

# INFORME SOBRE RADIOFRECUENCIAS Y SALUD (2007-2008)

© Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS)

Apdo. de Correos 155, 28230 Las Rozas, Madrid

[www.ccars.es](http://www.ccars.es)

---

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR EN RADIOFRECUENCIAS Y SALUD (CCARS).

Bajo el patronazgo de la Fundación General de la Universidad Complutense de Madrid

## Presentación

El despliegue de las infraestructuras necesarias para dar servicio de telefonía móvil (TM) y otras tecnologías de la comunicación sigue generando un cierto rechazo en algunos colectivos de nuestra sociedad. En los medios de comunicación social aparecen, periódicamente, noticias sobre aspectos sanitarios, jurídicos, económicos, o de percepción del riesgo relacionado con la instalación de estaciones base (antenas y sus equipos de emisión).

La preocupación social que genera cualquier aspecto relacionado con las radiofrecuencias y la salud ha dado lugar, en la mayoría de los países de nuestro entorno, a instituciones o comités de referencia que asumen como tarea asesorar y aportar racionalidad científica al debate. Esta función ha sido encomendada a agencias *ad hoc* o se ha integrado en las agendas de comités y organismos con mandatos generales de asesoramiento gubernamental en cuestiones técnicas o sanitarias.

En España no existía una entidad, organismo o agencia de esas características desde la desaparición del Comité de Expertos Independientes creado (en el año 2000) por la Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral del Ministerio de Sanidad y Consumo, hasta que la Fundación General de la Universidad Complutense de Madrid tomó la iniciativa de colaborar en la tarea de evaluar los efectos de los campos electromagnéticos. Con este objetivo promovió la creación del Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS) en julio de 2005.

El CCARS es una institución independiente, formada por reconocidos expertos en Medicina, Física, Química, Biología, Epidemiología y Derecho. La composición actual de CCARS puede ser consultada en la página web del Comité ([www.ccars.es](http://www.ccars.es)), donde también se recoge información sobre las actividades y objetivos del CCARS.

Uno de los principales objetivos del CCARS desde su creación es el de facilitar asesoramiento científico e información actualizada, clara e independiente a todas las entidades públicas y privadas, así como a la sociedad, sobre la exposición a los campos electromagnéticos (CEM) de radiofrecuencias (RF) y sus efectos sobre la salud humana. Esta información debe ser útil para la adopción de las mejores decisiones políticas y sanitarias basadas en los resultados de estudios científicos.

En octubre de 2006, el CCARS publicó un informe sobre las evidencias científicas sobre la exposición a radiofrecuencias y salud [[CCARS-2006](#)]. Este informe fue elaborado a solicitud del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (MICyT) con el objetivo de revisar la información científica sobre los efectos de la exposición a los CEM de radiofrecuencia utilizados por la TM en la salud. El Comité valoró las evidencias científicas publicadas y las conclusiones alcanzadas, hasta esa fecha, por los organismos, agencias y comités competentes en el tema.

Desde entonces, se ha seguido investigando y se han publicado distintos informes y estudios experimentales sobre los efectos en la salud debidos

a la exposición a los CEM de RF emitidos por las estaciones base de TM (antenas) y por la utilización de los terminales (teléfonos móviles). En este informe se actualiza la información disponible hasta el momento sobre si la exposición a las RF utilizadas en TM está asociada directamente o es un factor de riesgo de determinadas enfermedades o tiene efectos perjudiciales sobre la salud humana.

El presente texto pretende resumir la visión generalizada entre los comités nacionales e internacionales de expertos en valoración de riesgos relacionados con la exposición a señales de radiofrecuencias, preferentemente de radiocomunicación, en ambientes residenciales, públicos u ocupacionales. Así, las conclusiones recogidas en el presente texto son compartidas por la mayoría de los expertos en la materia, si bien existen minorías discrepantes. La unanimidad es difícil de alcanzar en ciencia por su propia naturaleza. El texto base del presente documento ha sido elaborado por el Dr. Francisco Vargas, y las distintas secciones que lo componen fueron revisadas por los correspondientes expertos, integrados en el CCARS. El apartado inicial sobre "Algunas consideraciones sobre los campos electromagnéticos" ha sido redactado por el Prof. Antonio Hernando. Las secciones 3 y 4 "Estudios experimentales sobre los efectos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia relevantes para la salud" y "Estudios epidemiológicos" han sido revisados por la Dra. Isabel Varela, el Dr. Alejandro Úbeda y el Dr. Manuel Desco. Las secciones 5 y 6 han sido revisadas por la Dra. Mercedes Martínez y el Prof. José Luís Sebastián. La redacción del Informe ha sido coordinada por la Dra. Patricia Crespo, Secretaria Ejecutiva del CCARS, bajo la supervisión de su Presidente, el Prof. Emilio Muñoz.

El presente informe resume <sup>1</sup> los resultados publicados en medios de reconocido prestigio durante los dos últimos años. Se han analizado las conclusiones y recomendaciones de los organismos, comités y agencias competentes en materia de evaluación de riesgos derivados de la exposición a RF y la salud humana, en concreto de las emisiones procedentes de las estaciones base y los teléfonos móviles. Dentro de estos organismos competentes se encuentran, entre otros, la **Organización Mundial de la Salud (OMS)**, el **Comité Científico de la Unión Europea sobre los Riesgos Sanitarios Emergentes y Recientemente Identificados** (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, SCENIHR), la **Comisión Internacional sobre Protección contra las Radiaciones no Ionizantes** (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP), la **Autoridad Sueca para la Protección frente a la Radiación** (Swedish Radiation Protection Authority, SSI), el **Programa de Investigación sobre Telecomunicaciones Móviles y Salud del Reino Unido** (UK Mobile Telecommunications and Health Research Programme, MTHR) y el **Consejo de Salud de los Países Bajos** (Health Council of the Netherlands).

El contenido este informe está dividido en dos apartados. El primero de ellos se centra en la descripción de los hallazgos más relevantes obtenidos a partir de los estudios experimentales, clínicos y epidemiológicos relacionados con la exposición a las RF de TM. En el segundo de ellos, se resumen los resultados publicados sobre los niveles de exposición a los CEM de RF a los que se encuentra sometido el público y obtenidos a partir de mediciones llevadas a cabo en España y en Europa.

---

<sup>1</sup> Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente representan a las instituciones donde trabajan.

Por último, se resumen las recomendaciones propuestas en los diferentes estudios y programas de investigación así como por los organismos competentes en la materia sobre las áreas y líneas de investigación que deben ser abordadas en mayor profundidad en los próximos años.

En los anexos al presente informe se incluyen los resultados de las mediciones realizadas de los niveles de exposición del público en general a las emisiones radioeléctricas de estaciones de radiocomunicación correspondiente al último año disponible el 2007 y publicadas por el MITyC, así como una descripción del funcionamiento de los sistemas de radiocomunicación (información suministrada por Colegio de Ingenieros de Telecomunicaciones).

# Índice

PRESENTACIÓN	I
1. RESUMEN EJECUTIVO	3
2. ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	4
2.1 La interacción electromagnética como base de la materia y la vida	4
2.2 Radiaciones ionizantes y no ionizantes	5
2.3 El electromagnetismo como ciencia	6
2.4 El electromagnetismo como herramienta de desarrollo y bienestar: la revolución de Faraday. La posibilidad de crear campos electromagnéticos artificialmente	7
3. ESTUDIOS EXPERIMENTALES SOBRE LOS EFECTOS DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE RADIOFRECUENCIA RELEVANTES PARA LA SALUD	9
3.1 Literatura básica	9
3.2 Estudios <i>in vitro</i>	9
3.2.1 Resultados recientes sobre efectos genotóxicos de señales de radiofrecuencia	10
3.2.2 Efectos no genotóxicos de las señales de radiofrecuencia	10
3.3 Estudios <i>in vivo</i>	11
3.3.1 Efectos carcinógenos de señales de radiofrecuencia: relación exposición-cáncer	11
3.3.2 Efectos sobre el sistema nervioso	14
3.3.3 Efectos sobre el desarrollo	14
3.4 Estudios en voluntarios	14
3.4.1 Efectos sobre el sistema nervioso en voluntarios sanos	14
3.4.2 Estudios sobre Hipersensibilidad Electromagnética Percibida	14
3.4.3 Efectos sobre la presión sanguínea	16
4. ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS	17
4.1 Los estudios epidemiológicos: algunas definiciones	17
4.2 Problemas de los estudios epidemiológicos: sesgo y confusión, comparaciones múltiples	19
4.2.1 Sesgos	19

4.2.2	Confusión	20
4.2.3	Comparaciones múltiples	20
4.3	Estudios descriptivos y conglomerados ('clusters')	21
4.4	Avances en los últimos dos años	21
4.4.1	Estaciones base.	23
4.4.2	Teléfonos móviles	24
5.	ESTUDIOS DE LOS NIVELES DE EXPOSICIÓN DEBIDOS A LAS ESTACIONES BASE Y TERMINALES	26
5.1	Radiación electromagnética	26
5.2	Magnitudes que caracterizan la exposición. Límites de exposición	26
5.3	Niveles de exposición del público en general a las emisiones radioeléctricas de estaciones base de radiocomunicación	29
5.3.1	España	29
5.3.2	Europa	31
6.	DOSIMETRÍA. ACTIVIDADES DE NORMALIZACIÓN Y EXPOSICIÓN OCUPACIONAL.	33
7.	COMUNICACIÓN Y PERCEPCIÓN DE RIESGOS	34
8.	PRIORIDADES DE INVESTIGACIÓN FUTURAS	36
9.	CONCLUSIONES	37
	REFERENCIAS	38
	ANEXOS	42
	ANEXO I: MEDIDAS EN LUGARES SENSIBLES	43
	ANEXO II: AUDITORIA DE CERTIFICACIONES	48
	ANEXO III: FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL	52

# 1. Resumen ejecutivo

El presente informe resume los resultados publicados en medios de reconocido prestigio durante los dos últimos años. Se han analizado las conclusiones y recomendaciones de organismos, comités y agencias competentes en materia de evaluación de riesgos derivados de la exposición a RF, en concreto de las emisiones procedentes de las estaciones base y los teléfonos móviles.

En el conjunto de los estudios experimentales “*in vitro*” e “*in vivo*” realizados recientemente no se han obtenido pruebas concluyentes de efectos genotóxicos ni carcinogénicos derivados de la exposición a los campos de RF. En algunos casos, se han reportado alteraciones en la dinámica celular, pero la falta de estandarización en las medidas realizadas dificulta la comparación entre estudios.

Con respecto a los estudios epidemiológicos, la mayoría de ellos se dirigen a identificar los efectos del uso prolongado de los teléfonos móviles y su posible relación con la aparición de tumores cerebrales. Los datos disponibles indican que la exposición a los teléfonos móviles durante períodos menores a 10 años en usuarios adultos sanos no supone un riesgo añadido de padecer tumores cerebrales. No se han realizado estudios concluyentes sobre exposición durante períodos superiores.

En su conjunto, los estudios sobre las personas que afirman padecer hipersensibilidad electromagnética no han proporcionado evidencia de que la exposición

a los CEM de RF de las estaciones base y de los terminales sea un factor causal de los síntomas.

En relación con las emisiones de las estaciones base (antenas de telefonía móvil), se ha realizado un número limitado de estudios que, en su conjunto, muestran valores de exposición a la radiación electromagnética de radiofrecuencias muy por debajo de los valores de referencia establecidos en la legislación española y recogidos en el Real Decreto 1066/2001 [\[RD\\_1066/2001\]](#). Estos límites son los establecidos por la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP), organización avalada por la Organización Mundial de la Salud (OMS), y por la Unión Europea. Véase, por ejemplo, el “Informe sobre la exposición del público en general a las emisiones radioeléctricas de estaciones de radiocomunicación, año 2007” del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITyC) [\[MICyT-2007\]](#).

Por último, se recogen las prioridades de investigación futura sobre los posibles efectos en la salud de las RF. Éstas incluyen la ampliación de la evidencia epidemiológica y experimental (evaluación de los efectos de la exposición a períodos de tiempo superiores a 10 años, evaluación en niños y adolescentes) y el refinamiento de los equipos y estrategias de dosimetría.



