heart Rhythm Association. Rev Esp Cardiol, 60(12),1272. Recuperado 20 de junio de 2016 de:

[http://pdf.revespcardiol.org/watermark/ctl\\_servlet?f=10&pident\\_articulo=13113933&pident\\_usuario=0&pcontactid=&pident\\_revista=25&ty=114&accion=L&origen=zonadelectura&web=www.elsevier.es&lan=es&fichero=25v60n12a13113933pdf001.pdf](http://pdf.revespcardiol.org/watermark/ctl_servlet?f=10&pident_articulo=13113933&pident_usuario=0&pcontactid=&pident_revista=25&ty=114&accion=L&origen=zonadelectura&web=www.elsevier.es&lan=es&fichero=25v60n12a13113933pdf001.pdf)

Mariappan PM, Raghavan DR, Abdel Aleem S HE y Zobia AF (2016). Effects of electromagnetic interference on the functional usage of medical equipment by 2G/3G/4G cellular phones: A review, J Adv Res. Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jare.2016.04.004>

Pommergaard HC, Burcharth J y Rosenberg J (2013) Use of mobile phones in hospitals do not jeopardise the safety of the patients. Ugeskr Laeger. 25 Marzo,175(13), 876-80. Review.

Mahmoud Pashazadeh A, Aghajani M, Nabipour I y Assadi M (2013) An update on mobile phones interference with medical devices. Radiat Prot Dosimetry,156(4):401-6. doi: 10.1093/rpd/nct091. Epub 4 abril 2013.

Corzani A, Ziacchi M, Biffi M, Allaria L, Diemberger I, Martignani C, Bratten T, Gardini B y Boriani G (2015). Clinical management of electromagnetic interferences in patients with pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators: review of the literature and focus on magnetic resonance conditional devices. J Cardiovasc Med (Hagerstown). 16 Octubre (10):704-13. doi: 10.2459/JCM.0000000000000301.

#### **4.6 Normativa y niveles de exposición en España**

Ley General de Telecomunicaciones 9/2014. BOE núm. 114, de 10 mayo [RCL 2009,1105]. Recuperado el 7 de Julio de 2016 de:

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2014-4950>

Ley General de Sanidad 14/1986 de 25 de abril [RCL 1986,1905]. Recuperado el 7 de Julio de 2016 de: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1986-10499>

Real Decreto 1066/2001 de 28 de septiembre, por el que se establecen las condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas. BOE núm. 234, de 29 de septiembre [RCL 2001, 3009]. Recuperado el 7 de Julio de 2016 de: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-18256>

Orden CTE/23/2002, de 11 de enero, por la que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones. Recuperado el 7 de Julio de 2016 de:

[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2002-694](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2002-694)

Recomendación EU 12/07/1999 del Consejo de 12 de julio de 1999 relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz). Recuperado el 7 de julio de 2016 de:

[http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/NivelesExposicion/ActuacionesUE/Recomendacion\\_Consejo\\_europeo\\_12\\_julio\\_1999.pdf](http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/NivelesExposicion/ActuacionesUE/Recomendacion_Consejo_europeo_12_julio_1999.pdf)

MINETAD. Informe anual sobre exposición del público en general a emisiones electromagnéticas de estaciones de radiocomunicación, año 2015. Recuperado el 30 de Noviembre de 2016 de:

<http://www.minetad.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/NivelesExposicion/Informes/1.-%20Informes%20anuales/Informe-2015.pdf>

### **5. Estudios experimentales en células y animales**

Hand E (2016). What and where are the body's magnetometers. *Science* 352, 1510-1511.

The Scientist Staff (2016). Sensory biology around the animal kingdom. September.

Panagopoulos DJ, Johansson O y Carlo GL (2015). Real versus Simulated Mobile Phone Exposures in Experimental Studies. *Biomed Res Int* 2015, 607053. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26346766>

Balmori A (2016). Radiotelemetry and wildlife: Highlighting a gap in the knowledge on radiofrequency radiation effects. *Sci Total Environ* 543(Pt A), 662-669. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26615484>

Akdag MZ, Dasdag S, Canturk F, Karabulut D, Caner Y y Adalier N (2016). Does prolonged radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi devices induce DNA damage in various tissues of rats? *J Chem Neuroanat* 75(Pt B), 116-122.

Balode S, 1996. Assessment of radio-frequency electromagnetic radiation by the micronucleus test in bovine peripheral erythrocytes. *Sci. Total Environ.* 180, 81-85.

Volkow ND, Tomasi D, Wang GJ, Vaska P, Fowler JS, Telang F, Alexoff D, Logan J, Wong C (2011). Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism. *JAMA* 305,808-813. Disponible en:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21343580>

Leone L, Podda MV y Grassi C (2015). Impact of electromagnetic fields on stem cells: common mechanisms at the crossroad between adult neurogenesis and osteogenesis. *Front Cell Neuroci* 9, 228-235.

Maziarz A, Kocan B, Bester M, Budzik S, Cholewa M, Ochiya T y Banas A (2016). How electromagnetic fields can influence adult stem cells: positive and negative impacts. *Stem Cell Res Ther* 7, 54-66.

Ahuja YR, Vijayalakshmi V y Polasa K (2007). Stem cell test: a practical tool in to toxicogenomics. *Toxicology* 231, 1-10.

Jacob S y Moley KH (2005). Gametes and embryo epigenetic reprogramming affect developmental outcome: implication for assisted reproductive technologies. *Pediatr Res* 58, 437-46. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16148054>

Sun LY, Hsieh DK, Lin PC, Chiu HT y Chiou TW (2010). Pulsed electromagnetic fields accelerate proliferation and osteogenic gene expression in human bone marrow mesenchymal stem cells during osteogenic differentiation. *Bioelectromagnetics* 31, 209-219. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19866474>

Bai WF, Zhang MS, Huang H, Zhu HX y Xu WC (2012). Effects of 50 Hz electromagnetic fields on human epidermal stem cells cultured on collagen sponge scaffolds. *Int J Radiat Biol* 88, 523-530. Disponible en:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22568519>

Zhang M, Li X, Bai L, Uchida K, Bai W, Wu B, Xu W, Zhu H, Huang H (2013). Effects of low frequency electromagnetic field on proliferation of human epidermal stem cells: An in vitro study. *Bioelectromagnetics* 34, 74-80. Disponible en:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22926783>

Esposito M, Lucariello A, Riccio I, Riccio V, Esposito V y Riccardi G (2012). Differentiation of human osteoprogenitor cells increases after treatment with pulsed electromagnetic fields. *Vivo* 26,299-304. Disponible en:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22351673>

Cho H, Seo YK, Yoon HH, Kim SC, Kim SM, Song KY y Park JK (2012). Neural stimulation on human bone marrow-derived mesenchymal stem cells by extremely low frequency electromagnetic fields. *Biotechnol Prog*.28, 1329-35.

Schwartz Z, Fisher M, Lohmann CH, Simon BJ y Boyan BD (2009). Osteoprotegerin (OPG) Production by Cells in the Osteoblast Lineage is Regulated by Pulsed Electromagnetic Fields in Cultures Grown on Calcium Phosphate Substrates. *Ann Biomedical Eng* 37, 437-444.

Tsai MT, Li WJ, Tuan RS y Chang WH (2009). Modulation of osteogenesis in human mesenchymal stem cells by specific pulsed electromagnetic field stimulation. *J Orthop Res.* 27, 1169-1174.

Kang KS, Hong JM, Kang JA, Rhie JW, Jeong YH y Cho DW (2013). Regulation of osteogenic differentiation of human adipose-derived stem cells by controlling electromagnetic field conditions. *Exp Mol Med* 45:e6.

Mayer-Wagner S, Passberger A, Sievers B, Aigner J, Summer B, Schiergens TS, Jansson V y Müller PE (2011). Effects of low frequency electromagnetic fields on the chondrogenic differentiation of human mesenchymal stem cells. *Bioelectromagnetics* 32, 283-90. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21452358>

Luo F, Hou T, Zhang Z, Xie Z, Wu X y Xu J (2012). Effects of pulsed electromagnetic field frequencies on the osteogenic differentiation of human mesenchymal stem cells. *Orthopedics* 35, e526-531. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22495854>

Jansen JH, van der Jagt OP, Punt BJ, Verhaar JA, van Leeuwen JP, Weinans H y Jahr H (2010). Stimulation of osteogenic differentiation in human osteoprogenitor cells by pulsed electromagnetic fields: an in vitro study. *BMC Musculoskelet Disord* 11, 188-199.

Chen Ch, Lin YS, Fu YC, Wang ChK, Wu SCh, Wang GJ, Eswaramoorthy R, Wang YH, Wang ChZ, Wang YH, Lin SY, Chang JK y Ho ML (2013). Electromagnetic fields enhance chondrogenesis of human adipose-derived stem cells in a chondrogenic microenvironment in vitro. *J Applied Physiol* 114, 647-655.

Esposito M, Lucariello A, Costanzo C, Fiumarella A, Giannini A, Riccardi G, Riccio (2013). Differentiation of human umbilical cord-derived mesenchymal stem cells, WJ-MSCs, into chondrogenic cells in the presence of pulsed electromagnetic fields. *Vivo* 27, 495-500. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23812219>

Creedy CM, O'Neill CF, Arulanandam BP, Sylvia VL, Navara CS, Bizios R (2013). Mesenchymal stem cell osteodifferentiation in response to alternating electric current. *Tissue Eng Part A.* 19, 467-474.

Katsuda T, Kosaka N, Takeshita F y Ochiya T (2013). The therapeutic potential of mesenchymal stem cell-derived extracellular vesicles. *Proteomics* 13,1637-1653. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23335344>

Park JE, Seo YK, Yoon HH, Kim CW, Park JK y Jeon S (2013). Electromagnetic fields induce neural differentiation of human bone marrow derived mesenchymal stem cells via ROS mediated EGFR activation. *Neurochem Int* 62,418-424. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23411410>

Lee HN, Ko KN, Kim HJ, Rosebud Aikins A, Kim CW (2015). Ferritin is associated with neural differentiation of bone marrow-derived mesenchymal stem cells under extremely low-frequency electromagnetic field. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand)* 61, 55-59.

Lisi A, Ledda M, de Carlo F, Pozzi D, Messina E, Gaetani R, Chimenti I, Barile L, Giacomello A, D'Emilia E, Giuliani L, Foletti A, Patti A, Vulcano A y Grimaldi S (2008) Ion cyclotron resonance as a tool in regenerative medicine. *Electromagn Biol Med* 27, 127-133.

Gaetani R, Ledda M, Barile L, Chimenti I, De Carlo F, Forte E, Ionta V, Giuliani L, D'Emilia E, Frati G, Miraldi F, Pozzi D, Messina E, Grimaldi S, Giacomello A y Lisi A (2009). Differentiation of human adult cardiac stem cells exposed to extremely low-frequency electromagnetic fields. *Cardiovasc Res* 82, 411-420. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19228705>

Scientific Comité on Emerging and newly identified Health Risks (SCENIHR), 2015. Potential health effects of exposure to electromagnetic fields. European Union pages 1-288.