## 2. Algunas consideraciones sobre los campos electromagnéticos

### 2.1 La interacción electromagnética como base de la materia y la vida

Según la teoría mas aceptada del origen del Universo, desde el comienzo de la Gran Explosión existía un número enorme de fotones, electrones, positrones y neutrinos y una pequeña contaminación de protones y neutrones. Los fotones son los cuantos del campo electromagnético. La interacción entre partículas cargadas, electrones, positrones y protones, conocida como interacción electromagnética es - junto a la interacción fuerte que mantiene unidas a las partículas que forman el núcleo atómico, la interacción débil y la interacción gravitatoria que gobierna la condensación de las galaxias y el movimiento de los planetas alrededor de las estrellas- una de las cuatro protagonistas de la historia del Universo. Pero es quizás la más familiar en la escala en que los humanos estamos habituados a movernos en el Planeta. La atracción electromagnética es la responsable de que electrones y protones se agrupen formando átomos y que posteriormente estos se condensen en moléculas y posteriormente en sólidos o en macromoléculas como las proteínas y los virus. La química y la biología son manifestaciones de la interacción electromagnética. La célula es el resultado del acoplamiento electromagnético de moléculas orgánicas mediante el denominado enlace químico que no es más que el resultado de la atracción electromagnética entre átomos.

La vida puede existir exclusivamente en un medio electromagnético adecuado que gobierne los ritmos de radiación manteniendo los márgenes requeridos de temperatura. También la radiación electromagnética formada por fotones es componente indispensable de la función cloroflica responsable de la existencia de vida en su forma actual. La síntesis de agua y anhídrido carbónico genera azúcares que constituyen un almacén de energía. El exceso de energía potencial que la molécula de azúcar tiene respecto a las moléculas iniciales se obtiene de la energía electromagnética, o luz del Sol, que es absorbida durante la síntesis sólo si está presente la clorofila que actúa como catalizador. La formación de azúcares es la base de toda la síntesis de alimentos para las diversas formas de vida organizada.

Las radiaciones electromagnéticas consisten en fotones de distintas energías. Recientemente, a comienzos del siglo XX, Planck descubrió que la energía de un fotón depende de su frecuencia. La frecuencia del fotón o frecuencia de la onda electromagnética determina, por ejemplo, los colores. La diferencia entre la luz verde y la roja es su frecuencia. La capacidad de impresionar nuestro órgano visual queda restringida a una banda muy reducida de las frecuencias posibles. Si es  $f$  la frecuencia del fotón, su energía  $E$  es proporcional a  $f$

con una constante de proporcionalidad que desde Planck se conoce con la letra  $h$ . Por tanto la fórmula que relaciona energía y frecuencia es sencillamente  $E=h \cdot f$ .

Sirva esta introducción para incrementar la conciencia sobre la relevancia de las interacciones electromagnéticas en el desarrollo del Universo, de la Tierra, de la Naturaleza y de la Vida. Se puede afirmar que los campos y ondas electromagnéticas se encuentran en la textura más íntima de toda materia y que intentar prescindir de ellos es prescindir de la materia, de la luz, de los alimentos y de la vida.

## 2.2 Radiaciones ionizantes y no ionizantes

El Sol, como fuente de energía, es responsable directo de la vida sobre la Tierra en todas sus formas. La transmisión de la energía desde el Sol, donde se produce continuamente por fusión nuclear, hasta la Tierra se realiza mediante fotones o radiación. La atmósfera amortigua la radiación ultravioleta que correspondiendo a la banda más energética del entorno del espectro visible produciría quemaduras si actuara con mayor intensidad. Este es un primer ejemplo del equilibrio requerido para el desarrollo de la vida. Si bien necesitamos la radiación del Sol, su exceso nos desintegraría. La dosis crítica de radiación ultravioleta la fija la capa de ozono atmosférica cuyo estado con tanta razón preocupa a una sociedad cada vez más consciente de este equilibrio frágil sobre el que descansa la posibilidad de vivir. Al encontrarse las moléculas que forman el organismo enlazadas por fuerzas electromagnéticas son susceptibles de romperse por fuerzas externas de la misma magnitud. Los fotones de alta energía, comprendida en el rango de órdenes de magnitud de 0,1 a 1 eV, son capaces de romper las moléculas y

que la energía del enlace químico está comprendida en el mismo intervalo. (Nota, 1 electrón-voltio, eV, es la energía que adquiere un electrón en un potencial de 1 voltio). La energía cinética con que se mueve una molécula de nitrógeno que forma parte del aire de nuestra habitación a 20 grados centígrados de temperatura es 0,026 eV. Los fotones con energía inferior a 0,1 eV no son capaces de romper los enlaces químicos y se denominan no ionizantes, ya que de la ruptura de los enlaces se deriva la formación de iones que son los átomos inicialmente enlazados tras separarse violentamente. Si uno considera que la constante de Planck es  $h=6,6 \times 10^{-34}$  Julio-segundo ó  $6,6 \times 10^{-15}$  eV-segundo todos los fotones con frecuencias  $f$  inferiores a  $10^{13}$  seg<sup>-1</sup> ó  $10^{13}$  Hz (la unidad Hz significa herzio o uno dividido por segundo; el número de herzios es el número de veces que en un segundo se invierte el sentido del campo eléctrico del fotón;  $10^{13}$  significa diez billones ya que indica que es una cantidad de trece cifras) tienen energías inferiores a 0,01 eV y pueden considerarse como radiaciones no ionizantes o no rompedoras de moléculas. Por esta razón, las denominadas radiaciones no ionizantes abarcan el espectro de frecuencias que se extiende entre los campos estáticos - o no variables con el tiempo - para los que  $f=0$  Hz y los de frecuencia 300 GHz ó 300 gigaherzios =  $3 \times 10^{11}$  Hz (1 GHz son mil millones de herzios o  $10^9$  Hz).

Todos sabemos que la radiación gamma o los rayos X, al ser ionizantes, pueden producir efectos nocivos sobre los tejidos. Pero debe considerarse que no basta la incidencia de fotones de alta energía para derivarse daños, es también preciso que el número de fotones sea suficientemente elevado. La dependencia del daño con el número de fotones o intensidad de la radiación permite hablar de dosis de tolerancia y dosis de seguridad, incluso para las radiaciones altamente energéticas o ionizantes.

Se puede concluir que los fotones u ondas electromagnéticas con frecuencias comprendidas entre cero hercios y un billón de hercios no tienen energía suficiente para romper moléculas y por tanto se consideran no ionizantes. Son por tanto incapaces de generar directamente alteraciones genéticas mediante la ruptura de ADN.

## 2.3 El electromagnetismo como ciencia

Si bien desde el comienzo del Universo, hace más de diez mil millones de años, el electromagnetismo ya estaba ahí, los seres humanos hemos sabido adecuadamente de su existencia hace relativamente poco. El método experimental permitió que un conjunto de investigadores: Coulomb, Gauss, Poisson, Oersted, Ampère, Faraday y Maxwell que ocupan la etapa comprendida entre el fin del XVIII y la segunda mitad del XIX, descubrieran las leyes que gobiernan el funcionamiento de las interacciones electromagnéticas. Posteriormente Einstein, en su Teoría de la Relatividad Restringida, concluyó que la velocidad de las ondas electromagnéticas (velocidad de la luz) es la misma en todos los sistemas de referencia mostrando así que la consistencia de las ecuaciones de Maxwell es superior a la de las leyes de la dinámica de Newton. El establecimiento posterior de la Electrodinámica Cuántica, constituyó el último peldaño que permitía cerrar la teoría electromagnética a nivel atómico y subatómico. Hoy el Electromagnetismo es una ciencia cerrada y acabada. Los efectos de los campos magnéticos sobre la materia, interacciones electromagnéticas, son perfectamente conocidos. Las fuerzas que los campos ejercen sobre las cargas eléctricas - tanto en reposo como en movimiento- y momentos magnéticos se pueden calcular con precisión.

El último aserto del párrafo anterior es especialmente importante para centrar con claridad el problema que representa la interacción de los campos electromagnéticos con la materia viva. Cualquiera que sea el efecto producido por un campo de una cierta intensidad y frecuencia debe poderse explicar como una consecuencia de las fuerzas electromagnéticas que son perfectamente conocidas. La dificultad para explicar sus efectos sobre la salud proviene de la falta de conocimiento suficientemente detallado sobre todos los mecanismos físico-químicos que constituyen la vida. Por supuesto que esta falta de conocimiento está originada por la enorme complejidad en detalle de los fenómenos biológicos. Pero son éstos los que deben investigarse. En otras palabras, es un error considerar que los campos electromagnéticos pueden producir efectos sobre la vida diferentes a los que producen sobre partículas cargadas. No hay que inventar nuevas propiedades de los campos electromagnéticos para justificar su acción sobre lo vivo, mas bien hay que profundizar en los mecanismos que gobiernan la marcha de las partículas cargadas, presentes en la célula, para, partiendo de las fuerzas bien conocidas de los campos electromagnéticos sobre dichas cargas, explicar su efecto sobre los mecanismos biológicos.

Como es común, a todos los avances del conocimiento teórico de una ciencia acompañan los avances tecnológicos. Recíprocamente los avances tecnológicos generan nuevos conocimientos básicos. En este marco dialéctico el establecimiento de las leyes del Electromagnetismo se vio acompañado de la génesis de un vasto panorama de posibilidades tecnológicas como las que se esbozan a continuación.

## 2.4 El electromagnetismo como herramienta de desarrollo y bienestar: la revolución de Faraday. La posibilidad de crear campos electromagnéticos artificialmente

El disco duro del ordenador, el vídeo, la cinta magnetofónica, la banda de las tarjetas de crédito, códigos de seguridad, los núcleos de los motores, transformadores y generadores, la televisión, los equipos de telecomunicaciones, todos estos elementos tan familiares en el año 2000 están basados en efectos de los campos eléctricos y magnéticos. Estos sistemas, a diferencia de toda la química de la Naturaleza que es también esencialmente resultado de las leyes del Electromagnetismo, no existen espontáneamente, han sido frutos del trabajo de investigación del hombre. Se puede afirmar que desde comienzos del siglo XX los campos magnéticos creados artificialmente por la humanidad se superponen a los campos electromagnéticos que naturalmente existen desde hace millones de años sobre la superficie de la Tierra.

La aplicación más revolucionaria de los campos electromagnéticos fue sin duda la llevada a cabo este siglo (el siglo XX) gracias al descubrimiento de Faraday hacia la mitad del siglo XIX. Este genial físico experimental inglés descubrió en su laboratorio que los campos eléctricos, de los que hasta entonces se sabía que eran creados por cargas eléctricas, también se creaban, sin necesidad de contar con carga eléctrica, con campos magnéticos variables en el tiempo. La posibilidad de crear campos magnéticos variables mediante artilugios mecánicos que hagan girar, por ejemplo, imanes, es inmediata. De este modo se podrían construir "fábricas" de campo eléctrico y mediante conductores transportar la electricidad a distancias alejadas de ellas. Este

transporte era en realidad un transporte de energía que, por su principio de conservación, consistía en la energía que gastaba el artilugio mecánico para hacer girar el campo magnético. La energía se podía almacenar como energía química, o mecánica, convertir en campo eléctrico, transmitir a distancia – análogamente a como la energía nuclear del Sol se transmite a la Tierra mediante fotones- y entonces volver a reconvertir en energía utilizable en los lugares de consumo, viviendas, oficinas y fábricas. La posibilidad de utilizar la energía en cualquier parte sin necesidad de aproximación a la fuente, constituye el resultado científico que más ha contribuido a alcanzar el nivel de bienestar, cultura, seguridad sanitaria y capacidad industrial de los pueblos más desarrollados. Da vértigo comenzar a vislumbrar como cambiaría el mundo si no hubiera suministro de energía en las viviendas, en los hospitales o en las fábricas. Este ejemplo ilustra perfectamente como el descubrimiento de las leyes que rigen los fenómenos electromagnéticos inherentes a la materia desde que el Universo es Universo, permite a la sociedad utilizar dichos fenómenos para mejorar su cultura y su estilo de vida. Es fácil comprobar que todo avance positivo contiene contraindicaciones en su propia esencia. Si utilizamos energía hay que pagar un coste. Este coste es la estética del campo y la ciudad dañada por las torres que sustentan los conductores de suministro, la perturbación ecológica del lugar en que se almacena la energía (presa hidráulica, central térmica o nuclear), el aumento de la intensidad ambiental de campos electromagnéticos de 50 Hz, la posibilidad de electrocutarse etc. Afortunadamente muchos de estos factores pueden evaluarse con precisión de modo riguroso. Otros no, como, por ejemplo los estéticos. A la hora de enmarcar la envergadura de la dialéctica que conduce a esa cuestión radical: ¿Merece la pena el progreso? sería bueno tener presente que los daños derivados de una tecnología, por ejemplo la de los campos

electromagnéticos, no pueden nunca ser mayores en media que aquellos a los que estamos expuestos por la existencia natural de los campos electromagnéticos. La cuestión pues solo admite una respuesta tras un balance riguroso. La razón beneficio/riesgo debe analizarse desapasionadamente y con perspectiva. Como en el caso de la radiación ultravioleta solar debemos buscar la condición crítica de equilibrio en la limitación de intensidades que dependerá de cada rango de frecuencias.