Farrel J, Litovitz T, Penafiel M, 1997. The effect of pulsed and sinusoidal magnetic fields on the morphology of developing chick embryos. *Bioelectromagnetics* 18, 431-438.

Novoselova E, Fesenko E, 1998. Stimulation of production of tumor necrosis factor by murine macrophages when exposed in vivo and in vitro to weak electromagnetic waves in the centimeter range. *Biofizika* 43, 1132-113.

Terzi M, Ozberk B, Deniz OG y Kaplan S (2015). The role of electromagnetic fields in neurological disorders. *J Chem Neuroanat* 75, PartB, 77-84.

Havas M (2008). Dirty electricity elevates blood sugar among electrically sensitive diabetics and may explain brittle diabetes. *Electromagn Biol Med* 27, 135-46. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18568931>

Meo SA, Alsubaie Y, Almubarak Z, Almutawa H, AlQasem Y y Hasanato RM (2015). Association of Exposure to Radio-Frequency Electromagnetic Field Radiation (RF-EMFR) Generated by Mobile Phone Base Stations with Glycated Hemoglobin (HbA1c) and Risk of Type 2 Diabetes Mellitus. *Int J Environ Res Public Health* 12, 14519-14528. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26580639>

Meo SA y Al Rubeaan K (2013). Effects of exposure to electromagnetic field radiation (EMFR) generated by activated mobile phones on fasting blood glucose. *Int J Occup Med Environ Health* 26, 235-241. Disponible en:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23771861>

Jolley WB, Hinshaw DB, Knierim K y Hinshaw DB (1983).Magnetic field effects on calcium efflux and insulin secretion in isolated rabbit islets of Langerhans.*Bioelectromagnetics*,4,103-106.Disponible

en:<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6340695>

Li L, Dai Y, Xia R, Chen S y Qiao D (2005). Pulsed electric field exposure of insulin induces anti-proliferative effects on human hepatocytes. *Bioelectromagnetics* 26, 639-647. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16189829>

Calvente I, Pérez-Lobato R, Núñez MI, Ramos R, Guxens M, Villalba J, Olea N y Fernández MF (2016). Does exposure to environmental radiofrequency electromagnetic fields cause cognitive and behavioral effects in 10-year-old boys? *Bioelectromagnetics* 37, 25-36.

Lai H (2014). Neurological effects of non-ionizing electromagnetic fields. *Bioinitiative* 2012, Section 9, pages 1-163.

Pelletier A, Delanaud S, Décima P, Thuroczy G, de Seze R, Cerri M, Bach V, Libert JP y Loos N (2013). Effects of chronic exposure to radiofrequency electromagnetic fields on energy balance in developing rats.*Environ Sci Pollut Res Int* 20, 2735-2746. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23143821>

Marino A, Nilsen, E, Frilot C, 2003. Nonlinear changes in brain electrical activity due to cell phone radiation. *Bioelectromagnetics* 24, 339–346.

Kramarenko A, Tan U, 2003. Effects of high-frequency electromagnetic fields on human EEG: a brain mapping study. *Int. J. Neurosci.* 113, 1007–1019.

Ghosn R, Yahia-Cherif L, Hugueville L, Ducorps A, Lemarechal J, Thuroczy G, Selmaoui B, 2015. Radiofrequency signal affects alpha band in resting electroencephalogram. *J. Neurophysiol.* 113, 2753–2759

Engels S, Schneider N, Lefeldt N, Hein C, Zapka M, Michalik A, Mouritsen H, 2014. Anthropogenic electromagnetic noise disrupts magnetic compass orientation in a migratory bird. *Nature* 509, 353

Cammaerts M, De Doncker P, Patris X, Bellens F, Rachidi Z, Cammaerts D, 2012. GSM 900 MHz radiation inhibits ants' association between food sites and encountered cues. *Electromagn. Biol. Med.* 31, 151–165.



Artacho-Cordón F, Salinas-Asensio Mdel M, Calvente I, Ríos-Arrabal S, León J, Román-Marinetto E, Olea N y Núñez MI (2013). Could radiotherapy effectiveness be enhanced by electromagnetic field treatment?. *Int J Mol Sci* 14, 14974-14995. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23867611>

Walleczek J, 1992. Electromagnetic field effects on cells of the immune system: the role of calcium signaling. *FASEB J.* 6, 3177–3185.

Rao V, Titushkin I, Moros E, Pickard W, Thatte H, Cho M, 2008. Nonthermal effects of radiofrequency-field exposure on calcium dynamics in stem cell-derived neuronal cells: elucidation of calcium pathways. *Radiat. Res.* 169, 319–329.

Pall M, 2013. Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce beneficial or adverse effects. *J. Cell. Mol. Med.* 17, 958–965.

Yakymenko I, Sidorik E, Henshel D, Kyrlyenko S, 2014. Low intensity radiofrequency radiation: a new oxidant for living cells. *Oxidants and Antioxidants in Medical Science* 3, 1–3

Yakymenko I, Tsybulin O, Sidorik E, Henshel D, Kyrlyenko O, Kyrlyenko S (2016). Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation. *Electromagn Biol Med* 35, 186-202. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26151230>

Hronik-Tupaj M, Rice WL, Cronin-Golomb M, Kaplan DL y Georgakoudi I (2011). Osteoblastic differentiation and stress response of human mesenchymal stem cells exposed to alternating current electric fields. *Biomed Eng Online* 26, 10-19. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21269490>

## **6. Estudios Clínicos y epidemiológicos**

### **6.1 Tumores cerebrales**

Benson VS, Pirie K, Schüz J, Reeves GK, Beral V y Green J (2013). Mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers: prospective study. *Int J Epidemiol*, 42(3) 792-802.

Frei P, Poulsen AH, Johansen C, Olsen JH, Steding-Jessen M y Schüz J (2011). Use of mobile phones and risk of brain tumours: update of Danish cohort study. *BMJ*, 343, d6387.

Schüz J, Steding-Jessen M, Hansen S, Stangerup SE, Cayé-Thomasen P, Poulsen AH, Olsen JH y Johansen C (2011). Long-term mobile phone use and the risk of vestibular schwannoma: A Danish nationwide cohort study. *Am J Epidemiol*, 22, 174-416.

De Vocht F (2014). The case of acoustic neuroma: Comment on: Mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers. *International Journal of Epidemiology* 2014, 43,273–274. Letters to the Editor 273.

Benson VS, Pirie K, Schüz J, Reeves JK, Beral V y Green J (2014). Authors' response to: the case of acoustic neuroma: comment on mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers. *International journal of epidemiology* 2014.43,275. letters to the editor 275

Hauri DD, Spycher B, Huss A, Zimmermann F, Grotzer M, von derWeid N, . Kuehni CE y Rööslí M, for the Swiss National Cohort and the Swiss Paediatric Oncology Group (2014). Exposure to Radio-Frequency Electromagnetic Fields From Broadcast Transmitters and Risk of Childhood Cancer: A Census-based Cohort Study. *Am. J. Epidemiol.* 179 (7), 843-851. doi: 10.1093/aje/kwt442 First published online: February 19, 2014

Hsu MH, Syed-Abdul S, Scholl J, Jian WS, Lee P, Iqbal U y Li YC (2013). The incidence rate and mortality of malignant brain tumors after 10 years of intensive cell phone use in Taiwan. The incidence rate and mortality of malignant brain tumors after 10 years of intensive cell phone use in Taiwan. *Eur J Cancer Prev*, 22 (6), 596-598

Kim SJH, Ioannides SJ y Elwood JM (2015). Trends in incidence of primary brain cancer in New Zealand, 1995 to 2010. *Aust N Z J Public Health* 39 (2), 148-152

Chapman S, Azizi L, Luo Q y Sitas F (2016). Has the incidence of brain cancer risen in Australia since the introduction of mobile phones 29 years ago? *Cancer Epidemiol*

Sato Y, Kiyohara K, Kojimahara N y Yamaguchi N (2016). Time trend in incidence of malignant neoplasms of the central nervous system in relation to mobile phone use among young people in Japan. *Bioelectromagnetics*

Mornet E, Kania R, Sauvaget E, Herman P y Tran BH (2013). Vestibular schwannoma and cell-phones. Results, limits and perspectives of clinical studies. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck*.130(5), 275-82. doi: 10.1016/j.anorl.2012.05.005. Epub 28 Mayo de 2013

COSMOS. Cohort Study of Mobile Phone Use and Health. Disponible en:

<http://www.thecosmosproject.org/>

Lagorio S y Rööslí M (2014). Mobile phone use and risk of intracranial tumors: A consistency analysis *Bioelectromagnetics*, 35(2), 79-90

Leitgeb N (2014). Synoptic Analysis of Epidemiologic Evidence of Brain Cancer Risks from Mobile Communication. *J Electromagn Anal*, 6(14), 413-424

Leitgeb N (2015). Synoptic Analysis of Epidemiologic Evidence of Glioma Risk from Mobile Phones. *J Electromagn Anal*, 7(9), 233-243

Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F y Hansson MK (2013a). Pooled analysis of case-control studies on acoustic neuroma diagnosed 1997-2003 and 2007-2009 and use of mobile and cordless phones. *Int J Oncol*, 43(4), 1036-1044

Carlberg M, Söderqvist F, Hansson MK y Hardell L (2013). Meningioma patients diagnosed 2007-2009 and the association with use of mobile and cordless phones: a case-control study. *Environ Health*, 12(1), 60

Carlberg M y Hardell L (2015). Pooled analysis of Swedish case-control studies during 1997-2003 and 2007-2009 on meningioma risk associated with the use of mobile and cordless phones. *Oncol Rep*, 33(6), 3093-3098

Hardell L y Carlberg M (2013b). Use of mobile and cordless phones and survival of patients with glioma. *Neuroepidemiology*, 40(2), 101-108

Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F y Hansson MK (2013c). Case-control study of the association between malignant brain tumours diagnosed between 2007 and 2009 and mobile and cordless phone use. *Int J Oncol*, 43(6), 1833-1845

Carlberg M y Hardell L (2014). Decreased Survival of Glioma Patients with Astrocytoma Grade IV (Glioblastoma Multiforme) Associated with Long-Term Use of Mobile and Cordless Phones. *Int J Environ Res Public Health*, 11(10), 10790-10805

Hardell L y Carlberg M (2015). Mobile phone and cordless phone use and the risk for glioma. Analysis of pooled case-control studies in Sweden, 1997-2003 and 2007-2009. *Pathophysiology*, 22 (1), 1-13

Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS) (2013). Documento de Posicionamiento sobre el artículo: "Case-control study of the association between malignant brain tumours diagnosed between 2007 and 2009 and mobile and cordless phone use". Disponible en:

[http://ccars.org.es/attachments/article/20/Documento\\_de\\_Posicionamiento\\_CCARS\\_-\\_Estudio\\_Hardell.pdf](http://ccars.org.es/attachments/article/20/Documento_de_Posicionamiento_CCARS_-_Estudio_Hardell.pdf)

Coureau G, Bouvier G, Lebailly P, Fabbro-Peray P, Gruber A, Leffondre K, Guillamo JS, Loiseau H, Mathoulin-Pelissier S, Salamon R y Baldi I (2014). Mobile phone use and brain tumours in the CERENAT case-control study. *Occup Environ Med*, 71(7), 514-522

Pettersson D, Mathiesen T, Prochazka M, Bergenheim T, Florentzson R, Harder H, Nyberg G, Siesjö P y Feychting M (2014). Long-term Mobile Phone Use and Acoustic Neuroma Risk. *Epidemiology*, 25(2), 233-241

Moon IS, Kim BG, Kim J, Lee JD y Lee WS (2014). Association between vestibular schwannomas and mobile phone use. *Tumour Biol*, 35(1), 581-587

Shrestha M, Raitanen J, Salminen T, Lahkola A y Auvinen A (2015). Pituitary tumor risk in relation to mobile phone use: A case-control study. *Acta Oncol*, 54(8), 1159-1165

Leng L y Zhang Y (2016). Etiology of Pituitary Tumors: A Case Control Study. *Turk Neurosurg*, 26(2), 195-199

SSM Scientific Council on Electromagnetic Fields (2014) 2014:16. Recent research on EMF and Health Risk. Ninth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. Disponible en :

<http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Stralskydd/2014/SSM-Rapport-2014-16.pdf>

SSM Scientific Council on Electromagnetic Fields (2016) 2016:15. Recent research on EMF and Health Risk. Eleventh report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. Disponible en.