Un dato a considerar con vista a elaborar un detallado análisis de los riesgos que permite estimar el estado actual del conocimiento de los fenómenos biológicos es el que se refiere a las intensidades de campo magnético asociado a la transmisión de la energía en forma eléctrica. Los campos eléctricos generados por los conductores que forman las líneas de transmisión son de 50 Hz. El campo magnético que existe debajo de una línea normal nunca supera los 20 microteslas. El campo magnético continuo en el que nosotros nacemos y vivimos oscila de un punto a otro de la superficie de la Tierra, pero es del orden de 50 microteslas. El campo magnético que actúa sobre un paciente en un experimento de Resonancia Magnética Nuclear es de cuatro millones de microteslas ó cuatro teslas.

## 3. Estudios experimentales sobre los efectos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia relevantes para la salud

### 3.1 Literatura básica

La presente sección tiene por objeto dar una visión general y escueta de los avances recientes en estudios experimentales. A tal fin, se ha acordado reducir las referencias a artículos concretos y, en su lugar, dirigir al lector a trabajos de revisión realizados por comités nacionales o internacionales. En estos trabajos, que se enumeran a continuación y que son de acceso inmediato a través de INTERNET, aparecen las referencias de los artículos consultados para la elaboración del presente texto:

[SCENIHR-2007] The European Commission's Scientific Committee on Emerging & Newly Identified Health Risks (SCENIHR). Report on Possible effects of Electromagnetic (EMF) on Human Health (2007).

[HCNL-2007] Health Council of the Netherlands Electromagnetic Fields Annual Update 2006 (February 2007).

[DCMNR-2007] Irish Government's Expert Group on Health Effects of Electromagnetic Fields Report (2007).

[SSI-2008] Swedish Radiation Protection Authority's Independent Expert Group's: Report on Electromagnetic Fields (2008).

[IET-2008] Institute of Engineering and Technology (IET): Position Statement on the Possible

Harmful Biological Effects of Low-Level Electromagnetic Fields of Frequencies up to 300 GHz (2008).

[USNC-2008] US National Cancer Institute factsheet on Cellular Telephone Use and Cancer Risk (2008).

[MTHR-2007] "Mobile Telecommunications and Health Research Programme, MTHR (2007).

### 3.2 Estudios *in vitro*

En la investigación sobre los potenciales efectos biomédicos de radiaciones de RF, los estudios sobre cultivos de tejidos o células, humanas o de animales, transformadas o no, son de elevado interés, pues representan modelos, generalmente bien descritos, en los que el control de las condiciones de exposición y experimentación es significativamente mayor que en animales vivos o en voluntarios humanos. Por su relativa simplicidad, los modelos *in vitro* son idóneos para la investigación de los mecanismos básicos de los bio-efectos de agentes físicos como las radiaciones de RF. Sin embargo, esa misma simplicidad representa una limitación seria a la hora de obtener, a partir de una determinada respuesta celular, conclusiones sobre la potencial relevancia, en términos de seguridad y salud, del efecto observado experimentalmente.



### 3.2.1 Resultados recientes sobre efectos genotóxicos de señales de radiofrecuencia

La variabilidad de resultados experimentales sobre modelos *in vitro* o en cultivos celulares es grande, ya que el número de estirpes celulares utilizadas, de variables medidas y de condiciones experimentales es muy elevado.

Dado que la energía de fotón de las radiaciones de RF es demasiado débil para romper uniones químicas, se viene aceptando que estas radiaciones no dañan directamente la molécula de ADN. Así lo muestran diversos estudios pasados y recientes. Sin embargo, se especula sobre la posibilidad de que esas radiaciones pudieran ejercer efectos genotóxicos indirectos, por ejemplo, alterando los mecanismos celulares de reparación del ADN dañado por otros agentes. En su mayoría, estos estudios no buscan efectos oncogénicos directos, sino alteraciones del metabolismo celular relacionadas con la exposición a campos electromagnéticos.

Así, algunos datos experimentales obtenidos dentro del proyecto REFLEX mostraron indicios de roturas en el ADN tras exposición a niveles teóricamente subtérmicos de señales con frecuencias típicas de telefonía móvil [REFLEX-2004]. Sin embargo, los intentos posteriores de replicar esos resultados han sido escasos y no han permitido confirmar el efecto, por lo que se considera aconsejable ampliar la investigación en este punto.

En un reciente estudio *in vitro* sobre cultivos de fibroblastos y linfocitos humanos [Schwarz-2008] los autores no observan efectos en el caso de linfocitos pero sí un aumento del daño sobre el ADN de fibroblastos, con existencia de relación dosis-respuesta. Sin embargo, este artículo ha dado lugar a

cierta polémica, a través de una carta al director de la revista criticando la metodología estadística seguida. Dado lo reciente de la publicación, lo más prudente es esperar para valorar debidamente esta contribución.

Otro artículo muy reciente presenta resultados en parte contradictorios con el anterior, al observar un efecto sobre la reparación de ADN en linfocitos humanos [Belyaev-2008]. El estudio se efectuó sobre una muestra muy pequeña (10 voluntarios y 10 personas que reportaban hipersensibilidad a los campos EM), y refiere los efectos encontrados a algunos pacientes, sin encontrar diferencias entre ambos subgrupos. Nuevamente, para confirmar este ensayo y esclarecer las discrepancias con otros estudios se hace necesario replicar estos resultados con muestras más numerosas.

Los resultados *in vitro* tienden, en general, a presentar efectos biológicos sobre diferentes funciones celulares, cuya interpretación es compleja y cuya posible repercusión nociva no está bien esclarecida.

### 3.2.2 Efectos no genotóxicos de las señales de radiofrecuencia

También se ha venido investigando la posible acción de las señales de RF en otros fenómenos que, sin ser genotóxicos, pudieran ejercer una influencia en procesos tumorales ya iniciados. Entre otros factores, se han estudiado alteraciones en la tasa de apoptosis, o muerte celular programada, en la modulación de la regulación génica, en la cinética del ciclo celular, en marcadores de estrés celular, como las proteínas de choque térmico, en la actividad de células del sistema inmune y en los niveles de radicales libres potencialmente capaces de interaccionar con el ADN. Tomado en su conjunto, el bloque de resultados ha proporcionado escasa

evidencia de efectos subtérmicos de señales de RF, que se considere relevante en materia de salud (véanse las referencias indicadas en 3.1). Sin embargo, algunos estudios han mostrado indicios de cambios en la expresión génica en células expuestas a niveles de RF próximos a los límites propuestos por las regulaciones internacionales para la protección ante ese tipo de señales. En caso de ser confirmados, estos resultados supondrían un avance importante en la comprensión de los mecanismos de interacción de las RF con los tejidos vivos. En cuanto a su relevancia desde el punto de vista de la salud, esta solo podría ser determinada en conjunción con información complementaria, obtenida de estudios *in vivo* y en humanos.

### 3.3 Estudios *in vivo*

En principio, los resultados obtenidos de estudios en animales, generalmente ratas y ratones de laboratorio, permiten la obtención de conclusiones sobre la respuesta de organismos complejos superiores a agentes ambientales físicos o químicos. En términos generales, la relevancia de estas conclusiones en la valoración de los efectos de un agente sobre la salud, tendría mayor peso que el correspondiente a las conclusiones de los estudios *in vitro*. En contrapartida, el control de las condiciones experimentales y de los niveles de exposición es significativamente más complejo e incierto que en la investigación con biosistemas celulares. Además, las características propias de las especies de uso experimental y sus diferencias anatómicas y genéticas con los humanos, hacen que, en muchos casos, las respuestas obtenidas en animales no puedan ser extrapoladas directamente a humanos.

#### 3.3.1 Efectos carcinógenos de señales de radiofrecuencia: relación exposición-cáncer

Desde el punto de vista metodológico, un aspecto esencial a tener en cuenta es la existencia de una relación dosis-respuesta. Una mayor frecuencia o intensidad de los efectos a mayores exposiciones aboga en favor de la existencia de posible efecto real, ya que éste es el comportamiento de todos los factores conocidos (químicos, radiaciones ionizantes, etc.). Por el contrario, los llamados “efectos ventana”, donde los efectos sólo se observan para ciertos niveles de exposición, sin una relación clara con lo que sucede a mayores o menores dosis, hablan a favor de que la observación sea un mero fruto del azar. Este “efecto ventana” también se detecta con frecuencia en estudios epidemiológicos, en los que los efectos sólo se describen en subgrupos de la muestra estudiada. Caso típico es la descripción de efectos (pequeños, en general) sólo en ciertos rangos de edad o en subgrupos poblacionales (por ejemplo, mujeres o enfermos con algunas patologías previas), sin que el estudio estuviera diseñado inicialmente para buscar efectos en dichos subgrupos. Esto conduce a una bien conocida falacia estadística (denominada “comparaciones múltiples”) por la cual, para los niveles habituales de certeza utilizados ( $p < 0.05$ , véase el apartado 4.2), al menos una de cada veinte comparaciones arrojará resultados falsamente positivos. Descartar el carácter espurio de estos resultados exige la replicación de los mismos en nuevos ensayos dirigidos específicamente a las subpoblaciones bajo sospecha.

Es un error analizar la literatura científica al respecto en términos meramente contables, como “número de trabajos que encuentran algún efecto” frente a “número de trabajos que no encuentran efectos”. Este enfoque dificulta extraordinariamente la



posibilidad de alcanzar conclusiones, ya que el paso del tiempo no hace sino añadir más artículos a cada categoría, de forma desestructurada.

Una valoración correcta de estas contribuciones científicas exige, en primer lugar, analizar con detalle la metodología utilizada, ya que no todas las contribuciones ofrecen la misma calidad y cuidado en su ejecución. En general, se observa una tendencia temporal, en el sentido de que las más recientes suelen ser más fiables, ya que las revistas de prestigio aceptan cada vez más difícilmente trabajos de factura poco cuidada. En todo caso, siempre es recomendable ponderar las conclusiones según la calidad del trabajo y reinterpretar los estudios previos a la luz de las nuevas evidencias, cada vez más rigurosas. La replicación de los resultados anteriores confiere mayor fiabilidad a los mismos, mientras que en ocasiones nos encontramos frente a trabajos que constituyen sólidas refutaciones de experimentos anteriores, por lo que estos últimos deberían ser desechados y en gran medida ignorados en análisis posteriores.

Recientemente se han venido realizando dos tipos generales de estudios. En un primer grupo se han investigado los posibles efectos cancerígenos de radiaciones de RF, exclusivamente, aplicadas a animales, normales o genéticamente predispuestos a desarrollar determinados tipos de cáncer. En el segundo grupo de estudios, los campos de RF eran aplicados sobre animales pre-tratados con cancerígenos químicos o físicos. El conjunto de estos dos tipos de estudios no ha revelado indicios consistentes de una acción cancerígena de exposiciones débiles, dentro de los límites de seguridad propuestos por las regulaciones internacionales.

Sin embargo, como ya se ha mencionado, la mayoría de los estudios presentan limitaciones metodológicas

en cuanto al tipo limitado de parámetros de exposición empleada y/o al protocolo de uso de agentes co-cancerígenos.

En este sentido, es muy ilustrativo lo sucedido con varios trabajos relativos al posible efecto carcinógeno de la exposición a radiofrecuencias correspondientes a la banda GSM-900 de TM en ratones transgénicos tipo E $\mu$ -Pim1, cepa especialmente proclive a desarrollar tumores (linfomas).

El primer trabajo sobre este tipo de ratones, publicado en 1997 [Repacholi-1997], presentó resultados estadísticamente significativos en cuanto a un aumento de incidencia de linfoma en los ratones expuestos a RF de 900 MHz (banda GSM). El estudio presentaba varias deficiencias en cuanto a la dosimetría y diseño experimental, que aconsejaban claramente confirmar los resultados. Una primera replicación cinco años después [Utteridge-2002] mejorando el control dosimétrico del primer estudio, concluyó la no existencia de aumento significativo de linfomas tras una exposición de dos años (frente a 18 meses del estudio anterior). Sin embargo, este segundo estudio presentaba otras diferencias respecto al primero, como por ejemplo, utilizar ratones de diferente origen y usar distinto protocolo de exposición, razón por la cual generó bastante polémica y no permitió refutar sólidamente los resultados iniciales como pretendían sus autores.

En esta situación de “resultados contradictorios”, tan frecuente en ese campo, se ha publicado recientemente otro trabajo [Oberto-2007] que ahora ha replicado exactamente el planteamiento inicial, aunque con un tamaño muestral mayor y un mejor control de las condiciones dosimétricas. Este estudio no ha encontrado incrementos en la aparición de tumores en los grupos expuestos a RF, ni ninguna relación dosis-respuesta para tumores ni otros efectos no oncológicos, por lo que bien podría

considerarse como la primera refutación sólida del estudio inicial. Como podemos ver, la elevada variabilidad biológica acompañada de una notable variabilidad metodológica dificulta la extracción de conclusiones, pero estudios cada vez más cuidadosos van permitiendo aumentar la evidencia en favor de la hipótesis de ausencia de efectos oncogénicos de las RF a las dosis estudiadas.