[https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Stralskydd/2016/SSM\\_Rapport\\_2016\\_15\\_webb\\_1.pdf](https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Stralskydd/2016/SSM_Rapport_2016_15_webb_1.pdf)

Demers P, Findlay R, Foster KR, Kolb B, Moulder J, Nicol AM, Prato F y Stam R (2014). Expert Panel Report on A Review of Safety Code 6 (2013). Health Canada's Safety Limits for Exposure to Radiofrequency Fields. Royal Society of Canada (RSC), Ottawa, ON. ISBN: 978-1-928140-00-9. Disponible en:

[http://rsc-src.ca/sites/default/files/pdf/SC6\\_Report\\_Formatted\\_1.pdf](http://rsc-src.ca/sites/default/files/pdf/SC6_Report_Formatted_1.pdf)

ARPANSA (2014). Radiofrequency Expert Panel on Review of Radiofrequency Health Effects Research – Scientific Literature 2000 – 2012. Disponible en:

<http://www.arpansa.gov.au/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=CtAAW82puS>

Interagency Committee on the Health Effects of Non ionising Fields, ICHNIF (2015). Report to Ministers 2015. Wellington: Ministry of Health. Disponible en:

<http://www.health.govt.nz/publication/interagency-committee-health-effects-non-ionising-fields-report-ministers-2015>

SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks) (2015). Opinion on potential effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). European Commission. Disponible en:

[http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenihr\\_o\\_041.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_041.pdf)

Taubes G 1995. Epidemiology faces its limits. *Science* 269:164–169.

Cardis E, Armstrong BK, Bowman JD, Giles GG, Hours M, Krewski D, McBride M, Parent ME, Sadetzki S, Woodward A, Brown J, Chetrit A, Figuerola J, Hoffmann C, Jarus- Hakak A, Montestruq L, Nadon L, Richardson L, Villegas R y Vrijheid M (2011).

Risk of brain tumours in relation to estimated RF dose from mobile phones: Results from five Interphone countries. *Occup Environ Med*, 68:631–640

Larjavaara S, Schuz J, Swerdlow A, Feychting M, Johansen C, Lagorio S, Tynes T, Klæboe L, Tonjer SR, Blettner M, Berg-Beckhoff G, Schlehofer B, Schoemaker M, Britton J, Mantyla R, Lonn S, Ahlbom A, Flodmark O, Lilja A, Martini S, Rastelli E, Vidiri A, Kahara V, Raitanen J, Heinavaara S y Auvinen A (2011). Location of gliomas in relation to mobile telephone use: A case-case and case-specular analysis. *Am J Epidemiol*, 174:2–11.

Elwood JM. (2014). Mobile Phones, Brain Tumors and the Limits of Science. *Comment. Bioelectromagnetics*, 35, 379-383

Samet JM, Straif K, Schüz J and Saracchie R (2014). Next Steps After the 2011 IARC Review. *Commentary Epidemiology*, 25(1).

Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CARS) (2013). Informe sobre radiofrecuencias y Salud 2011-2012. Editorial Complutense, Marzo 2013. Disponible en: [http://ccars.org.es/attachments/article/17/Informe\\_CCARS\\_2011-2012\\_0.pdf](http://ccars.org.es/attachments/article/17/Informe_CCARS_2011-2012_0.pdf)

## **6.2 Hipersensibilidad electromagnética**

Hillert L (2004). Report on characterization, diagnosis and treatment In Hansson Mild K, Repacholi M., van Deventer E., Ravazzani P. Electromagnetic hypersensitivity: proceedings of an international workshop on EMF hypersensitivity. World Health Organization, Prague, Czech Republic.

Marzo M y Viana C (2007). Calidad de la evidencia y grado de recomendación. *Guías Clínicas 2007*; supl1.6. Recuperado de: <http://www.fisterra.com/guias2/fmc/sintesis.pdf>

SCENIHR (2015). Opinion on potential effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). European Commission. Disponible en: [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenihr\\_o\\_041.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_041.pdf)

SSM (2014). Recent research on EMF and Health Risk. Ninth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. Disponible en: <http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Stralskydd/2014/SSM-Rapport-2014-16.pdf>

Demers P, Findlay R, Foster KR, Kolb B, Moulder J, Nicol AM, Prato F y Stam R (2014). Expert Panel Report on A Review of Safety Code 6 (2013). Health Canada's Safety Limits for Exposure to Radiofrequency Fields. Royal Society of Canada (RSC), Ottawa, ON. ISBN: 978-1-928140-00-9. Disponible en: [http://rsc-src.ca/sites/default/files/pdf/SC6\\_Report\\_Formatted\\_1.pdf](http://rsc-src.ca/sites/default/files/pdf/SC6_Report_Formatted_1.pdf)

ARPANSA (2014). Radiofrequency Expert Panel on Review of Radiofrequency Health Effects Research – Scientific Literature 2000 – 2012. Disponible en: <http://www.arpansa.gov.au/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=CtAAW82puS>

Interagency Committee on the Health Effects of Non ionising Fields (ICHNIF) (2015). Report to Ministers 2015. Wellington: Ministry of Health. Disponible en: <http://www.health.govt.nz/publication/interagency-committee-health-effects-non-ionising-fields-report-ministers-2015>

Klaps A, Ponocny I, Winker R, Kundi M, Auersperg F y Barth (2016). A Mobile phone base stations and well-being. A meta-analysis (2016). *Science of the Total Environment*, 544, 24–30. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.009>

Rubin JG, Hillert L, Nieto-Hernandez R, van Rongen E y Oftedal G (2011). Do people with idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields display physiological effects when exposed to electromagnetic fields. A systematic review of provocation studies. *Bioelectromagnetics*, 32, 593-609.

Röösli M, Frei P, Mohler E y Hug K (2010). Systematic review of randomized human trials conducted in laboratory settings and of epidemiological studies that investigated the health effects of MPBS radiation in the everyday environment. *Bulletin of the World Health Organization*, 88(12), 887-896.

Augner CG, Winker TR y Barth A (2012). Acute effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on subjective well-being and physiological reactions: a meta-analysis. *Sci total Environ*. May 1(5), 424:11.

Köteles F, Szemerszky R, Gubányi M, Körmendi J, Szekrényesi C, Lloyd R, Molnár L, Drozdovszky O y Bárdos G (2013). Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (IEI-EMF) and electrosensitivity (ES) - are they connected?, *Int J, Hyg Environ Health*. Jun, 216(3), 362-70. doi: 10.1016/j.ijheh.2012.05.007. Epub 2012 Jun 13. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22698789>

Nakatani-Enomoto S, Furubayashi T, Ushiyama A, Groiss SJ, Ueshima K, Sokejima S, Simba AY, Wake K, Watanabe S, Nishikawa M, Miyawaki K, Taki M y Ugawa Y (2013). Effects of electromagnetic fields emitted from W-CDMA-like mobile phones on sleep in humans. *Bioelectromagnetics*, 34(8), 589-98.

Choi SB, Kwon MK, Chung JW, Park JS, Chung K y Kim DW (2014). Effects of short-term radiation emitted by WCDMA mobile phones on teenagers and adults. *BMC Public Health*, 14, 438. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/25045>

Sauter C, Eggert T, Dorn H, Schmid G, Bolz T, Marasanov A, Hansen ML, Peter A y Danker-Hopfe H (2015). Do signals of a hand-held TETRA transmitter affect cognitive performance, well-being, mood or somatic complaints in healthy young men? Results of a randomized double-blind cross-over provocation study. *Environ Res*,140,85-94. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/26818>

Eltiti S, Wallace D, Russo R y Fox E (2015). Aggregated data from two double-blind base station provocation studies comparing individuals with idiopathic environmental intolerance with attribution to electromagnetic fields and controls. *Bioelectromagnetics*, 36 (2), 96-107. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/26479>

Dömötör Z, Doering BK y Köteles F (2016). Dispositional aspects of body focus and idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (IEI-EMF), *Scand JP. Apr*, 57(2),136-43. doi: 10.1111/sjop.12271. Epub 10 Feb 2016. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26861662>

Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CARS) (2013). Informe sobre radiofrecuencias y Salud 2011-2012. Editorial Complutense, Marzo 2013. Disponible en: [http://ccars.org.es/attachments/article/17/Informe\\_CCARS\\_2011-2012\\_0.pdf](http://ccars.org.es/attachments/article/17/Informe_CCARS_2011-2012_0.pdf)

Hagström M, Auranen J y Ekman R (2013). Electromagnetic hypersensitive Finns: Symptoms, perceived sources and treatments, a questionnaire study. *Pathophysiology*,20 (2), 117-122. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/22047>

Gomez-Perretta C, Navarro EA, Segura J y Portoles M (2013). Subjective symptoms related to GSM radiation from mobile phone base stations: a cross-sectional study. *BMJ Open*,3(12), e003836. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/24069>

Shahbazi-Gahrouei D, Karbalae M, Moradi HA y Baradaran-Ghahfarokhi M (2014). Health effects of living near mobile phone base transceiver station (BTS) antennae: a report from Isfahan, Iran. *Electromagn Biol Med*, 33(3), 206-210. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/22876>

Islam SMS (2014). Awareness and Self-Reported Health Hazards of Electromagnetic Waves from Mobile Phone Towers in Dhaka, Bangladesh: A Pilot Study. *Adv Public Health* 2014 (952832). Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/29419>.

Suleiman A, Gee TT, Krishnapillai AD, Khalil AM, Hamid MWA y Mustapa M (2014). Electromagnetic Radiation Health Effects in Exposed and Non-Exposed Residents in Penang. *GEP*, 2, 77-83. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/25434>

Singh K, Nagaraj A, Yousuf A, Ganta S, Pareek S y Vishnani P (2016). Effect of electromagnetic radiations from mobile phone base stations on general health and salivary function. *J Int Soc Prev Community Dent*, 6(1), 54-59. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/29085>

Silva DF, Barros WR, Almeida MD y Rego MA (2015). Exposure to non-ionizing electromagnetic radiation from mobile telephony and the association with psychiatric symptoms. *Cad Saude Publica*, 31(10), 2110-2126. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/28559>

Redmayne M, Smith E y Abramson MJ (2013). The relationship between adolescents' wellbeing and their wireless phone use: a cross-sectional study. *Environmental Health*, 12(1), 90.

Szykowska A, Gadzicka E, Szymczak W y Bortkiewicz A (2014). The risk of subjective symptoms in mobile phone users in Poland - An epidemiological study. *Int J Occup Med Environ Health*, 27(2), 293-303. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/24573>

Stalin P, Abraham SB, Kanimozhy K, Prasad RV, Singh Z y Purty AJ (2016). Mobile Phone Usage and its Health Effects Among Adults in a Semi-Urban Area of Southern India. *J Clin Diagn Res*, 10(1), LC14-LC16. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/28888>

Kucer N y Pamukcu T (2014). Self-reported symptoms associated with exposure to electromagnetic fields: a questionnaire study. *Electromagn Biol Med*, 33(1), 15-17. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/22662>

Van Dongen D, Smid T y Timmermans DR (2014). Symptom attribution and risk perception in individuals with idiopathic environmental intolerance to electromagnetic fields and in the general population. *Perspect Public Health*, 134(3), 160-168. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/23298>

Saxena Y, Shrivastava A y Priyanka S (2014). Mobile usage and sleep patterns among medical students. *Indian J Physiol Pharmacol*, 58(1), 100-103. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/26285>

Chiu CT, Chang YH, Chen CC, Ko MC y Li CY (2015). Mobile phone use and health symptoms in children. *J Formos Med Assoc*, 114(7), 598-604. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/25628>

Zheng F, Gao P, He M, Li M, Wang C, Zeng Q, Zhou Z, Yu Z y Zhang L (2014). Association between mobile phone use and inattention in 7102 Chinese adolescents: a population-based cross-sectional study. *BMC Public Health* 14: 1022-1-1022-7. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/25862>

Zheng F, Gao P, He M, Li M, Tan J, Chen D, Zhou Z, Yu Z y Zhang L (2015). Association between mobile phone use and self-reported well-being in children: a questionnaire-based cross-sectional study in Chongqing, China. *BMJ Open* 5 (5): e007302. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/27131>



Chahal H, Fung C, Kuhle S y Veugelers PJ (2013). Availability and night-time use of electronic entertainment and communication devices are associated with short sleep duration and obesity among Canadian children. *Pediatr Obes*, 8(1), 42-51

Minagawa Y y Saito Y (2014). An analysis of the impact of cell phone use on depressive symptoms among Japanese elders. *Gerontology*, 60(6), 539-47.

Baliatsas C, van Kamp I, Hooiveld M, Yzermans J y Lebet E (2014). Comparing non-specific physical symptoms in environmentally sensitive patients: prevalence, duration, functional status and illness behavior. *J Psychosom Res*, 76(5), 405-41. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/24497>

Baliatsas C, Bolte J, Yzermans J, Kelfkens G, Hooiveld M, Lebet E y van Kamp I (2015). Actual and perceived exposure to electromagnetic fields and non-specific physical symptoms: an epidemiological study based on self-reported data and electronic medical records. *Int J Hyg Environ Health*, 218(3), 331-344. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/26556>

Baliatsas C, van Kamp I, Bolte J, Kelfkens G, van Dijk C, Spreeuwenberg P, Hooiveld M, Lebet E y Yzermans J (2016). Clinically defined non-specific symptoms in the vicinity of mobile phone base stations: A retrospective before-after study. *Sci Total Environ* 565, 714-720. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/29533>

Kjellqvist A, Palmquist E y Nordin S (2016). Psychological symptoms and health-related quality of life in idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields. *J Psychosom Res* May, 84, 8-12. doi: 10.1016/j.jpsychores.2016.03.006. Recuperado el 10 de Marzo de 2016, de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27095153>

Rubin GJ, Das Munshi J y Wessely S. (2006). A Systematic Review of Treatments for Electromagnetic Hypersensitivity. Mobile Phones Research Unit, Division of Psychological Medicine, Institute of Psychiatry and Guy's, King's and St Thomas' School of Medicine, King's College London, London, UK. *Psychother Psychosom*, 75, 12-18.

Gajšek P, Ravazzani P, Wiart J, Grellier J, Samaras T y Thuróczy G (2015). Electromagnetic field exposure assessment in Europe radiofrequency fields (10 MHz-6 GHz). *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 25, 37-44.

Baliatsas C, Van Kamp I, Kelfkens G, Schipper M, Bolte J, Yzermans J y Lebet E (2011). Non-specific physical symptoms in relation to actual and perceived proximity to mobile phone base stations and powerlines. *BMC Public Health*, 11, 421.

Guxens M, van Eijsden M, Vermeulen R, Loomans E, Vrijkotte TG, Komhout H, van Strien RT y Huss A (2013). Maternal cell phone and cordless phone use during pregnancy and behaviour problems in 5-year-old children. *J Epidemiol Community Health* 67 (5), 432-438. Disponible en:

<https://www.emf-portal.org/en/article/21748><https://www.emf-portal.org/en/article/21748>

Byun YH, Ha M, Kwon HJ, Hong YC, Leem JH, Sakong J, Kim SY, Lee CG, Kang D, Choi HD y Kim N (2013). Mobile phone use, blood lead levels, and attention deficit hyperactivity symptoms in children: a longitudinal study. *PLoS One* 8 (3): e59742

Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/22037>

Sudan M, Kheifets L, Arah OA y Olsen J (2013). Cell phone exposures and hearing loss in children in the Danish National Birth Cohort. *Paediatr Perinat Epidemiol*, 27(3), 247-257. Disponible en: <https://www.emf-portal.org/en/article/22131>

Huss A, van Eijsden M, Guxens M, Beekhuizen J, van Strien R, Kromhout H, Vrijkotte T y Vermeulen R (2015). Environmental Radiofrequency Electromagnetic Fields Exposure at Home, Mobile and Cordless Phone Use, and Sleep Problems in 7-Year-Old Children. *PLoS One* 10 (10), e0139869-1-e0139869-14. Disponible en:

<https://www.emf-portal.org/en/article/28143>

OMS (2013). ¿Cuáles son los riesgos sanitarios asociados a los teléfonos móviles y sus estaciones base? Preguntas y respuestas en línea. 2013. Disponible en:

<http://www.who.int/features/qa/30/es/>

OMS (2014). Nota descriptiva N°193 Campos electromagnéticos y salud pública: teléfonos móviles. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/es/>

Anses Radiofréquences et santé (2013). Mise à jour de l'expertise. Avis de l'Anses Rapport d'expertise collective. Disponible en:

<https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2011sa0150Ra.pdf>

Rubin JG, Nieto-Hernandez R y Wessely S (2010). Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (formerly "Electromagnetic Hypersensitivity"). An updated systematic review of provocation studies. *Bioelectromagnetics*, 31(1), 1-11

SSM Scientific Council on Electromagnetic Fields (2016) 2016:15. Recent research on EMF and Health Risk. Eleventh report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. Disponible en:

[https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Stralskydd/2016/SSM\\_Rapport\\_2016\\_15\\_webb\\_1.pdf](https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Stralskydd/2016/SSM_Rapport_2016_15_webb_1.pdf)

Witthöft M y Rubin GJ (2013). Are media warnings about the adverse health effects of modern life self-fulfilling? An experimental study on idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (IEI-EMF). *J Psychosom Res.* 2013 Mar, 74(3). doi: 10.1016/j.jpsychores.2012.12.002. Recuperado el 23 de Diciembre de 2012 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23438710>

Huiberts A, Hjørnevik M, Mykletun A y Skogen JC (2013). Electromagnetic hypersensitivity (EHS) in the media - a qualitative content analysis of Norwegian newspapers. *JRSM Short Rep.* 4 Oct 2013, 4(11), 2042533313487332. Doi: 10.1177/2042533313487332. eCollection 2013. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24319582>

Eldridge-Thomas B y Rubin GJ (2013). Idiopathic Environmental Intolerance Attributed to Electromagnetic Fields: A Content Analysis of British Newspaper. Reports. *PLoS ONE* 8(6), e65713. doi:10.1371/journal.pone.0065713

Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS) (2010). Sobre la efectividad de los aparatos y productos anti campos electromagnéticos. Disponible en: [http://ccars.org.es/attachments/article/44/Comentario\\_CCARS\\_Aparatos\\_Anti\\_CEM.pdf](http://ccars.org.es/attachments/article/44/Comentario_CCARS_Aparatos_Anti_CEM.pdf)

### **6.3 Efectos sobre la reproducción**

Baste V, Oftedal G, Mollerlokken OJ, Mild KH y Moen BE (2015). Prospective Study of Pregnancy Outcomes after Parental Cell Phone Exposure, The Norwegian Mother and Child Cohort Study, *Epidemiology*, 26 (4), 613-621.

Mortazavi SMJ, Shirazi KR y Mortazavi G (2013). The study of the effects of ionizing and non-ionizing radiations on birth weight of newborns to exposed mothers, *J Nat Sci Biol Med*, 4 (1), 213-217.

Liu K, Li Y, Zhang G, Liu J, Cao J, Ao L y ZhangS (2014). Association between mobile phone and semen quality: a systematic review and meta-analysis, *Andrology* 2 (4), 491-501.

Houston B, Nixon B, King BV, De Iuliis G y Aitken RJ (2016). The effects of radiofrequency electromagnetic radiation on sperm function, *Reproduction* 2016 Sep 6.