El estudio *in vivo* más amplio, finalizado en 2007, es el proyecto multinacional PERFORM A: “*In vivo Research on Possible Health Effects of the Use of Mobile Telephones and Base Stations (Carcinogenicity Studies in Rats and Mice)*” [PERFORMA-2007]. El Proyecto integraba cuatro subproyectos que empleaban modelos experimentales distintos (PERFORM A1 – A4). Los animales, ratas o ratones, fueron sometidos durante periodos largos (hasta 24 meses, 5 días por semana) a exposiciones cortas (2 h/día) a señales típicas de telefonía móvil. Durante los periodos de exposición, los animales eran embutidos en contenedores de plástico que restringían completamente la movilidad de los especímenes. La inmovilización tenía por objeto conseguir una homogeneidad en la exposición y facilitar los cálculos de dosimetría numérica. La conclusión general del Proyecto es que “tres de los cuatro estudios no revelaron evidencias de que la exposición tuviera efectos sobre la incidencia o severidad de las condiciones neoplásicas o no neoplásicas. Solamente se observó un efecto frontera en el estudio (PERFORM-A3) que investigó los efectos (de las RF) sobre la respuesta de tumores mamarios inducidos con DMBA (un potente carcinógeno). En cualquier caso, también los resultados del proyecto PERFORM-A están sujetos a crítica en su conjunto, dado que la restricción de movimientos durante el experimento podría generar en los animales unos niveles de estrés capaces de influir por sí solos en algunos de los parámetros

biológicos investigados. Así lo han revelado algunos resultados del estudio, que mostraron diferencias significativas entre los animales con movilidad restringida y sus controles, enjaulados, pero con libertad de movimientos.

Con respecto a los resultados del subproyecto PERFORM A3 ya mencionado, los participantes han publicado los resultados de su cuidadoso estudio dirigido a estudiar la progresión del cáncer de mama inducido por DMBA en función de la exposición a RF similares a las de la telefonía móvil, a 3 diferentes dosis, durante 6 meses [Hruby-2008]. No se encontró diferencia de supervivencia, aunque sí un mayor número de tumores en el grupo expuestos a máxima dosis de RF frente al grupo con exposición simulada, aunque sin observarse relación dosis-respuesta. Este resultado es, como indican los autores, de dudosa interpretación, sobre todo en tanto que el grupo de ratas control dejadas en sus jaulas presentó una tasa de tumores similar a la observada en los animales expuestos con máxima dosis. Este estudio constituye un replicado de otro similar (algo peor controlado) efectuado en 2006 [Yu-2006], que no encontró ningún efecto de las RF. Los autores concluyen que las pequeñas diferencias observadas (discrepantes con el estudio previo) son fruto de la elevada variabilidad biológica del modelo utilizado, y que sigue sin observarse un efecto de la RF en la progresión de los tumores.

Otros estudios recientes [Sommer-2007] tampoco han encontrado incrementos en la aparición de linfomas en ratones de la cepa AKR/J (que desarrollan linfomas espontáneamente) cuando se les somete a emisiones RF tipo telefonía móvil UMTS, conformando hallazgos previos del mismo grupo [Sommer-2004].

Los estudios programados para el futuro están diseñados para evitar las citadas carencias

metodológicas, que vienen limitando el alcance de las conclusiones de los trabajos *in vivo*.

### 3.3.2 Efectos sobre el sistema nervioso

Algunos estudios previos que mostraban efectos de RF no térmicos sobre el aprendizaje y la memoria de animales no han podido ser corroborados en trabajos más recientes. Sí existe un bloque más amplio de evidencia sobre cambios sutiles en la actividad electroencefalográfica (EEG) y en neurotransmisores no ligados a alteraciones en la funcionalidad auditiva, en especímenes expuestos a señales de RF de baja tasa de absorción específica (Specific Absorption Rate, SAR). Si bien este tipo de efecto no ha sido encontrado en otros estudios *in vivo*, los cambios detectados en el EEG de animales serían en parte coherentes con respuestas electroencefalográficas observadas en estudios sobre voluntarios.

### 3.3.3 Efectos sobre el desarrollo

De los diversos estudios sobre efectos de campos de RF en el desarrollo de vertebrados superiores (aves y mamíferos, principalmente), no se ha obtenido evidencia consistente de efectos teratógenos inducidos por exposiciones a niveles no térmicos. Sin embargo, el conocimiento sobre potenciales efectos de exposiciones prenatales sobre el desarrollo postnatal es todavía insuficiente.

## 3.4 Estudios en voluntarios

### 3.4.1 Efectos sobre el sistema nervioso en voluntarios sanos

Aunque los resultados no son coincidentes en todos los estudios, sí existe un bloque de evidencias de efectos sutiles y transitorios en el patrón

electroencefalográfico, en la estructura del sueño o en algunos procesos cognitivos en voluntarios expuestos experimentalmente a señales de RF de telefonía en ambientes controlados de laboratorio. No se han encontrado indicios de que tales respuestas estuvieran mediadas por una acción de los campos de radiofrecuencias sobre la funcionalidad del sistema auditivo. La evidencia acumulada no es indicativa de que los efectos transitorios descritos, cuyo origen no está bien definido todavía, influyan directamente sobre el comportamiento o la memoria, o sean susceptibles de desencadenar patologías.

### 3.4.2 Estudios sobre Hipersensibilidad Electromagnética Percibida

Algunas personas afirman sentirse aquejadas de un conjunto de síntomas inespecíficos, que incluyen dolor de cabeza, desorientación, mareo, fatiga o insomnio, cuando se ven expuestas a señales de RF en ambientes residenciales, públicos u ocupacionales. Como esta sintomatología es autorreferida o percibida y solo se presenta en una fracción reducida de la población, es conocida como síndrome de hipersensibilidad electromagnética percibida (HEP).

El hecho de que no se conozcan los posibles mecanismos biológicos para esta hipersensibilidad no autoriza a descartar a priori su existencia. Esto sólo podrá realizarse mediante ensayos bien controlados para detectar la existencia de dicha hipersensibilidad, cuyo mecanismo (en caso de existir) podrá ser dilucidado posteriormente.

Los estudios tendentes a identificar la existencia real de individuos capaces de detectar o reaccionar ante bajas intensidades de campos EM son muy relevantes científicamente, pues en caso de demostrarse este efecto, constituiría una indicación

de la existencia de algún mecanismo biológico, por ahora desconocido.

Los estudios experimentales en esta materia son denominados de “provocación”, ya que se trata de provocar en el sujeto una respuesta ante exposiciones de RF en ambientes controlados de laboratorio. El conjunto limitado de estudios de provocación en voluntarios sanos expuestos a señales de RF con potencias típicas de telefonía no ha proporcionado pruebas consistentes de provocación de los síntomas típicos de la HEP, ni de una capacidad en los sujetos para discriminar entre los periodos de exposición y las fases de control, cuando la señal era suprimida.

Algunos estudios previos habían revelado indicios de provocación de respuesta en pacientes con HEP tras la exposición a señales de telefonía GSM o UMTS. Sin embargo, los resultados de investigaciones más recientes, utilizando protocolos más avanzados y en condiciones mejor controladas, no han respaldado las conclusiones de los primeros trabajos. En el presente se considera que, aunque los síntomas de la HEP son reales y pueden llegar a ser severos, no se ha conseguido establecer una relación causal entre esos síntomas y la exposición a señales de RF de telefonía. Sin embargo, el número de estudios que han investigado el problema es escaso y es necesario ampliar el conocimiento sobre las causas y condiciones inductoras de la HEP.

Respecto a este asunto, se ha publicado una excelente revisión en 2008 [Röösli-2008] sobre la posible existencia de individuos hipersensibles a los campos EM, y sobre la posible mayor frecuencia de síntomas en estos individuos. De la revisión realizada en este artículo se desprende que no hay evidencia sobre la existencia de dicha hipersensibilidad en aquellos colectivos de individuos que afirman poseerla, cuando se estudia en condiciones de doble

ciego. Sin embargo, estas personas sí presentaron una tasa de falsas alarmas muy superior a la del grupo control. En caso de existir tal hipersensibilidad, sólo afectaría a un número de personas mucho menor, y seguramente sin relación alguna con su percepción subjetiva. La existencia de esta minoría es muy difícil de demostrar y constituye una tarea de investigación pendiente.

Respecto a la existencia de síntomas derivados de exposiciones a RF procedente de móviles o estaciones base, y a partir de la revisión de once estudios prospectivos aleatorizados (véase la definición en el apartado 4.1), se comprueba que sólo uno reportó la existencia de una asociación entre la aparición de síntomas y la exposición a RF, que desapareció al controlar estadísticamente un desbalance en el orden de presentación de las estímulos. En el conjunto de los estudios, no se observa relación significativa entre la sintomatología inespecífica referida por los sujetos y la exposición a campos EM, pero sí se demuestra la existencia de un marcado efecto nocebo.

Al igual que por causa del efecto placebo (“doy placer”, en latín) los pacientes pueden experimentar mejorías por el mero hecho de creer que están siendo tratados, mediante el efecto nocebo (“doy dolor”, en latín) un sujeto que se sabe expuesto a un estímulo posiblemente nocivo (emisiones RF, en nuestro caso) puede experimentar efectos negativos objetivables, pero no por ello achacables al estímulo utilizado. En algún caso, se han llegado a reportar reacciones graves en individuos sometidos a exposición simulada [Rubin-2006], lo que demuestra la distorsionada percepción de realidad con que los sujetos experimentan la sintomatología derivada de un efecto nocebo. Por ello, el carácter ciego de estos ensayos es esencial, ya que es la mejor manera de controlar la posible existencia de dicho efecto nocebo.

Es interesante constatar que, a diferencia de lo que ocurre con los ensayos aleatorizados y prospectivos antes descritos, muchos estudios observacionales sí han descrito asociaciones entre síntomas y exposición a RF, y es de gran interés analizar las causas de esta notable discrepancia metodológica. Posibles razones en favor de los estudios observacionales podrían ser la habitualmente mayor duración de la exposición, o el menor tamaño muestral de los estudios aleatorizados, que dificultaría la detección estadística de diferencias (si bien los efectos nocebo se detectan perfectamente). Los principales argumentos en contra de los estudios observacionales son la dificultad para caracterizar objetivamente el nivel de exposición y, sobre todo, la elevada posibilidad de sesgos epidemiológicos (de información o de selección), así como al efecto nocebo, al tratarse de ensayos no ciegos. En cualquier caso, es interesante destacar que en ensayos médicos de otros tipos (prueba de nuevos fármacos, etc.) la superioridad de los ensayos aleatorizados frente a los estudios observacionales es abrumadora y universalmente aceptada, razón por la que sería muy deseable que los recursos dedicados a la investigación de los efectos de los campos EM se dirigiera preferentemente hacia estudios aleatorizados.

causada por transmisión del calor producido por el funcionamiento eléctrico del teléfono.

### **3.4.3 Efectos sobre la presión sanguínea**

El número limitado de estudios ejecutados durante los últimos años no ha proporcionado resultados consistentes que respalden suficientemente observaciones previas de caídas en la presión sanguínea de voluntarios sanos expuestos a señales de telefonía móvil. Sin embargo, sí se han constatado incrementos en el flujo sanguíneo en el oído externo de voluntarios expuestos. Se interpreta que este efecto sería debido a una vasodilatación local

## 4. Estudios epidemiológicos

Hay preocupación por dos grandes tipos de posibles efectos, los que conducirían a enfermedades muy graves, como el cáncer, y los que se reflejan en un cierto malestar derivados de síntomas inespecíficos (dolor de cabeza, ...).

La investigación epidemiológica de este tipo de fenómenos es muy difícil y conlleva un elevado coste económico y lentitud para el desarrollo de los estudios. Los estudios retrospectivos (denominados “caso-control”) son los más frecuentes, por su sencillez y bajo coste, pero están muy expuestos a diferentes tipos de sesgos, por lo que su fiabilidad es bastante limitada, a no ser que se repliquen los resultados de forma independiente en otros estudios.

El otro tipo de estudio epidemiológico es el prospectivo (denominado “de cohortes”), donde un determinado grupo se sigue a lo largo del tiempo. Su solidez metodológica es notablemente mayor, aunque a un coste y tiempo de ejecución mucho más elevados. Por ello es de especial interés seguir los resultados de los estudios de este tipo que se vienen desarrollando entre ellos, el estudio INTERPHONE, que es un proyecto de investigación epidemiológica (estudio casos-control) en el que han participado 13 países con una metodología común, y cuyos resultados globales se espera que se publiquen a principios de 2009.