## **7. Resoluciones judiciales sobre riesgos derivados de la exposición a CEM**

### **7.1 Marco normativo**

Directiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 26 de junio de 2013. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2013/179/L00001-00021.pdf>

Directiva 2004/108/CE del Parlamento europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004. Recuperado el 10 de junio de 2016 de:

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:390:0024:0037:es:PDF>

Directiva 2014/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2014/096/L00357-00374.pdf>

Ley 9/2014, Ley General de Telecomunicaciones de 9 de mayo de 2014. Disponible en: [https://boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-4950](https://boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-4950)

Real Decreto 337/2014, de 9 de Mayo de 2014. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2014-6084>

Real Decreto 805/2014, de 19 de septiembre de 2014. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2014-9667>

Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo de 2016. Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-4442](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-4442)

Reglamento 765/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de julio de 2008. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2008-81669>

Real Decreto 187/2016, de 6 de mayo de 2016. Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-4443](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-4443)

Real Decreto 330/2008, de 29 de febrero de 2008. Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2008-4730](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2008-4730)

Real Decreto 188/2016, también de 6 de mayo de 2016. Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-4444](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-4444)

Real Decreto 299/2016 de 22 de julio de 2016. Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-7303](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-7303)

## **7.2 Jurisprudencia**

Sentencia del Tribunal Constitucional de 21 de enero de 2016. Disponible en: <http://www.tribunalconstitucional.es/es/jurisprudencia/Paginas/Sentencia.aspx?cod=21458>

Sentencia del Tribunal Supremo de 11 de febrero de 2013. Disponible en: [http://www.actualidadjuridicaambiental.com/wp-content/uploads/2013/04/STS\\_581-2013.pdf](http://www.actualidadjuridicaambiental.com/wp-content/uploads/2013/04/STS_581-2013.pdf)

Sentencia del Tribunal Supremo de 28 de junio de 2016. Disponible en:

[http://www.avaate.org/IMG/pdf/SENTENCIA\\_SUPREMO\\_AVAATE\\_CONTRA\\_AYUNTAMIENTO\\_VALLADOLID.pdf](http://www.avaate.org/IMG/pdf/SENTENCIA_SUPREMO_AVAATE_CONTRA_AYUNTAMIENTO_VALLADOLID.pdf)

Sentencia del Tribunal Superior de Justicia de Madrid de 6 de julio de 2016. Disponible

en: <http://magonia.com/files/sentencia-tsjm-electrosensibilidad.pdf>

## **8. Proyectos de investigación**

Freudenstein F, Wiedemann PM y Varsier N (2015). Exposure knowledge and risk perception of RF EMF. *Front Public Health*. 2014, 2: 289. Published online 2015 Jan 13. doi: 10.3389/fpubh.2014.00289 . Disponible en:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4292220/>

Sudan M, Olsen J, Arah O, Obel C y Kheifets L (2016). Prospective cohort analysis of cellphone use and emotional and behavioural difficulties in children. *J Epidemiol Community Health* doi:10.1136/jech-2016-207419. Disponible en:

<http://jech.bmj.com/content/early/2016/05/23/jech-2016-207419.abstract>

Schüz J, Elliott P, Auvinen A, Kromhout H, Poulsen AH, Johansen C, Olsen JH, Hillert L, Feychting M, Fremling K, Toledano M, Heinävaara S, Slottje P, Vermeulen R y Ahlbom A (2011). An international prospective cohort study of mobile phone users and health (Cosmos): Design considerations and enrolment. *Cancer Epidemiology*. Volume 35, Issue 1, February 2011, Pages 37–43. Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/18777821/35/1>

Toledano MB, Smith RB, Chang I, Douglass M y Elliott P (2015). Cohort profile: UK COSMOS—a UK cohort for study of environment and health. *Int. J. Epidemiol*doi:

10.1093/ije/dyv203 First published online: November 3, 2015



## 12. GLOSARIO, SÍMBOLOS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

### 12.1. Glosario y símbolos

#### **Ablación**

*El término ablación, en medicina, corresponde a la destrucción completa o parcial de un órgano o tejido mediante una intervención quirúrgica o por medios físicos o compuestos químicos. En el seno de esta definición se contemplan los medios físicos, ente los cuales se encuentra el uso de la RF.*

#### **Antígeno**

*Es una sustancia que desencadena la producción de anticuerpos y puede causar una respuesta inmunitaria. Son todas las sustancias que son reconocidas por el que se conoce como sistema inmunitario adaptativo.*

#### **Apoptosis**

*Proceso que implica muerte programada y que acontece en numerosos tejidos de organismos multicelulares. Cursa con característicos cambios morfológicos y bioquímicos en las células, distintos de los que acontecen con la necrosis. La apoptosis está asociada, en muchos tejidos, con el control homeostático de los mismos.*

#### **Biocompatibilidad**

*La capacidad de un material/dispositivo para interactuar con los tejidos vivos, sin causar daño biológicos como reacciones alérgicas e inmunitarias.*

## Bluetooth

*Estándar de transmisión inalámbrica de información para cortas distancias que permite la transmisión de voz y datos entre distintos dispositivos mediante un enlace que trabaja en la banda de radiofrecuencias de 2,4 GHz.*

## **Bandas ICM (Bandas Industriales Científicas y Médicas o ISM (Industrial Scientific and Medical))**

*Bandas no licenciadas para usos industriales, científicos y médicos*

## Calvarium

*Es la parte superior del cráneo, está compuesto por los huesos: frontal, occipital, los parietales, los temporales, el esfenoides y el etmoides.*

## **Calidad metodológica (sinónimos: validez, validez interna)**

*El grado en el que el diseño y desarrollo de un ensayo clínico han evitado probables errores sistemáticos (sesgos). La variación en la calidad de los estudios puede explicar la variación de los resultados de los ensayos clínicos incluidos en una revisión sistemática. Los ensayos clínicos diseñados de manera más rigurosa (con mejor calidad) probablemente proporcionen resultados que están más cerca de la “verdad”.*

## Campo eléctrico (E)

*La intensidad de campo eléctrico es una magnitud vectorial (E) que corresponde a la fuerza ejercida sobre una partícula cargada independientemente de su movimiento en el espacio. Se expresa en voltios por metro (V/m).*

## Campo electromagnético (CEM)

*Un campo electromagnético es una combinación de un campo eléctrico y un campo magnético. Los CEM pueden ser estáticos, es decir, su magnitud no varía con el tiempo, o variables en el tiempo. Un campo electromagnético variable en el tiempo se puede visualizar como una onda que se propaga a la velocidad de la luz, y que lleva asociada un campo eléctrico y un campo magnético variables en el tiempo. Por ello, al hablar de CEM variables en el tiempo también se habla de ondas electromagnéticas o de radiación electromagnética. La onda transporta energía de un punto a otro del espacio y está caracterizada por su frecuencia y su longitud de onda. La frecuencia determina la energía que transporta la onda electromagnética. A mayor frecuencia más cantidad de energía transporta la onda. Dependiendo de la frecuencia, la radiación electromagnética se clasifica en ionizante y no ionizante.*

## Campo magnético (H)

*La intensidad de campo magnético es una magnitud vectorial (H) que, junto con la inducción magnética (B), determina el campo magnético en cualquier punto del espacio. Se expresa en amperios por metro (A/m).*



**Carcinogénica**

*Substancia o agente que puede producir cáncer.*

**Carcinogénesis**

*Proceso por el cual se produce el cáncer.*

**Carcinoma mucoepidermoide**

*El carcinoma mucoepidermoide es un tumor maligno poco frecuente, aunque la forma más común de cáncer de una glándula salival.*

**Caveolina-1**

*Tipo de proteína, integrante de las membranas plasmáticas y en ellas de las caveolas.*

**Cegamiento (sim. enmascaramiento)**

*La conservación, en secreto, ante los participantes en el estudio o los investigadores de la asignación a cada grupo (p.ej. al de tratamiento o control). El cegamiento se usa como protección frente a la posibilidad de que el conocimiento de la asignación pueda afectar la respuesta del paciente al tratamiento, el comportamiento de los profesionales sanitarios (sesgo de realización) o la valoración de los resultados (sesgo de detección). El cegamiento no siempre es posible (p.ej. cuando se compara un tratamiento quirúrgico frente a uno farmacológico). La importancia del cegamiento depende de cuán objetiva es la medida del resultado. El cegamiento es más importante para medidas de resultado menos objetivas, tales como las de dolor o calidad de vida. Ver también simple ciego, doble ciego y triple ciego.*

**Célula osteoprogenitora**

*Células alargadas de citoplasma poco prominente, procedentes de células mesenquimatosas que forman una población de células troncales que se diferencian para dar lugar a osteoblastos.*

**Célula endotelial**

*Células que forman el endotelio.*

**Célula eucariota**

*Las células eucariotas son las que tienen núcleo definido gracias a una membrana nuclear.*

**Citocina o citoquina**

*Proteína de bajo peso molecular que interviene de modo decisivo en los procesos de intercomunicación celular; las citocinas juegan un papel fundamental en el sistema inmune.*

**Citotóxico**

*Que posee la capacidad de destruir células.*

**Consistencia**

*Se refiere al grado en que los resultados obtenidos por un procedimiento de medida pueden ser reproducidos. La falta de consistencia puede surgir de la divergencia entre los observadores o los instrumentos de medida, o bien por la inestabilidad de la variable que se mide.*

**Correlaciones fenotípicas**

*Las relaciones entre caracteres físicos o externos que dan cuenta de la eficiencia de los procesos de selección.*

## Correlaciones genéticas

*Las relaciones entre caracteres genéticos que se utilizan para valorar la eficiencia de la selección.*

### Creatina quinasa

*Es una enzima expresada por varios tejidos y células.*

### Criptocromos

*Son una clase de fotorreceptores de luz azul de plantas y animales. Están involucrados en el ritmo circadiano de plantas y animales, y en la detección de CEM en algunas especies.*

### Densidad de potencia (S)

*Potencia por unidad de área. 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 (—).*

### Doble ciego

*Ni los participantes en el ensayo clínico ni los investigadores (los que valoran el resultado) son conscientes de qué intervención ha sido administrada a los participantes. El propósito de cegar a los participantes (tanto los receptores como los proveedores de la asistencia) es prevenir el sesgo de realización (performance bias). El objetivo de cegar a los investigadores (los evaluadores del resultado, que pueden ser los proveedores de la asistencia) es prevenir el sesgo de detección. Ver también cegamiento, simple ciego, triple ciego y ocultación de la asignación.*

## Drosophila melanogaster

*Drosophila melanogaster también llamada mosca del vinagre o mosca de la fruta, es una especie de díptero braquícero de la familia Drosophilidae.*

### Endotelio

*Tejido formado por células aplanadas y dispuestas en una sola capa, que reviste interiormente las paredes de algunas cavidades orgánicas que no comunican con el exterior; como en la pleura y en los vasos sanguíneos.*

### Ensayo clínico controlado

*Se refiere a un estudio que compara uno o más grupos de intervención con uno o más grupos de comparación (de control). Aunque no todos los estudios controlados son de distribución aleatoria, todos los ensayos clínicos son controlados.*

### Estudio caso –control

*Un estudio caso-control examina un grupo de personas que presentan el evento (cáncer u otra patología), denominados ‘casos’, y los compara con otro grupo de personas, seleccionado por el investigador, que no presentan dicho evento, denominados ‘controles’. Para realizar el análisis es necesario determinar (retrospectivamente) cuántas personas de cada grupo y en qué medida estuvieron expuestas al factor de riesgo analizado.*

### Estudio clínico

*Tipo de estudio en el que los sujetos son sometidos al factor de riesgo de modo controlado por el investigador.*

### **Estudio de cohortes**

*En un estudio de cohortes, se define una muestra de estudio ('cohorte') compuesta por un grupo de individuos sanos cuya exposición o no al factor de riesgo durante el estudio es conocida, y se la sigue prospectivamente en el tiempo para determinar en cuántos casos ocurre el evento adverso.*

### **Estudio in vitro**

*Estudio realizado fuera de los organismos, ex vivo, en condiciones que pretenden mimetizar aquellas fisiológicas que suceden in vivo.*

### **Estudio in vivo**

*Estudio realizado directamente en animales, incluido el hombre, vivos o sacrificados para estudiar directamente los procesos que ocurren.*

### **Eurobarómetro**

*Encuestas llevadas a cabo de forma periódica por la Comisión Europea desde 1973 para conocer la opinión pública de cada uno de los Estados Miembros. Las encuestas del Eurobarómetro analizan temas de interés para los ciudadanos europeos como, por ejemplo, la situación social y económica, salud, cultura, tecnología, medio ambiente, entre otros. etc.*

[http://ec.europa.eu/public\\_opinion/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/public_opinion/index_en.htm)