***Para facilitar al lector no especializado en el tema la lectura de éste, y otros documentos, se ha incluido una sección inicial con la terminología utilizada en epidemiología (apartados 4.1, 4.2 y 4.3). El lector***

***interesado en conocer los últimos resultados obtenidos puede dirigirse al apartado 4.4.***

### 4.1 Los estudios epidemiológicos: algunas definiciones

Puede definirse la epidemiología como aquella disciplina científica que estudia la distribución y los factores determinantes de los estados de salud en poblaciones humanas, así como la aplicación de técnicas para su control. En el contexto que nos ocupa, los efectos biológicos de las emisiones electromagnéticas, los estudios epidemiológicos ocupan un lugar preponderante. El otro abordaje posible de este campo es a través de métodos experimentales, bien *in vitro*, con animales o incluso con humanos. Los métodos experimentales ofrecen la ventaja de poder explicar los mecanismos de los posibles efectos detectados. El abordaje epidemiológico carece de esta capacidad explicativa, pero puede resultar enormemente más sensible en cuanto a la detección pequeños efectos o a la localización de subpoblaciones especialmente afectadas.

Los estudios epidemiológicos suelen hacer uso de una terminología muy específica, que conviene conocer con precisión para entender mejor y poder valorar sus resultados. Se denomina **evento** a una situación cuya aparición se está estudiando. Puede ser un evento favorable, como en el caso de estudios para determinar la eficacia de un medicamento (curación o mejoría), o adverso (muerte o aparición de alguna enfermedad).



Se denomina **factor de riesgo** a cualquier circunstancia cuya existencia aumenta la probabilidad de aparición de un evento adverso. Se dice que aquellos individuos en los que concurre dicha circunstancia están expuestos. Esta **exposición** puede ser dicotómica (sí o no) o graduada, en cuyo caso es de gran importancia medir con exactitud el grado de exposición de los sujetos del estudio. Esta última situación es característica de los estudios sobre efectos de las emisiones de radiofrecuencia, ya que la dosis recibida por cada individuo puede ser diferente.

EL parámetro más habitual para medir el grado de asociación entre un factor de riesgo y un evento por él condicionado, es la denominada "**odds ratio**' (**OR**)". Representa cuántas más veces es probable que ocurra el evento en presencia del factor de riesgo que sin él. Un valor de 1 significa que el factor no influye en el desenlace, valores menores a 1 quieren decir que el factor tendría carácter protector. Es frecuente (y muy necesario) dar también el intervalo de confianza al 95%. Si este intervalo incluye el valor 1, entonces el factor no representa un efecto estadísticamente significativo, equivale a una  $p > 0.05$  (véase más abajo).

Hay una gran variedad de posibles diseños de estudio epidemiológico. Algunos de ellos son meramente **descriptivos**, pero otros, denominados **analíticos**, intentan esclarecer la existencia de asociaciones entre factores de riesgo y la aparición de determinados eventos. Sin entrar en muchos detalles, podemos decir que la epidemiología analítica utiliza tres tipos básicos de estudios: caso-control, de cohortes y ensayos clínicos aleatorizados.

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.

En un **estudio de cohortes**, por el contrario, 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.

Por último, se llama **ensayo clínico aleatorizado** a un tipo de estudio en el que los sujetos son sometidos al factor de riesgo de modo controlado por el investigador, decidiendo de modo totalmente aleatorio qué individuos estarán expuestos o quienes no. Adicionalmente, el estudio se denomina **ciego** si el paciente no sabe si está expuesto o no, y  **doble ciego** si tampoco lo sabe el propio investigador hasta el momento de analizar los resultados. Los ensayos aleatorizados son siempre prospectivos.

Aunque los estudios caso-control y de cohortes pueden parecer similares, hay grandes diferencias metodológicas y de fiabilidad entre ellos. Los estudios caso-control son necesariamente retrospectivos, ya que partimos del conocimiento de la ocurrencia del evento. Esta circunstancia los hace generalmente más fáciles de abordar, partiendo por ejemplo de bases de datos hospitalarias, pero los hace también menos fiables, debido a su facilidad para presentar sesgos epidemiológicos. Se llaman así a aquellas circunstancias que originan un error sistemático en el resultado, debido fundamentalmente a problemas con la recogida de datos y criterios de selección de controles. Más adelante se detallan algunos tipos de sesgo comunes. Los estudios de cohortes, por su parte, son

habitualmente prospectivos ya que el equipo investigador sigue de cerca la evolución de los pacientes. Esto los hace más inmunes a la existencia de sesgos y, por tanto, más fiables. Desgraciadamente, su ejecución resulta mucho más compleja y costosa, y suelen requerir de mucho tiempo antes de poder generar resultados. Respecto a los ensayos aleatorizados, debemos decir que son los que presentan la máxima fiabilidad (en particular si son doble ciego), pero también el mayor coste de ejecución, estando esta última no exenta a veces de problemas éticos.

De cara a realizar una apreciación crítica de los resultados aportados por diferentes estudios epidemiológicos, resulta de la mayor importancia comprobar si son de uno u otro tipo. Afortunadamente, con el paso del tiempo es cada vez más frecuente encontrar estudios de cohortes prospectivos, a veces de gran tamaño, cuyas conclusiones deberían reemplazar las apuntadas por pequeños estudios previos de tipo caso-control. La opción de contabilizar numéricamente los diferentes trabajos como “a favor” o “en contra” que han seguido algunas revisiones (véase más adelante) resulta simplista y no conduce a un avance del conocimiento, sino a una confusión que crece sin límites. Un estudio moderno, prospectivo y bien realizado debería reemplazar y sumir en el olvido a un gran número de trabajos previos, realizados con metodología proclive a errores, como pueden ser ensayos caso-control poco meticulosos o estudios meramente descriptivos.

Los ensayos aleatorizados proporcionan la máxima fiabilidad, como hemos indicado anteriormente, hasta el punto de que hoy en día es impensable introducir un nuevo medicamento en la clínica hasta que uno o más ensayos aleatorizados han demostrado su eficacia. Sin embargo, en el ámbito del estudio del efecto de los campos

electromagnéticos este tipo de diseño es bastante infrecuente, debido a la enorme dificultad de mantener y controlar exposiciones prolongadas, a veces de varios años. Los pocos que encontramos en la literatura ofrecen resultados de gran fiabilidad, pero normalmente limitados a pequeñas muestras y limitados a tiempos cortos de exposición.

## 4.2 Problemas de los estudios epidemiológicos: sesgo y confusión, comparaciones múltiples

### 4.2.1 Sesgos

Los estudios epidemiológicos pueden ser bastante proclives a arrojar resultados erróneos si su diseño no ha sido muy cuidadoso. Se llama **sesgo** la existencia de un error sistemático derivado de deficiencias metodológicas en el estudio, normalmente concernientes a la selección de participantes o a la recogida de los datos relativos a la exposición o existencia de eventos. Como consecuencia de estos sesgos, los resultados obtenidos no reflejan la realidad. Es importante destacar que un sesgo es consecuencia de un error sistemático metodológico, y no de la simple variabilidad de los datos, o error de muestreo. Los sesgos más habituales son los indicados a continuación.

El **sesgo de selección** (muy típico de los estudios caso-control) se produce cuando los individuos de la población analizada tienen diferentes probabilidades de ser reclutados en función de su grado de exposición o de la presentación del evento. Por ejemplo, es frecuente que los individuos enfermos y expuestos tengan mayor probabilidad de inclusión, bien sea porque la consciencia de sus circunstancias les anime a reclamar atención médica, o porque para



el investigador sea más fácil identificar y acceder a esa subpoblación. Esta falta de aleatoriedad en el muestreo se transmite a los resultados estadísticos, falseándolos. Es por ello fundamental para valorar un trabajo el analizar detenidamente los procedimientos de muestreo y reclutamiento de participantes utilizados, que por desgracia no siempre aseguran la ausencia de sesgo de selección.

El **sesgo de información** resulta de una tendencia sistemática de los individuos participantes para ser clasificados en categorías erróneas de exposición o desenlace. Hay diferentes variantes de este sesgo. Una variante bastante característica en los estudios de efectos de campos electromagnéticos es el **sesgo de recuerdo**, que aparece cuando los casos y controles difieren en su apreciación del grado de exposición en el pasado. Es frecuente, por ejemplo, que los casos (enfermos) crean haber sufrido mayores grados de exposición que los controles, aunque la situación objetiva de ambos sea la misma. De nuevo, el peligro de este sesgo es mucho mayor en estudios caso-control. Otra variante es el llamado **sesgo del entrevistador**, similar al anterior pero debido a que el investigador, no ciego a la existencia de enfermedad, haga distinto énfasis (de modo consciente o no) en las preguntas dirigidas a casos o a controles.

#### 4.2.2 Confusión

Se denomina **confusión** a la observación de una asociación entre dos variables que no deriva de ninguna relación causal, sino de la influencia de una tercera variable (confusora) asociada con las dos primeras. Este fenómeno es fácil de entender con un ejemplo ligado al campo que nos ocupa: analizando datos de distintas ciudades, siempre encontraremos una fuerte asociación estadística entre el número de antenas de telefonía y el número de cánceres de cualquier tipo. Pero ello no dice nada sobre el efecto

de la radiofrecuencia, la asociación proviene del efecto indirecto de una variable confusora que es el tamaño de la ciudad. Cualquier otra circunstancia ligada al tamaño de la población, tal como el volumen de bebidas refrescantes consumidas, o el número de iglesias, parecería igualmente relacionada con el número de cánceres por efecto de la confusión con el tamaño de la ciudad.

Como vemos, la confusión no deriva de una incorrecta ejecución del estudio, como es el caso de los sesgos, sino de haber sido incapaz de imaginar la existencia de alguna posible variable de confusión. Todos los tipos de estudio epidemiológico son igualmente susceptibles de sufrir este problema. Asegurar que una aparente relación observada sea real y no fruto de un problema de confusión es un ejercicio de sentido común y de experiencia para imaginar posibles factores confusores. En todo caso, el mejor apoyo para la existencia de una asociación detectada mediante estudios epidemiológicos sería la confirmación de su mecanismo causal mediante estudios experimentales.

#### 4.2.3 Comparaciones múltiples

La última fuente de dificultades que vamos a tratar en este breve repaso epidemiológico es la derivada del problema de las **comparaciones múltiples**. En el razonamiento estadístico clásico, el resultado de un test se expresa como un valor llamado " $p$ ", que intenta representar la probabilidad de que un resultado tan extremo o más que el que se haya encontrado sea fruto del azar. Es bastante habitual considerar que la  $p$  obtenida deba ser menor de un 5% (esto es,  $p < 0.05$ ) para aceptar que los resultados sugieran la existencia de algún efecto real. Aunque muchos estudios encuentran niveles de significación mejores que éste, pensemos que la cifra arbitrariamente elegida de  $p < 0.05$  resulta bastante condescendiente, pues acepta que uno de cada

veinte tests realizados resulte falsamente positivo. Nótese que hablamos de uno de cada veinte tests, no estudios, y que cada estudio puede incluir varios tests, por lo que el número de resultados reportados que pueden no ser sino fruto del simple azar puede ser bastante alto. Esta es la base del mencionado problema de las comparaciones múltiples. Existen algunas técnicas estadísticas para manejar este problema, pero muchos autores no las aplican, o no lo hacen rigurosamente; otra faceta de este problema, que linda con la ética profesional, es que los autores no confiesen cuántas pruebas han hecho antes de encontrar algún resultado significativo en alguna de las, a veces, muchísimas variables analizadas. Este planteamiento, conocido en inglés como “*data fishing*”, excursiones de pesca de datos, se facilita aún más cuando los sujetos del estudio se subagrupan en diferentes categorías, para las que se realizan tests independientes, multiplicando así aún más el número de comparaciones. Es crítico para valorar los resultados de un trabajo que esas comparaciones sobre subgrupos fueran planeadas inicialmente a priori, o hayan sido el resultado de excursiones de pesca. Sólo la ética de los investigadores nos resguarda de hacer pasar una cosa por otra.

### 4.3 Estudios descriptivos y conglomerados ('clusters')

Los estudios epidemiológicos descriptivos son de mucho menos interés en el campo que nos ocupa, y suelen centrarse en reportar situaciones de alta incidencia de eventos de algún tipo en las proximidades de emisoras de radiofrecuencia. La distribución temporal o geográfica de eventos epidemiológicos (distintos tipos de cáncer, molestias inespecíficas, etc.) es aleatoria. Ello no significa, a diferencia de lo que alguno ingenuamente podría pensar, que deba ser más o menos uniforme

temporal o espacialmente, sino todo lo contrario. Las distribuciones realmente aleatorias se caracterizan por la existencia de acúmulos de casos, denominados agrupaciones, racimos, conglomerados, o –más frecuentemente– por el término inglés ‘*clusters*’. Una falacia estadística bastante común deriva de calcular *a priori* la probabilidad de encontrar un acúmulo de cierto tamaño, y aplicarla mecánicamente hacia atrás para demostrar que dicha acumulación de casos “no puede ser aleatoria”. La probabilidad de encontrar este acúmulo, se dice, es de *1 en 1000*, o *1 en 10.000*, o cualquier otra cifra, con la intención de apoyar la existencia de alguna causa subyacente. Pero esta probabilidad se refiere a encontrar dicho acúmulo como resultado de un muestreo aleatorio, y no es aplicable si la selección se ha producido precisamente en función de su rareza y no de modo aleatorio. En cualquier caso, un principio de elemental prudencia nos aconseja no ignorar las observaciones de este tipo, ya que pese a todo podrían ser el primer indicio de algún problema. La actuación razonable, si el caso lo merece, es proceder a una investigación de posibles causas locales, y, en todo caso, remitirse a estudio epidemiológicos analíticos previos, o plantear alguno nuevo si fuera necesario.

### 4.4 Avances en los últimos dos años

Como ya hemos apuntado anteriormente, debemos felicitarnos porque la calidad media de los trabajos publicados más recientemente (en revistas científicas de prestigio, se entiende) crece de manera continuada. Es cada vez más difícil ver publicado un estudio con claras incorrecciones metodológicas, aunque las consecuencias de los sesgos y confusión antes explicados pueden ser sutiles y difíciles de detectar.

La determinación de los niveles de exposición en estudios epidemiológicos, que como hemos visto es una de las más importantes causas de sesgo, suele ser muy difícil en el caso de la exposición a campos electromagnéticos. Primero, por la abundancia de fuentes EM de todo tipo que dificultan una dosimetría objetiva, y, segundo, en relación con el uso del teléfono móvil, por la dificultad para recordar el uso que hacemos del mismo (sesgo de recuerdo) y por la casi imposibilidad de encontrar hoy en día controles no expuestos. En un estudio muy reciente [Söderqvist-2009] sobre 2000 adolescentes suecos, el uso del móvil asciende al 99,6% de la población encuestada, por lo que sería realmente difícil encontrar controles para un estudio. Es interesante que en este mismo trabajo se ha encontrado una asociación no muy intensa pero significativa entre el grado de uso del teléfono y la percepción por los participantes de síntomas inespecíficos, como cansancio, dolor de cabeza, ansiedad, problemas de sueño, etc. Una asociación similar ha sido también encontrada en otros trabajos recientes [Koivusilta-2007] y [Punamäki-2007]. Sin embargo, todos los autores coinciden en que esta observación sea probablemente fruto de un factor confusor, ya que el mayor uso del teléfono móvil también se asociaba con otras variables tales como clase social más baja, familia desestructurada o más tiempo dedicado a ver televisión. Como ya hemos indicado, una de las mejores maneras de descartar el efecto de factores confusores es el análisis del supuesto efecto mediante experimentos controlados. Los diversos ensayos aleatorios ciegos que se han realizado a este respecto no han podido comprobar ninguna influencia de la exposición a radiofrecuencias sobre los síntomas inespecíficos referidos por los participantes en los ensayos.

Una reciente revisión muy breve recientemente publicada [Hardell-2008] representa el punto de vista

de un grupo denominado “The Bioinitiative Report” [BioR-2007], cuyas conclusiones y propuestas son en gran medida contradictorias con las de la mayoría de los expertos en el campo. El citado artículo no constituye una revisión o meta-análisis formal, por su brevedad y escasez de referencias, sino que debe interpretarse como una cierta toma de postura en la cuestión. Para más detalles, el artículo refiere al lector al informe completo, consultable en la página web citada, pero no disponible en forma de artículo de revisión estructurado en alguna revista de prestigio (al menos en el momento de elaborar este informe). En el informe no se aportan nuevos trabajos o experimentos en el campo, sino que representa una interpretación de la evidencia disponible desde unos postulados “intelectualmente valientes”, según palabras de los autores, que difiere en gran medida de la interpretación más comúnmente aceptada, y que conduce a los autores a proponer una mayor restricción de los límites de dosis actualmente vigentes. Es probable y deseable que en breve plazo se pueda contar con artículos científicos que analicen dicho informe desde una perspectiva metodológica estricta. En todo caso, algunas conclusiones pueden ser fácilmente asumibles, como la necesidad de estudios de larga duración para comprobar posibles efectos a largo plazo y de más trabajos bien diseñados que puedan despejar algunas dudas remanentes en ciertas patologías poco estudiadas. Sin embargo, en nuestra interpretación de los datos, estudios antiguos posteriormente refutados con solidez deberían ser totalmente abandonados, cosa que no parece aceptar el ‘Bioinitiative Report’. El “Bioinitiative Report” ha sido cuestionado por diversos comités y grupos de expertos como el Consejo de Salud de los Países Bajos [HCNL-BioR-2008]. El CCARS suscribe la opinión dada por el mencionado Consejo de Salud. En la página web del CCARS se puede encontrar la traducción, realizada por el CCARS, del informe que

sobre el “Bioinitiative Report” ha elaborado el Health Council of the Netherlands [\[HCNL-ES-Bio-2008\]](#).

Dos ejemplos muy distintos de revisiones recientes se presentan a continuación. Una es un artículo que refleja las conclusiones de un taller de trabajo de la Organización Mundial de la Salud [\[Valberg-2007\]](#) donde se presenta una interesante tabla comparativa entre la energía depositada por teléfonos móviles y la derivada de la luz solar u otros instrumentos como bombillas u hornos de microondas, así como una revisión estructurada de los trabajos con diferentes orientaciones. La segunda revisión aborda los posibles efectos de los campos electromagnéticos en la infancia [\[Otto-2007\]](#). Este último artículo presenta una interesante y sistemática puesta al día del tema, así como una clasificación de las diferentes medidas de precaución al uso, según el grado de evidencia científica que las apoya. En su conjunto, se indica la inexistencia de trabajos que demuestren un aumento de riesgo relacionado con la exposición a RF.

Probablemente, la contribución científica más importante en estos últimos dos años ha sido el estudio INTERPHONE, que será tratado en más detalle a continuación. El estudio INTERPHONE es claro ejemplo de un trabajo de moderna factura, bien diseñado, de gran volumen y multinacional. Aunque se basa en un modelo caso-control, siempre proclive a presentar sesgos, los autores han tenido especial cuidado en tratar de controlar en lo posible todas las fuentes de sesgo. La comunidad científica espera con interés la presentación completa de resultados, prevista para principios de 2009, aunque varios resultados parciales por países ya han aparecido. Hasta el momento ninguno de estos artículos ha reportado resultados positivos en cuanto a la asociación de la exposición RF con ninguno de los tipos de tumor incluidos en el estudio: neurinoma del

acústico, glioma, meningioma y tumores de parótida (este último sólo en algunos países).

#### 4.4.1 Estaciones base.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) evaluó los efectos de los campos electromagnéticos en su nota descriptiva de 2006 [\[OMS-2006\]](#) y concluyó que:

*“Teniendo en cuenta los muy bajos niveles de exposición y los resultados de investigaciones reunidos hasta el momento, no hay ninguna prueba científica convincente de que las débiles señales de RF procedentes de las estaciones de base y de las redes inalámbricas tengan efectos adversos en la salud”*

Como ya se ha mencionado, llevar a cabo estudios epidemiológicos sobre la exposición a los campos electromagnéticos que emiten las antenas de telefonía móvil y sus efectos sobre la salud no es un tarea fácil ya que existen múltiples emisores de CEM de RF (antenas de TV, radiodifusión AM-FM, TETRA (Terrestrial Trunked Radio), emergencias, radar, etc.), aparte de las ya mencionadas estaciones base de TM. En relación con la exposición a los CEM emitidos por las antenas de TM, parece lógico esperar que no haya consecuencias para la salud debido a que la intensidad de la exposición es extremadamente baja. Además, la exposición a los CEM derivados de la TM tiene un carácter ubicuo y la continua movilidad de los sujetos en estudio dificulta la cuantificación de la exposición. Por ello, el estudio de su posible impacto sobre el ser humano tiene numerosas limitaciones metodológicas, que se refieren al estudio de la magnitud, el tiempo, las características de la exposición y al análisis de la fuerza de la asociación.

Todos estos factores unidos a la frecuente presencia de sesgos de selección, clasificación y otros factores

de confusión, condicionan la validez y la fiabilidad de los estudios epidemiológicos sobre la teórica relación entre exposición a CEM de RF utilizados en la telefonía móvil y efectos sobre la salud. A estas limitaciones hay que añadir las dificultades objetivas para obtener una dosimetría adecuada de las personas expuestas a los CEM de RF-TM, obstáculos que hacen casi inviable la cuantificación de la exposición.

Por todas estas razones, la mayoría de las investigaciones actuales se dirigen a estudiar los efectos del uso de los aparatos terminales (el móvil).

En el escenario europeo, el programa de investigación inglés MTHR no se propone, por el momento, destinar más fondos económicos al estudio de los efectos de las antenas aunque estará atento a los programas realizados en otros países. En su informe del 2007 [MTHR-2007] concluye que ninguno de los estudios de investigación financiados ha demostrado que la exposición a RF de TM produzca efectos biológicos adversos o perjudiciales para la salud.

#### 4.4.2 Teléfonos móviles

La mayoría de los estudios epidemiológicos publicados hasta la fecha se han orientado al estudio de la asociación entre uso del móvil y la incidencia de tumores en el sistema nervioso central. En concreto, meningiomas, gliomas, neurinomas del acústico y de la glándula parótida.

Uno de los estudios epidemiológicos más exhaustivos publicados hasta el momento es el realizado en Dinamarca sobre una cohorte de usuarios de teléfonos móviles. En un período de seguimiento de 8,5 años de media, se observaron 14.249 casos de cáncer frente a los 15.001 esperados según las tasas habituales en la población adulta danesa

[Schüz-2006]. No se encontró evidencia de asociación entre riesgo de cáncer y usuarios de teléfonos móviles tanto a corto como a largo plazo. Entre el grupo de usuarios de más de 10 años no se observó un aumento significativo en la aparición de tumores cerebrales.

El último informe publicado por el Comité Científico de la Unión Europea SCENIHR revisa los estudios publicados desde el año 2001. En sus conclusiones publicadas en su informe del 2007 [SCENIHR-2007] se establece que no se han demostrado de forma consistente efectos adversos para la salud por debajo de los límites marcados por la Comisión Internacional ICNIRP organización avalada por la OMS [ICNIRP-1998].

En el informe publicado en 2008 por la Autoridad Sueca de Protección de la Radiación (SSI) [SSI-2008], se afirma en sus conclusiones que no se ha comprobado, en sujetos voluntarios, que haya efectos de las RF sobre las funciones cognitivas, el sueño o la hipertensión.

Estas conclusiones son similares a las obtenidas por el MTHR del Reino Unido. En relación con los tumores cerebrales este organismo concluye que *“no se ha observado asociación epidemiológica en personas usuarias de teléfonos móviles durante un período inferior a 10 años”*.

Los resultados de ambos estudios confirman que, en adultos usuarios de telefonía móvil durante periodos inferiores a 10 años, no existen evidencias de un aumento en el número de casos de cáncer.

El estudio INTERPHONE es un proyecto de investigación epidemiológica (estudio casos-control) en el que han participado 13 países con una metodología común. Detalles del protocolo y procedimientos utilizados en el estudio ya han sido publicados [Cardis-2007].

Su objetivo es determinar si el uso del teléfono móvil aumenta el riesgo de padecer cáncer, y específicamente si las radiofrecuencias emitidas por la telefonía móvil son carcinógenas. Este estudio ha incluido aproximadamente 2600 gliomas, 2300 meningiomas, 1100 neurinomas del acústico y 400 tumores de la glándula parótida, convirtiéndose en el estudio más amplio realizado hasta la fecha. Algunos de sus resultados ya han sido publicados y se espera que durante el 2009 se presenten los análisis finales. En relación con los meningiomas y neurinomas del acústico la mayoría de los estudios nacionales, publicados hasta el momento, no encuentran evidencia de que exista un incremento del riesgo. En un estudio alemán del proyecto INTERPHONE, sobre 97 casos de neurinoma del acústico no se observó aumento del número de este tipo de tumores [Schlehofer-2007] en usuarios de teléfonos móviles.

En términos generales, en usuarios adultos de más de 10 años, los datos son dispares, pero la mayoría de los estudios, no detectan un aumento de tumores del sistema nervioso salvo un ligero aumento en la incidencia de gliomas [Lahkola-2007]. Los autores de este estudio afirman que, “aunque globalmente nuestros resultados no indican un incremento del riesgo de glioma en relación con el uso del teléfono móvil, es necesario seguir investigando posibles riesgos a largo plazo de las partes más expuestas del cerebro antes de sacar conclusiones definitivas”.