### **Fagocito**

*Célula que protege al organismo mediante ingestión de partícula extrañas dañinas, bacterias, células muertas o en proceso de muerte.*

### **Fantomos**

*Objeto físico que simula un objeto biológico real. Se utiliza para determinar la energía absorbida de la radiación electromagnética a la que está expuesto. Sus características eléctricas son iguales a las del modelo biológico que representa.*

### **Fibroblasto**

*El fibroblasto es un tipo de célula residente del tejido conectivo.*

### **Fosforilación**

*Es la adición de un grupo de fosfato inorgánico a cualquier otra molécula.*

### **Frecuencia (f)**

*Número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico. En el caso de las ondas electromagnéticas, la frecuencia está relacionada con la energía que transporta la onda,  $E = hf$ , donde E es la energía y h la constante de Planck. Los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF) tienen una frecuencia comprendida entre los 30 kHz y 300 GHz.*

### **Heterogeneidad**

*Se refiere a la variabilidad o a las diferencias en las estimaciones de los efectos entre los estudios.*

### **Hipersensibilidad Electromagnética (HE)**

*Conjunto de síntomas inespecíficos (dolor de cabeza, mareos, desorientación, fatiga, insomnio, entre otros) que algunas personas afirman sentir y que atribuyen a las presencia de CEM.*

## Histología

*Histología es la ciencia que estudia todo lo relacionado con los tejidos orgánicos.*

### Glándula parótida

*Una de las glándulas salivares.*

### Gliomas

*Tipo de tumor que se produce en el cerebro o en la médula espinal. Se llama glioma, ya que surge a partir de células gliales. Su ubicación más frecuente es el cerebro.*

### Genotóxicos

*Agentes físicos, químicos o biológicos que directa o indirectamente inducen alteraciones en el ADN de las células.*

### Interleucina-2

*La IL-2 (interleucina-2) es una proteína componente de las citocinas del sistema inmune.*

### Leucemia

*Grupo de enfermedades malignas de la médula ósea (cáncer hematológico) que provoca un aumento incontrolado de leucocitos o glóbulos blancos.*

### Linfocito

*Tipo de leucocito (glóbulo blanco). Son células circulantes del sistema inmunitario que reaccionan frente a materiales extraños y son de alta jerarquía en el sistema inmunitario, principalmente encargadas de la inmunidad específica o adquirida.*

## Macrófagos

*Células del sistema inmunitario que proceden de los monocitos. Los macrófagos son fagocitos.*

### Mecanismo fisiopatológico

*Vía o método que explica cómo se produce un daño en las funciones celulares.*

### Melanoma Ocular

*Es un tipo de cáncer que se desarrolla en las células que producen pigmento, la sustancia que da color a la piel, el cabello y los ojos.*

### Meningiomas

*Tumor benigno de las células aracnoideas de las meninges del cerebro.*

### Metanálisis

*El uso de técnicas estadísticas en una revisión sistemática para integrar los resultados de los estudios incluidos. También se utiliza para referirse a las revisiones sistemáticas que utilizan metanálisis.*

### Microfluídica

*La microfluídica estudia el comportamiento de fluidos en micro escala, así como la ingeniería de diseño, simulación, y la fabricación de los dispositivos fluídicos para el transporte, distribución y manejo de fluidos en el orden del microlitros o más pequeños volúmenes.*

**Mitógenos**

*Son factores que actúan en el ciclo celular estimulando la división celular.*

**Monocitos**

*Tipo de glóbulos blancos. Los monocitos son fagocitos.*

**Murino**

*Los murinos (Murinae) son una subfamilia de roedores miomorfos perteneciente a la familia Muridae, que incluye a los comúnmente llamados ratones y ratas del viejo mundo.*

**Necrosis**

*Es un tipo de daño celular que produce a la muerte prematura, no programada, de las células de un tejido vivo. Es la muerte patológica de un conjunto de células provocada por un agente nocivo que causa una lesión tan grave que no se puede reparar o curar.*

**Neurinoma del acústico**

*Es un tumor, benigno, de crecimiento lento del nervio que conecta el oído al cerebro.*

**Niveles de referencia**

*Valores de magnitudes físicas de campo eléctrico, magnético y densidad de potencia que se utilizan como guía general para limitar la exposición de los trabajadores y del público en general. El cumplimiento de los niveles de referencia asegura el cumplimiento de las restricciones básicas en la exposición.*

**Ondas electromagnéticas, véase CEM (Campos electromagnéticos)****OR (odds ratio, en inglés)**

*Es un tipo de razón en la que el numerador es una probabilidad de que ocurra un suceso y el denominador la probabilidad de que no ocurra. La OR se puede definir para la incidencia y la prevalencia de casos. La razón entre dos odds es una medida de asociación utilizada en epidemiología.*

**Parasomnia**

*Es un trastorno de la conducta durante el sueño asociado con episodios breves o parciales de despertar, sin que se produzca una interrupción importante del sueño ni una alteración del nivel de vigilia diurno.*

**Periodo de latencia**

*Intervalo de tiempo que transcurre desde que se inicia el tumor a nivel celular hasta que presenta síntomas detectables.*

**Proteínas morfogenéticas**

*Son factores de crecimiento que pertenecen a la familia de los factores de crecimiento transformantes TGF-beta (TGF- $\beta$ ), una familia de proteínas con la capacidad de inducir la formación de hueso nuevo, cartílago y tejido conjuntivo.*

### **Proteínas de choque térmico (HSP, Heat Shock Proteins, en inglés)**

*Las proteínas de choque térmico son un conjunto de proteínas que producen las células tanto de organismos unicelulares como pluricelulares, cuando se encuentran en un medio ambiente que le provoca cualquier tipo de estrés.*

### **Radiación electromagnética, véase CEM (Campos electromagnéticos)**

#### **Radiación no ionizante**

*Campos electromagnéticos sin la energía suficiente para romper enlaces en moléculas o arrancar electrones de la materia sobre la que incide. El rango de frecuencias de este tipo de radiaciones se extiende aproximadamente desde baja frecuencia al ultravioleta.*

#### **Ratones BALB**

*Son ratones de laboratorio inyectados con cepas BALB/c, cepas que generan tumores, y que son útiles en la investigación en diferentes tipos de cáncer e inmunología.*

#### **Resonancia Magnética (RM)**

*La resonancia magnética es una herramienta de diagnóstico cuyo uso ha aumentado significativamente en las 3 últimas décadas, especialmente en el ámbito de la asistencia sanitaria y la investigación biomédica. Para la obtención de las imágenes la RM utiliza un campo magnético estático, gradientes de campo magnético y radiofrecuencia.*

### **Restricción básica**

*Son las restricciones en los valores de campo magnético, densidad de corriente, densidad de potencia y SAR, basadas en datos científicos actuales que proporcionan un adecuado nivel de protección a la exposición de campos electromagnéticos variables con el tiempo, es decir basadas directamente en los efectos sobre la salud conocidos y en consideraciones biológicas.*

#### **Revisión sistemática**

*Una revisión de una cuestión formulada claramente, y que utiliza métodos sistemáticos y explícitos para identificar, seleccionar y evaluar críticamente la investigación relevante, así como para obtener y analizar los datos de los estudios que son incluidos en la revisión. Se pueden utilizar o no métodos estadísticos (metanálisis) para analizar y resumir los resultados de los estudios incluidos. Ver también revisión Cochrane.*

#### **Riesgo relativo (RR)**

*Es la incidencia de la enfermedad en los expuestos dividida por la incidencia en los no expuestos al factor de riesgo que se investiga. Es una medida de la fuerza de la asociación que nos permite juzgar si una asociación entre un agente y un efecto puede ser causal. Es la forma más utilizada para presentar los resultados de los estudios epidemiológicos (etiología). Carece de unidades, su límite inferior es el 0 y el superior infinito. Un  $RR=1$  significa que ambas incidencias son iguales y que el factor de riesgo estudiados no tiene ningún efecto sobre la enfermedad estudiada. Valores superiores a 1 indican que el factor de riesgo*

*aumenta el riesgo de presentar la enfermedad. Una asociación es débil cuando el RR es menor a 1.5 y otros autores Taubes (1995) consideran que los estudios con RR inferiores a 3 no son relevantes y deberían ser ignorados.*

### **Ritmos circadianos**

*Los ritmos circadianos constituyen el reloj biológico humano que regula las funciones fisiológicas del organismo para que sigan un ciclo regular que se repite cada 24 horas.*

### **Sesgo**

*Toda desviación de la verdad que se produce en los resultados o en la inferencia de estos, o los procesos que producen tal desviación.*

### **Síntomas prodrómicos**

*Síntomas que pueden ser la primera indicación del comienzo de una enfermedad antes de que aparezcan los síntomas específicos.*

### **Sistemas microfluídicos**

*Sistemas/dispositivos en los que se utilizan cantidades muy pequeñas de fluido, del orden del microlitro o inferior.*

### **Tasa de absorción específica de energía (SAR)**

*Es la potencia absorbida por unidad de masa de tejido corporal, cuyo promedio se calcula en la totalidad del cuerpo o en partes de éste, y se expresa en vatios por kilogramo (W/kg). El SAR de cuerpo entero es una medida ampliamente aceptada para relacionar los efectos térmicos adversos con la exposición a las emisiones radioeléctricas.*

### **Validez (sinónimo: validez interna)**

*Validez es el grado en que un resultado (o una medida o un estudio) se acerca probablemente a la verdad y está libre de sesgos (errores sistemáticos). La validez tiene algunos otros significados. Habitualmente va acompañada por una palabra o una frase que la califica; por ejemplo, en el contexto de la realización de una medición, se utilizan expresiones tales como validez de construcción, validez de contenido y validez de criterio. La expresión validez interna se utiliza a veces para distinguir este tipo de validez (el grado en el que los efectos observados son verdaderos para las personas del estudio) de la validez externa o generabilidad (el grado en el que los efectos observados en un estudio reflejan realmente lo que se espera encontrar en una población diana más amplia que las personas incluidas en el estudio).*

### **Valores límite de exposición**

*Los límites de la exposición a campos electromagnéticos basados directamente en los efectos sobre la salud conocidos y en consideraciones biológicas. El cumplimiento de estos límites garantizará que los trabajadores expuestos a campos electromagnéticos estén protegidos contra todo efecto nocivo conocido para la salud.*

### **Valores de acción o valores que dan lugar a una acción**

*El nivel de los parámetros directamente medibles, expresados en términos de intensidad de campo eléctrico (E), intensidad de campo magnético (H), densidad de flujo magnético o inducción magnética (B) y densidad de potencia (S),*

ante el cual deben tomarse una o más de las medidas especificadas en la Directiva 2004/40/CE [UE2004]. El respeto de estos valores garantizará la conformidad con los correspondientes valores límite de exposición.

### **WhatsApp**

Software multiplataforma de mensajería instantánea para teléfonos inteligentes.

### **Wi-Fi**

Es un término registrado por Wi-Fi Alliance. No es un término técnico. Se emplea genéricamente para indicar tecnologías de conexión inalámbrica en un rango estrecho de frecuencias.

## **12.2. Siglas y Acrónimos**

### **ADN**

Ácido desoxirribonucleico

### **AFSSA (véase ANSES)**

Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments

Agencia Francesa de Seguridad Sanitaria de los Alimentaria

### **AFSSET (véase ANSES)**

Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail

Agencia Francesa de Seguridad Sanitaria del Medio Ambiente y del Trabajo.

### **ANSES**

Agence Nationale de la Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail, France

### **Zigbee**

Es el nombre comercial para dispositivos que cumplen con el estándar IEEE 802.15, que se define tanto en la banda no licenciadas de 915 MHz y 2450 MHz. Inicialmente diseñado para proporcionar interfaces de baja velocidad, baja potencia/consumo y bajo coste para transductores en entornos industriales.

Agencia Nacional de la Seguridad Sanitaria de la Alimentación, del Medio Ambiente y del Trabajo (Francia)

Esta agencia ha surgido como consecuencia de la fusión de las agencias francesas, **AFSSET** y **AFSSA**. Ha empezado a operar el 1 de Julio de 2010. [www.anses.fr](http://www.anses.fr)

### **AP**

Access Point

Punto de Acceso de una red inalámbrica

### **ARPANSA**

Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency

Agencia de Protección Nuclear y Protección frente a la radiación australiana



**ATM**

*Antena de Telefonía Móvil*

**CCARS**

*Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud. [ccars.org.es](http://ccars.org.es)*

**CEM**

*Campo electromagnético*

**CENELEC**

*Comité Européen de Normalisation Electrotechnique, European Committee for Electrotechnical Standardization*

*Comité Europeo de Normalización Electrotécnica. [www.cenelec.eu](http://www.cenelec.eu)*

**CIE**

*Clasificación Internacional de Enfermedades*

**COMAR**

*Committee on Man and Radiation (IEEE) <http://ewh.ieee.org/soc/embs/comar/>*

**CNAF**

*Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencia.*

**DHS**

*U.S. Department of Homeland Security*

*Departamento de Seguridad Nacional EE.UU. <https://www.dhs.gov/>*

**EMBS**

*Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE) <http://www.embs.org/>*

**EMC**

*Electromagnetic Compatibility*

*Compatibilidad electromagnética*

**FDA**

*U.S. Food and Drug Administration.*

*Administración de Alimentación y Medicamentos de EE.UU.*

*<http://www.fda.gov/>*

**FOPH**

*Federal Office of Public Health, Switzerland*

*Oficina Federal de Salud Pública, Suiza*

*<http://www.bag.admin.ch>*

**GSM (o 2G)**

*Groupe Special Mobile*

*Sistema Global para las Comunicaciones Móviles.*

**HC**

*Health Canada Departamento de Salud de Canadá [www.hc-sc.gc.ca](http://www.hc-sc.gc.ca)*

**HCN**

*The Health Council of the Netherlands*

*Consejo de Salud de Holanda*

*[www.gezondheidsraad.nl](http://www.gezondheidsraad.nl)*

**HE**

*Hipersensibilidad Electromagnética*

*Electromagnetic Hipersensitivity (EH)*

**HPA**

*Health Protection Agency, U.K.*

*Agencia de Protección de la Salud, Reino Unido [www.hpa.org.uk](http://www.hpa.org.uk)*

**IARC**

*International Agency for Research on Cancer*

*Agencia Internacional de Investigación en Cáncer.*

*Es parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS) [www.iarc.fr](http://www.iarc.fr)*

**ICNIRP**

*International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection*

*Comisión Internacional para la Protección frente a las Radiaciones no Ionizantes*  
<http://www.icnirp.de>

**IEC**

*International Electrotechnical Commission*  
*Comisión Internacional en Electrotécnica*  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)

**IEEE**

*Institute of Electrical and Electronics Engineers*

*Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos. [www.ieee.org](http://www.ieee.org)*

**IEM**

*Interferencia Electromagnética o PEM*

**IoT**

*Internet Of Things*

*Internet de las Cosas / Objetos*

**MINETAD**

*Ministerio de Industria, Energía y Agenda Digital [www.minetur.gob.es](http://www.minetur.gob.es)*

**MSSI**

*Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad <https://www.msssi.gob.es/>*

**MPC**

*Marcapasos Cardiacos*

**NA**

*Neurinoma del acústico*

**NIPH**

*The Norwegian Institute of Public Health, Norway*

*Instituto Noruego de Salud Pública, Noruega*  
[www.fhi.no](http://www.fhi.no)

**NRPA**

*Norwegian Radiation Protection Authority*

*Autoridad Noruega de Protección frente a la Radiación*  
[www.nrpa.no](http://www.nrpa.no)

**OMS**

*Organización Mundial de la Salud*

*World Health Organization (WHO)*  
[www.who.int/es](http://www.who.int/es)

**PEM**

*Perturbación electromagnética*

**PRA**

*Potencia Radiada Aparente*

**PIRE**

*Potencia Isotrópica Radiada Equivalente*

**PSIA**

*Productos sanitarios implantables activos*

**RF**

*Radiofrecuencia*

**RFID**

*Radio Frequency IDentification*  
*Identificación por radiofrecuencia*

**RPA**

*Remotely Piloted Aircraft*

*Aeronave tripulada remotamente*  
*Vease tambien UAV*

**SAR**

*Specific Absorption Rate*  
*Tasa de Absorción Específica de energía.*

**SCENIHR**

*Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, European Commission*

*Comité Científico sobre los Riesgos Sanitarios Emergentes y Recientemente Identificados, Comisión Europea*  
[http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committee/emerging/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/health/scientific_committee/emerging/index_en.htm)

**SCHER**

*Scientific Committee on Health and Environmental Risks*

*Comité Científico de los Riesgos Sanitarios y Medioambientales*  
[http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committee%20s/environmental\\_risks/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/health/scientific_committee%20s/environmental_risks/index_en.htm)

**SESIAD**

*Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital*

**SSM**

*Swedish Radiation Safety Authority, Suecia*  
*Autoridad Sueca para la Seguridad frente a la Radiación*  
[www.stralsakerhetsmyndigheten.se](http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se)

**TC**

*Tumores cerebrales*

**TM**

*Telefono/ Terminal móvil*

**TSA**

*Transport Security Administration*

*Administración de seguridad en el transporte*

**TV**

*Televisión*

**UAV**

*(Unmanned Aerial Vehicle)*

*Vehículo aéreo no tripulado*  
*Vease RPA*

**UMTS (o 3G)**

*Universal Mobile Telecommunications System*

*Sistema universal de telecomunicaciones móviles*

**WHO**

*World Health Organization*

*Organización mundial de la Salud (OMS)*

**Wi-Fi**

*Wireless Fidelity*

**WiMAX**

*Worldwide Interoperability for Microwave Access*

*Interoperabilidad mundial para acceso por microondas*

**WLAN***Wireless Local Area Network**Red Inalámbrica de Área Local***WPAN***Wireless Personal Area Network**Red Inalámbrica de Área Personal*

## 13. COMPOSICIÓN CCARS

Los miembros del CCARS son expertos en sus respectivos campos de investigación (Medicina, Física, Química, Biología, Ingeniería de Telecomunicación, Derecho, etc.) y realizan una importante labor para proporcionar una información clara sobre la relación entre radiofrecuencias y salud.

El Comité está abierto a la incorporación de nuevos miembros para dotarle del mayor número de expertos en las distintas áreas relacionadas con la exposición a campos de radiofrecuencias y salud.

### **Presidente CCARS: Francisco Javier Lafuente Martínez**

---

Francisco Javier Lafuente Martínez ha sido Jefe de Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital General Universitario Gregorio Marañón de la Comunidad Autónoma de Madrid. Es autor de más de cien publicaciones científicas, en revistas recogidas en el SCI, y miembro del consejo editorial de cuatro revistas científicas. Es co-autor de más de 30 capítulos de libros. Ha participado en 19 proyectos de investigación siendo el investigador responsable de muchos de ellos. Ha sido miembro del Grupo de Trabajo “Laboratorio de Imagen Médica” de la Universidad Complutense de Madrid. Ha participado en siete Comités científicos del Hospital Universitario Gregorio Marañón, de la Sociedad Española de Radiología y de la Comunidad de Madrid. Ha sido presidente de la Sociedad Española de Diagnóstico por Imagen del Abdomen (SEDIA).

### **Secretario General: Miguel Ángel García García-Tuñón**

---

Miguel Ángel García García-Tuñón es investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Es coautor de 135 artículos científicos que han recibido más de 3500 citas y ha presentado más de 200 comunicaciones a congresos (27 de ellos como charlas invitadas). Es coautor de 8 patentes y ha dirigido 3 tesis doctorales. Ha participado en 24 proyectos de investigación siendo el investigador principal de 11 de ellos. Es profesor honorífico en el Departamento de Física Aplicada de la Universidad Autónoma de Madrid y de la Universidad Complutense de Madrid. Es investigador adscrito al Instituto de Magnetismo Aplicado.

### **Director Científico: Francisco Vargas Marcos**

---

Francisco Vargas Marcos es Médico Epidemiólogo. Ha desempeñado varios puestos de trabajo en la Dirección General de Salud Pública del Ministerio de Sanidad en los ámbitos de la planificación sanitaria, epidemiología, prevención y promoción de la salud y sanidad ambiental. Ex Subdirector general de Sanidad Ambiental y salud laboral. Fue representante del Ministerio de Sanidad y Consumo para la elaboración de la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea sobre exposición del público a CEM. Promotor y redactor de la legislación nacional (Real Decreto 1066/2001) sobre campos electromagnéticos (CEM). Promotor y Coordinador del Comité de Expertos Independientes de la Dirección General de Salud Pública del Ministerio de Sanidad y Consumo. Coautor del Informe Técnico “Campos Electromagnéticos y Salud Pública” y representante español en el Internacional Advisory Comite of International Electromagnetic Fields de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Autor de numerosos artículos, ponencias y conferencias sobre temas relacionados con la evaluación del riesgo de los CEM y salud pública. Coautor de los Informes sobre Radiofrecuencias y Salud del CCARS (2007-2013).

### **Presidente de Honor: Emilio Muñoz Ruiz**

---

Emilio Muñoz Ruiz es profesor de Investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas en el área de Biología y Biomedicina. Actualmente vinculado “ad honorem” en el Instituto de Filosofía del CSIC, Departamento de Ciencia, Tecnología y Sociedad. Ha sido Presidente del CSIC, Secretario General del Plan Nacional de I+D, Presidente de la Asociación Interuniversitaria Europea sobre Sociedad, Ciencia y Tecnología (ESST) y Presidente del Gabinete de Biotecnología (GABIOTEC) de la Fundación CEFI. Es miembro de la Organización Europea de Biología Molecular (EMBO), de la Academia Sueca de Ciencias de la Ingeniería (área de Biotecnología) y miembro correspondiente de la Real Academia de Farmacia. Posee condecoraciones de los Gobiernos de las Repúblicas de Italia y Francia y la Encomienda con Placa de la Orden Civil de Alfonso X El Sabio. Es autor de varios centenares de artículos en el campo de la bioquímica, la biotecnología y su relación con los aspectos sociales y económicos, y la política científica y tecnológica. Ha publicado unos veinticinco libros como autor o editor.