Si queremos mejorar el conocimiento sobre las evidencias respecto al uso de la telefonía móvil y el cáncer debemos planificar estudios prospectivos que garanticen una medición fiable de la exposición a largo plazo [Auvinen-2006]. Es necesario realizar más estudios de seguimiento que verifiquen si hay una relación entre exposiciones crónicas, de baja intensidad y determinados tipos de cáncer.



## 5. Estudios de los niveles de exposición debidos a las estaciones base y terminales

### 5.1 Radiación electromagnética

Una radiación electromagnética, es el proceso de transmisión de ondas a través del espacio o de algún medio material. Para que se propague una radiación electromagnética no es necesario que exista un medio material, sin embargo, la velocidad, intensidad y dirección del flujo de energía que transporta la radiación pueden modificarse en presencia de materia.

Como ya se ha mencionado en el apartado 2, la radiación electromagnética se puede clasificar en dos grandes grupos: radiación ionizante y no ionizante. Desde el punto de vista de normativa de exposición, se consideran como radiaciones no ionizantes las frecuencias comprendidas dentro del rango 0 a 300 GHz ( $1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$ ). Las **radiofrecuencias** se encuentran dentro del rango conocido como **radiaciones no ionizantes**.

El origen de los campos electromagnéticos (CEM) es muy amplio (los generados por las líneas de alta tensión, transformadores, TV, radio AM y FM, sistemas para aplicaciones médicas, aparatos electrodomésticos, etc.). En particular, las fuentes de CEM de radiofrecuencia (RF) han experimentado un fuerte incremento durante la última década debido a la introducción de las nuevas tecnologías de las telecomunicaciones (TM, TETRA, LMDS; radioenlaces, WIFI, WIMAX; Bluetooth, etc.),

Para valorar de forma objetiva los riesgos atribuidos a los CEM de RF utilizados en las estaciones base (antenas de TM y elementos auxiliares) es necesario conocer los niveles de exposición de la población. El conocimiento de estos niveles nos puede permitir identificar si existe algún efecto derivado de la exposición.

### 5.2 Magnitudes que caracterizan la exposición. Límites de exposición

Para evitar los posibles efectos nocivos de las radiofrecuencias es necesario fijar restricciones en la exposición, con objeto de que no se sobrepasen ciertos límites, en lo que se denomina Tasa de Absorción Específica (en inglés Specific Absorption Rate (SAR), parámetro que se obtiene a partir del conocimiento de los campos eléctricos internos existentes en las diferentes partes del organismo humano, consecuencia de la interacción del campo de exposición con los tejidos biológicos. Sin embargo, las normas de seguridad especifican también valores más fácilmente medibles que la SAR, denominados niveles de referencia, como son la intensidad de campo eléctrico y magnético externos, E y H, o la densidad de potencia de onda plana equivalente, S, en el lugar de ubicación de la persona.

En Europa, el principio de precaución establecido en el Tratado de Maastricht exigía a los organismos responsables la puesta en práctica de acciones de protección de los ciudadanos contra las radiaciones

no ionizantes. En este sentido, el Consejo de la Unión Europea adoptó, en julio de 1999, la Recomendación 1999/5191/CE, relativa a la exposición del público a campos electromagnéticos de frecuencias comprendidas entre 0 y 300 GHz [UE-1999]. Dicha Recomendación, que limita la exposición a las radiaciones en el mencionado margen de frecuencias, está basada en las directrices que en el año 1998 publicó la Comisión Internacional sobre Protección contra las Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP) [ICNIRP-1998], a partir de los efectos conocidos de dichas radiaciones, que son fundamentalmente térmicos en el caso de la emisión de radiofrecuencias y que son efectos de inducción de corrientes en el caso de las bajas frecuencias. Las restricciones básicas se adoptaron en la Recomendación con un factor de seguridad de 50 respecto de los efectos nocivos comprobados, estableciéndose como límite de la tasa de absorción SAR, cuando se calcula localmente, el valor de 2 W/kg. Sin embargo, a efectos prácticos, se usan los niveles de referencia (Tabla I), que implican todavía una mayor seguridad, de manera que pudieran hipotéticamente no cumplirse los niveles de referencia y sí verificarse las restricciones básicas.

Para situaciones de individuos cerca de la base de una antena no existe prácticamente exposición, por estar situados fuera y debajo del haz de radiación principal de la antena. La radiación lejos de la antena, recibida a efectos prácticos en forma de onda plana electromagnética, en una determinada dirección disminuye con el cuadrado de la distancia a dicha antena.



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

Gama de frecuencia (f)	Intensidad de campo E (V/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo B ( $\mu$ T)	Densidad de potencia equivalente de onda plana, S (W/m <sup>2</sup> )
0,1 Hz	-----	$3,2 \times 10^4$	$4 \times 10^4$	-----
1 - 8 Hz	10000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	-----
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 - 150 kHz	87	5	6,25	-----
0,15 - 1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	-----
1 - 10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	-----
10 - 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 - 2000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

## 5.3 Niveles de exposición del público en general a las emisiones radioeléctricas de estaciones base de radiocomunicación

### 5.3.1 España

El Real Decreto 1066/2001 de 28 de Septiembre [\[RD 1066/2001\]](#), por el que se aprueba el Reglamento que establece las medidas de protección sanitaria frente a las emisiones radioeléctricas y en el que se establecen los límites de exposición del público en general a las emisiones radioeléctricas, establece que los Servicios Técnicos del MITyC elaborarán planes de inspección para comprobar que las instalaciones emisoras y, entre ellas, las estaciones base de telefonía móvil, cumplen lo establecido en el Reglamento.

En el último informe publicado en 2008 por el MICyT y correspondiente a las actuaciones llevadas a cabo en 2007 [\[MICyT-2007\]](#) se exponen y analizan los resultados obtenidos en las inspecciones y actuaciones realizadas por los servicios de la Dirección General de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información, para la comprobación del estado de la planta radioeléctrica de los operadores de telecomunicaciones instalada en España y de las certificaciones realizadas por los técnicos competentes.

Las cantidades de energía que han sido medidas cerca de las antenas de telefonía móvil instaladas en nuestra país son muy débiles, en magnitudes de centenas o miles de veces inferiores a los valores de referencia (en densidad de potencia) permitidos para las emisiones en las bandas UMTS ( $955 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) y GSM ( $450 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ).

En el informe se indica que:

*“todas las mediciones llevadas a cabo en el territorio nacional, han arrojado valores de exposición radioeléctrica muy inferiores a los señalados en el Real Decreto 1066/2001, como límite de referencia, que garantiza la salud para las personas”.*

Estas mediciones se realizan de acuerdo a lo establecido en el RD 1066/2001, y a lo establecido en la orden ministerial CTE/23/2002 de 11 de Enero [\[ORDEN CTE/23/2002\]](#), por la que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones.

La información sobre la emisión de las estaciones base de TM del MICyT es pública y gratuita y puede consultarse en la página web del MICyT: <http://www.mityc.es/nivelesexposicion>

#### Medidas en lugares sensibles

Se definen como zonas, áreas o lugares sensibles aquellos en los que por su naturaleza se considera que existe una mayor percepción de riesgo en la exposición a CEM, en los que habría que minimizar los niveles de exposición, de acuerdo con el artículo 8.7 del Reglamento establecido en el Real Decreto 1066/2001. Entre los lugares mencionados anteriormente se encuentran, entre otros, las guarderías, centros de educación infantil, centros de salud, hospitales, parques públicos.

Tal y como se indica en el informe del MICyT del 2007, las primeras actuaciones realizadas dentro del Plan de Inspección del año 2007 se refieren a las realizadas en las denominadas áreas sensibles. La experiencia acumulada y los resultados obtenidos en las campañas de medidas realizadas en años anteriores, sirven de base para la identificación de los lugares sensibles. Un total de 3.818 áreas son consideradas como tales.

Las nuevas instalaciones que han realizado los operadores, principalmente estaciones base de telefonía móvil automática de la tercera generación UMTS, se han ubicado preferentemente junto a las ya existentes para las modalidades de GSM y DCS.1.800, por lo que, en general, no han aparecido nuevas estaciones situadas en el entorno de espacios sensibles que no estuvieran ya identificados en años anteriores.

Durante el año 2007, se han medido un total de 149 espacios sensibles, que se ubican en un entorno aproximado de 100 m de radio de alguna estación base de telefonía móvil, y se concretan en 73 centros de enseñanza, 18 centros hospitalarios y 58 parques públicos. La distribución por provincias y Comunidades Autónomas de las medidas efectuadas y los resultados obtenidos se muestra en el ANEXO I, donde se han recogido los valores publicados en el informe de 2007 del MICyT así como la distribución, por centros de enseñanza, centros de salud y hospitalarios y parques públicos [\[MICyT-2007\]](#).

#### **Análisis de los niveles de exposición en lugares sensibles**

Los Servicios de Inspección de la Dirección General de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información realizan las medidas de intensidad de campo ó de densidad de potencia de acuerdo con lo

establecido en el protocolo de la Orden Ministerial CTE/23/2002.

Tal y como se indica en el Informe del MICyT del 2007, los niveles medios de exposición radioeléctrica, considerados a nivel autonómico, nos proporcionan unos resultados que oscilan entre el máximo de 2,320  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  en Madrid (lo que supone un descenso del 6% del nivel máximo de radiación alcanzado en Madrid en el año anterior) y el mínimo de 0,024  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  en Melilla (prácticamente sin variación en relación con el nivel mínimo de radiación alcanzado en el año anterior también en Melilla), siendo la media nacional del nivel de radiación en 2007 de 0,452  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , un 25,53% inferior a la media nacional del nivel de radiación del año 2006.

Teniendo en cuenta que el nivel de referencia es de 450  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  para la frecuencia de 900 MHz se puede apreciar que los resultados obtenidos están muy por debajo de los niveles de referencia.

De las medidas realizadas en los 149 puntos sensibles, del total de los 3.818 identificados, se desprende que los resultados obtenidos siguen estando por debajo de los niveles de referencia establecidos en el Real Decreto 1066/2001.

La conclusión que se desprende de los datos expuestos es que, en las zonas sensibles, los niveles de exposición a las radiaciones radioeléctricas, siguen cumpliendo con amplísimos márgenes los niveles de seguridad de referencia establecidos por la estricta normativa vigente.

#### **Auditorias de certificaciones anuales**

En el marco de los planes de inspección se realizan auditorias de las certificaciones presentadas por las compañías operadoras cuyo objetivo es examinar y verificar "in situ" la validez de la información aportada. El informe del MITyC ha analizado 46.084

estaciones incluidas en las certificaciones facilitadas por las operadoras. El volumen tan elevado de instalaciones sobre las que se dispone de información es, probablemente, uno de los más completos de Europa.

El valor máximo medido en la auditoria del MITyC fue de  $14,76 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  en una estación de UMTS de la provincia de Madrid, estando el mínimo por debajo del nivel umbral del equipo de medida utilizado. Considerando, que el nivel de referencia es de  $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  se concluye que los niveles de emisiones medidos se mantienen por debajo de los valores de referencia.

En la totalidad de la muestra se realizaron mediciones de los niveles de exposición que se reflejan, para cada estación dentro de cada provincia, en el informe del MICyT del 2007 y que se recogen en el *Anexo II*.

### 5.3.2 Europa

En el contexto europeo, se pueden señalar los siguientes informes del Mobile Telecommunications and Health Research Programme (MTHR) [[MTHR-2007](#)] que cita dos estudios específicos de medición, uno sobre 17 antenas [[Mann-2000](#)] y otro sobre las 100 antenas medidas anualmente por la Oficina de Comunicaciones del Reino Unido (Ofcom, antigua Radiocommunications Agency), así como el realizado por la Agencia de protección de la Salud del Reino Unido (Health Protection Agency, [www.hpa.org.uk](http://www.hpa.org.uk)) Estas mediciones fueron recomendadas por el IEGMP (Independent Expert Group on Mobile Phones) del Reino Unido en su informe publicado en el año 2000, informe también conocido como Informe Stewart [[IEGMP-2000](#)]. Los resultados de las mediciones de Mann y colaboradores, indicaron que los niveles de exposición fueron de entre  $0,01-0,1 \text{ mW}/\text{m}^2$  ( $0,001-0,01 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) y no excedieron los  $10 \text{ mW}/\text{m}^2$

( $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) lo que significa un 0,2% de los valores de recogidos en las recomendaciones del ICNIRP y la Comisión Europea. Los estudios posteriores realizados por Ofcom y HPA rindieron resultados similares. Por último, señalar que la legislación española ha adoptado las recomendaciones más conservadoras desde el punto de vista de la seguridad y la salud humana que se recogen en los anteriormente mencionados documentos: en RD 1066/2001 y en la Orden Ministerial CTE/23/2002.