**Vocal: Antonio Hernando Grande**

---

Antonio Hernando Grande es Catedrático de magnetismo de la Universidad Complutense de Madrid desde 1980. Es autor de más de trescientas publicaciones científicas, en revistas recogidas en el SCI., que han sido objeto de diez mil referencias y tiene un índice H de 47. Autor de 33 patentes. Ha dirigido 22 tesis doctorales. En 1989 impulsó la creación del Instituto de Magnetismo Aplicado de la Universidad Complutense, que desde entonces dirige y en el que se combinan la investigación básica y los contratos de investigación aplicada con empresas públicas y privadas. Ha sido Investigador en Naval Research Lab. en Washington y Profesor invitado en la Universidad Técnica de Dinamarca, en la Universidad de Cambridge y en el Instituto Max-Planck de Stuttgart. Es Miembro Numerario de la Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales desde 1998.

**Vocal: Agustín Gregorio Zapata**

---

Es doctor en Biología por la Universidad Complutense de Madrid; en la actualidad es Catedrático de Biología Celular de la Facultad de Biología de dicha Universidad. Es coautor de más de 280 artículos científicos en el campo de la inmunología y las células madre. Ha dirigido 27 tesis doctorales y ha participado en numerosos proyectos de investigación siendo el Investigador principal en decenas de ellos.

**Vocal: Fernando Las-Heras Andrés**

---

Fernando Las-Heras Andrés es Ingeniero de Telecomunicación y Doctor Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid. Ha sido Profesor Titular de Universidad en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación (Dpto. de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones) de la Universidad Politécnica de Madrid y desde 2003 es Catedrático de Universidad en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Oviedo, donde es el responsable del Grupo de Investigación "Teoría de la Señal y Comunicaciones" (TSC-UNIOVI). En el ámbito docente ha impartido múltiples asignaturas de grado y posgrado relacionadas con fundamentos y aplicaciones de tecnologías inalámbricas. Participó en la puesta en marcha del título de Ingeniero de Telecomunicación en la Univ. de Oviedo y fue Subdirector para Ingeniería de Telecomunicación en la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Gijón y Director de la Cátedra Telefónica en la Universidad de Oviedo. Desde 2010 es miembro del Consejo de la Ciencia, Tecnología e Innovación en Asturias. Ha sido profesor invitado en varias Universidades internacionales y ha dirigido y participado en numerosos proyectos de I+D y contratos con empresas del sector de las telecomunicaciones, siendo autor de más de 350 publicaciones en revistas de impacto y actas de congresos sobre temáticas de: diseño de antenas (arrays de barrido electrónico, antenas impresas y metamateriales), problema electromagnético inverso y su aplicación al diagnóstico, medida y síntesis de antenas y a sistemas de "imaging" electromagnético, propagación, tecnologías desde microondas a THz, electromagnetismo computacional, emisiones electromagnéticas y salud, así como

aplicaciones en innovación docente. Ha participado en diferentes comités científicos y profesionales relacionados con las tecnologías inalámbricas, incluyendo el campo de las emisiones electromagnéticas, donde ha sido asesor, ponente y autor de diversos trabajos científico-técnicos.

### **Vocal: José Ignacio Alonso Montes**

---

José Ignacio Alonso Montes es Ingeniero de Telecomunicación y Doctor Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Durante los años 1982 a 1985 trabajó en el Laboratorio de I+D de Telettra España S.A. En octubre del año 1985 se incorporó al Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones, de la E.T.S.I. de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid, donde actualmente es Catedrático. Su investigación se ha centrado en el análisis de los fenómenos de propagación en circuitos de alta frecuencia y velocidad y en el análisis de sus interconexiones, así como en el campo de los circuitos de microondas y milimétricas en tecnología híbrida y monolítica sobre Arseniuro de Galio, diseñando y desarrollando circuitos MMICs en AsGa para sistemas de guerra electrónica, comunicaciones móviles, de fibra óptica y para sistemas de antenas adaptativas. Además, ha trabajado en el desarrollo y planificación de radio de sistemas punto-multipunto de banda ancha (LMDS) en bandas milimétricas y de sistemas inalámbricos (Wi-Fi, WiMAX, TETRA, GSM-R y LTE). Actualmente, está involucrado en el diseño de subsistemas de RF para el control automático y la señalización de sistemas ferroviarios (ERTMS y CBTC), en la caracterización teórica y experimental del canal radio en entornos ferroviarios y suburbanos, en el análisis de interferencias entre GSM-R y las redes móviles públicas y en el desarrollo de técnicas de localización basadas en redes de femtoceldas LTE.

### **Vocal: Narcís Cardona Marcet**

---

Narcís Cardona es Ingeniero de Telecomunicación por la UPC (1990), Doctor Ingeniero de Telecomunicación (1995) y Catedrático de la Universitat Politècnica de València (UPV) desde 2001. El profesor Cardona lidera desde 1995 el Grupo de Investigación en Comunicaciones Móviles (MPCG) del que forman parte 30 investigadores. Además, es Director del Máster en Comunicaciones y Desarrollo de Servicios Móviles (desde 2006) y Subdirector del Instituto Universitario de Investigación iTEAM (desde 2004).

Ha dirigido 20 tesis doctorales y es autor de varios libros en editoriales internacionales, así como de 9 patentes y más de 200 artículos de investigación en revistas. El Profesor Cardona ha liderado proyectos de Investigación en el ámbito Nacional y Europeo, participando en los Programas Marco FP6, FP7 y H2020. Ha participado y liderado redes de excelencia (NEWCOM, ARCO 5G) y acciones europeas COST, destacando la presidencia de COST IC1004 y la vicepresidencia de COST273 e IRACON.



Es miembro de los comités de gestión de varios proyectos europeos (METIS, METIS-II, WIBEC) y congresos científicos internacionales (IEEE VTC, IEEE PIMRC, EUCNC). Sus áreas de actividad actual en investigación se centran en los sistemas de comunicaciones móviles 5G, los estándares de radiodifusión digital terrestre y en los dispositivos y tecnologías médicas inalámbricas.

#### **Vocal: Rafael Herranz Crespo**

---

Rafael Herranz Crespo es Licenciado en Medicina y Especialista en Oncología Radioterápica por la Universidad Complutense de Madrid. Ha sido Profesor Universitario en las Universidades de Zaragoza, del País Vasco, y Complutense de Madrid desde 1973 hasta 2014 en el Departamento de Radiología y Medicina Física. Ha sido responsable de la creación del Centro de Radiopatología y Radioprotección en el Hospital General Universitario Gregorio Marañón y Coordinador Médico del mismo hasta su jubilación, siendo en la actualidad coordinador honorario. Ha sido Investigador principal y coordinador de 7 proyectos de investigación y autor de numerosas publicaciones, revistas científicas, capítulos de libros, ponencias y conferencias, nacionales e internacionales. Ha realizado investigaciones en el desarrollo de nuevas tecnologías tanto en Teleterapia como en Braquiterapia, con gestión de incorporación de equipos, diseño de protocolos y guías y ampliación y formación de recursos humanos. También ha desarrollado investigaciones sobre los efectos de las Radiaciones Ionizantes sobre el ser humano.

#### **Vocal: Ricardo de Ángel Yagüez**

---

Ricardo de Ángel Yagüez es Doctor en Derecho por la Universidad de Granada y Catedrático de Derecho Civil en la Facultad de Derecho de la Universidad de Deusto. Es además vocal permanente de la comisión General de Codificación, y autor de catorce libros y más de cien publicaciones sobre Derecho. Ha impartido más de 200 conferencias en cursos, congresos, jornadas y simposios. Ha sido Director de 12 tesis doctorales, y es doctor Honoris Causa por la Universidad de Buenos Aires.



## ANEXO 1: PÁGINAS CONSULTADAS

Las páginas de las principales Agencias y Organismos científicos consultadas en el proceso de elaboración de este informe han sido:

- *ICNIRP. Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No-Ionizantes* ([www.icnirp.org](http://www.icnirp.org))
- *ELECTROMAGNETIC FIELDS* Proyecto de la Organización Mundial de la Salud (<http://www.who.int/peh-emf/en/>)
- *Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU)* [www.itu.int](http://www.itu.int)
- *Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR, Comisión Europea)*  
([http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/index_en.htm))
- *Health Protection Agency (Reino Unido)*  
(<https://www.gov.uk/government/organisations/public-health-england>)
- *AGNIR .Independent Advisory Group on Non-ionising Radiation:*  
(<https://www.gov.uk/government/groups/advisory-group-on-non-ionising-radiation-agnir>)
- *Informationszentrum Mobilfunk (IZMF, Alemania)*  
([http://www.informationszentrum-mobilfunk.de/Bundesamt für Strahlenschutz](http://www.informationszentrum-mobilfunk.de/Bundesamt_für_Strahlenschutz)  
(Alemania): [dipbt.bundestag.de/dip21.web/bt](http://dipbt.bundestag.de/dip21.web/bt))
- *Institut Belge des Services Postaux et des Télécommunications (Bélgica)* ([www.bipt.be](http://www.bipt.be))
- *Instituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Italia)*(<http://www.isprambiente.gov.it> )
- *Agencia Francesa para la Salud y Seguridad Ocupacional y Medioambiental (Francia)* (<http://www.anses.fr>)
- *Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency ARPANSA*  
(<http://www.arpansa.gov.au>)
- *Occupational Safety and Health Administration OSHA del Gobierno de EE.UU*  
(<https://www.osha.gov/SLTC/radiofrequencyradiation/healtheffects.html> )
- *HEALTH PHYSICS SOCIETY* Sociedad científica internacional.  
(<https://hps.org/hpspublications/articles/rfradiation.html>)
- *3rd Generation Partnership Project (3GPP)* <http://www.3gpp.org>
- *5th Generation Private Public Partnership* <https://5g-ppp.eu>

El Informe sobre radiofrecuencias y salud (2013-2016) es la quinta edición que realiza Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS), tras las publicadas en 2006, 2009, 2011, 2013. El presente informe presta especial atención a los trabajos publicados en el trienio 2013-2016. Se analizan los principales resultados de los estudios experimentales, así como los obtenidos a través de los estudios epidemiológicos. También se analizan los centrados en la determinación de la dosimetría y la evaluación de la exposición de la población a los campos de radiofrecuencia asociados a las estaciones base. Otro aspecto relevante en el presente Informe es el ámbito jurídico, abordándose el análisis de distintas resoluciones judiciales que han tenido lugar en España en relación con la exposición a campos electromagnéticos. Cabe destacar que en el presente informe se trata otro aspecto de suma importancia en la actualidad, el efecto de las radiofrecuencias sobre la reproducción y el desarrollo.

Con esta publicación, el Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS) trata de facilitar asesoramiento científico e información clara, independiente y actualizada a todas las entidades públicas y privadas, así como a la ciudadanía; sobre la exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias y sus efectos sobre la salud humana, uno de los objetivos principales desde su creación. El CCARS espera que la información aquí recogida sea útil para la adopción de las mejores decisiones políticas y sanitarias, basadas en los resultados de estudios científicos.



colegio oficial  
**ingenieros**  
de telecomunicación



Instituto de Magnetismo Aplicado  
Laboratorio "Salvador Velayos"  
UCM- ADIF- CSIC