En lo que se refiere a los teléfonos móviles, ninguna prueba científica realizada hasta la fecha ha demostrado que la utilización de los mismos presente riesgo alguno para la salud, ni en adultos ni en niños, siempre que se cumplan las Recomendaciones Europeas. Sin embargo, dado que los niños pudieran ser más sensibles a cualquier posible efecto por estar sus organismos en desarrollo, pudiendo acumular a lo largo de sus vidas exposiciones más altas que las de generaciones precedentes, y dado que se debería estudiar en profundidad el posible aumento de la SAR en su cerebro respecto al de los adultos, se recomienda que los padres estimulen en sus hijos pequeños un uso moderado del móvil, mientras no se disponga de estudios epidemiológicos sobre este sector de la población. En cualquier caso, los móviles utilizados por los niños deberían siempre disponer de un dispositivo manos libres activado.

En cuanto a la validez de los límites de exposición establecidos en la Recomendación europea, la mayoría de los informes internacionales, basándose en la evidencia científica disponible, consideran que no necesitan reformarse. Sin embargo, algunas Agencias internacionales, tal como la Agencia Europea del Medio Ambiente, apuntan a que deberían bajarse los límites actualmente

establecidos, apelando a medidas de precaución no basadas en la evidencia científica. En el momento actual continúan en vigor los límites de la Recomendación europea de 1999.

## 6. Dosimetría. Actividades de normalización y exposición ocupacional.

En Europa, durante estos dos últimos años, con el objetivo de garantizar la protección de las personas en la exposición a los campos electromagnéticos procedentes de las emisiones radioeléctricas, de acuerdo con la Recomendación Europea de 1999 1999/519/CE [UE-1999], se ha continuado con las actividades de normalización siguiendo los mandatos de la Comisión Europea M/132 y M/351; siendo este último relativo a la exposición de los trabajadores. El grupo europeo de normalización integrado por CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica, <http://www.cenelec.eu>), CEN (Comité Europeo de Normalización, <http://www.cen.eu>) y ETSI (Instituto Europeo de Normalización en Telecomunicaciones <http://www.etsi.org>), con la participación española del comité AEN/CTN215 de AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación, <http://www.aenor.es>) y en colaboración con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), ha trabajado en la mejora de estándares ya existentes y en la elaboración de otros nuevos sobre la medida y cálculo de CEM provenientes de distintos emisores y de la tasa de absorción específica en el cuerpo humano (SAR). En la elaboración de dichos estándares, se están teniendo en cuenta la presencia de diversas fuentes de emisión en las condiciones reales de exposición de personal. Toda esta labor de estandarización está dirigida a mejorar los métodos de valoración del cumplimiento de los niveles de referencia y restricciones básicas establecidos en la Recomendación de 1999 lo que redundará en la mejor protección de la salud de los ciudadanos.

En lo que respecta a la exposición laboral a los CEM, se aprobó la Directiva Europea 2004/40/CE [UE-2004] (Corrección de errores [UE-2004b] y [UE-2004c]) 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). Dicha Directiva está basada en las recomendaciones de la Comisión Internacional sobre Radiaciones No Ionizantes (CIPRNI) para los trabajadores. Sin embargo, la implantación de esta Directiva se ha pospuesto al año 2012, debido a la necesidad de reexaminar pormenorizadamente la posible incidencia de su aplicación en la utilización de procedimientos médicos que se basan en la imagen médica y en determinadas actividades industriales.

## 7. Comunicación y percepción de riesgos

Desde hace casi medio siglo, con el desarrollo de la energía nuclear, los avances propiciados por las aplicaciones de nuevas tecnologías emergentes han estado sujetos a escrutinio popular por medio de la movilización de grupos y organizaciones que impulsados por ideologías, creencias u otro tipo de valores, como es habitual en todo grupo humano, han manifestado sus reacciones, generalmente contrarias, ante las tecnologías de la vida o, más recientemente, sobre algunas aplicaciones del gran grupo de tecnologías, las tecnologías de la información y las comunicaciones que responden familiarmente al acrónimo TIC, que son responsables del importante cambio social que vivimos, con la evolución hacia lo que se ha dado en llamar “sociedad de la información”, propia de un mundo globalizado y que apuesta por los servicios.

Esta reacción social ha atraído la atención de los actores políticos como es particularmente evidente en el ámbito de la Unión Europea, aunque también se advierten salpicaduras de estos movimientos en los Estados Unidos.

Por medio del Eurobarómetro, el instrumento de análisis sociológico que utiliza la Comisión Europea de modo regular para pulsar la sensibilidad y posición de la ciudadanía europea frente a temas de actualidad o fundamentales para la gobernanza en la Europa comunitaria, se vienen realizando encuestas sobre las actitudes ante algunos de estos desarrollos científicos y aplicaciones tecnológicas.

Siempre que alguno de estos temas tecnocientíficos generan preocupaciones ciudadanas ante

potenciales riesgos: crisis alimentarias, vertidos tóxicos en mares y ríos, rotura de presas con elementos contaminantes, desarrollo de plantas y alimentos resultantes de la modificación genética, efectos adversos de algún medicamento, los medios de comunicación se hacen eco, como no puede ser de otra forma, de estas cuestiones.

Es evidente que el eco que hagan los medios estará aderezado, además de la búsqueda de la fiabilidad de las noticias, por la línea editorial de cada medio: los periódicos en todo país y en cualquier entorno no son idénticos en sus líneas editoriales; no es lo mismo, por ejemplo, un periódico como New York Times que otro como USA Today.

En todo caso, es indudable que los medios de comunicación juegan un papel fundamental en la percepción de los riesgos por los ciudadanos. La capacidad de la sociedad actual de acceder a gran cantidad de información desde los propios hogares o lugares de trabajo es un reto al que se enfrentan los expertos de cada una de las temáticas en litigio cuando se solicita su pericia. No se puede esperar que los medios de comunicación realicen labores educativas; su visión, su misión y sus capacidades son otras. Sin embargo, si se les debe pedir que actúen de modo responsable y que acudan a las mejores fuentes para contrastar sus informaciones y que contribuyan a identificar a los expertos que merecen crédito. Desde una ciudadanía responsable hay que reclamar a su vez la mejor educación posible para todos, por lo que el apoyo a la educación y a los educadores debería ser una prioridad nacional a la que dedicar pactos de Estado y el mayor número de

recursos posibles. A este compromiso educativo deben contribuir los expertos con la mayor dedicación y lo mejor de su bagaje. Es a partir de una sociedad realmente bien informada, por estar bien educada, que será posible, sin desdeñar los temores, debatir y reflexionar sin sensacionalismos, buscando la formación de los ciudadanos en temas como la ciencia y la salud, que deben ser acercados progresivamente a los intereses de los ciudadanos. De este modo, se alcanzará una situación en la que no se sitúe en plano de igualdad a científicos y técnicos con curanderos y charlatanes cuando fomentan alarmas infundadas y el consumo de inútiles productos milagrosos.

Es un compromiso de CCARS facilitar información actualizada y contrastada a los ciudadanos y a los medios de información que lo soliciten [[www.ccars.es](http://www.ccars.es)].

Es interesante anotar, que la mayor preocupación de la población europea en el apartado de la exposición a campos electromagnéticos es la causa por la presencia de antenas [[Eurobarómetro-EMF-2007](#)]. Sin embargo, es la correcta ubicación de las antenas la que garantiza una buena recepción de la señal de telefonía móvil, disminuyendo la potencia de emisión que el aparato necesita para mantener constante la calidad de la transmisión y por tanto la exposición individual. En principio, un mayor número de antenas con la distribución óptima y cumpliendo los límites legales disminuye el nivel de exposición de los usuarios de telefonía móvil. Una correcta utilización de teléfono en adultos es una garantía de seguridad.

CCARS se compromete asimismo a seguir informando sobre los estudios epidemiológicos que van a ser hechos públicos próximamente, especialmente como resultado de proyectos financiados por la Comisión Europea.



## 8. Prioridades de investigación futuras

Puede encontrarse información sobre proyectos en fase de ejecución o finalizados recientemente en la página del Proyecto EMF-NET: “*Effects of the exposure to electromagnetic fields: From science to public health*” [\[EMF-NET\]](#).

Entre las líneas predominantes cabe destacar las dirigidas a:

- Investigar si la exposición crónica incrementa el riesgo de desarrollar tumores cerebrales o de sufrir alteraciones del sistema nervioso en usuarios de teléfonos móviles o en trabajadores sometidos a campos RF de potencia elevada.
- Valorar si los niños o las personas aquejadas de determinadas enfermedades neurológicas son particularmente sensibles.
- Ampliar el conocimiento sobre las causas y condiciones inductoras del síndrome de hipersensibilidad electromagnética percibida
- Ampliar el conocimiento sobre potenciales efectos neurológicos, cognitivos o moduladores del patrón EEG en voluntarios expuestos a señales RF
- Mejorar la precisión de los equipos y estrategias de dosimetría en exposiciones RF
- Ampliar los estudios experimentales con biosistemas, *in vivo* e *in vitro*, para la identificación de los mecanismos biológicos implicados en potenciales respuestas biológicas de naturaleza no térmica. Dentro de estos estudios, reciben alta prioridad los realizados en animales en condiciones de movilidad no restringida, y los estudios en células expuestas, simultánea o secuencialmente, a señales multifrecuencia.
- En todos estos estudios es necesario conjugar el interés en no duplicar esfuerzos con la necesidad de replicación independiente de resultados relevantes.
- Asimismo, es necesario compaginar la urgencia en el estudio de respuestas a señales específicas de interés (GSM, UMTS, TETRA, radar) con la búsqueda de modelos biológicos simplificados, expuestos a parámetros básicos de señal, que permitan la identificación de los mecanismos generales implicados en la respuesta a señales no térmicas.

## 9. Conclusiones

1.- Los niveles de exposición a RF de TM de la población española son extremadamente bajos, los límites medidos por las autoridades competentes son inferiores a los establecidos como seguros.

2.- La percepción negativa de las emisiones de las estaciones base no se corresponde con los datos disponibles. La verificación de los bajos niveles de exposición permite afirmar que es improbable que las RF de TM sean un factor de riesgo para la salud.

3.- Las RF de TM no se consideran un factor causal de los síntomas de las personas que manifiestan ser hipersensibles a los CEM.

4.- Ante situaciones de alarma o de posibles conglomerados de casos, la reacción de la Administración tiene que ser rápida y transparente. La información que se facilite a las partes interesadas debe ser objetiva y comprensible.

5.- El uso y exposición de sujetos adultos a las emisiones producidas por los teléfonos móviles durante un período menor a 10 años no se asocia con un aumento de la tasa de tumores cerebrales.

6.- Respecto a períodos superiores de exposición en adultos o a la situación de la población infantil, no se dispone de datos suficientes, y es preciso recomendar un uso racional de esta herramienta.

7.- Es recomendable que las autoridades competentes y especialmente las sanitarias apliquen programas y desarrollen actividades de información y educación sobre los efectos de las RF.

8.- En su conjunto, los comités nacionales o internacionales en protección ante radiaciones RF coinciden en concluir que los avances recientes en el conocimiento científico / técnico no justifican cambios en los presentes niveles de referencia y límites de exposición RF para el público o los trabajadores.

### AGRADECIMIENTOS

*A la Dirección General de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (Gerardo Silván y Olga Pérez) por facilitar información sobre exposición del público en general a las emisiones radioeléctricas de los sistemas de radiocomunicación (2007), al Colegio de Ingenieros de Telecomunicaciones (Adrián Nogales y Noelia Miranda) y a la Universidad Politécnica de Valencia (Narcis Cardona) y la Universidad Miguel Hernández de Alicante (Javier Gozalvez) por sus aportaciones sobre los aspectos técnicos del funcionamiento de los sistemas de radio telecomunicaciones.*

## Referencias

[Auvinen-2006] "Epidemiological risk assessment of mobile phones and cancer: Where can improve?". Auvinen A., Torvo T., Tokola K.. Eur. J Cancer Prev. 2006, 15(6): 516-23

[Belyaev-2008] "Microwaves from UMTS/GSM mobile phones induce long-lasting inhibition of 53BP1/gamma-H2AX DNA repair foci in human lymphocytes". Belyaev I.Y., Markovà E., Hillert L., Malmgren L.O., Persson B.R.. Bioelectromagnetics. 2008 (in press).

[BioR-2007] "BioInitiative Report: A Rationale for a Biologically-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF)" <http://www.bioinitiative.org/report/docs/report>

[Cardis -2007] "The INTERPHONE study: design, epidemiological methods and description of the study population". Cardis E., Richardson et al. Eur. J. Epidemiol. 2007; vol 22(9): 647-664. <http://www.springerlink.com/content/x88uu6q103076p53/>

[CCARS-2006] "Informe sobre la situación actual de las evidencias científicas sobre exposición a radiofrecuencias y Salud (2006)". [http://www.ccars.es/docs/informes/CCARS\\_informe\\_03.pdf](http://www.ccars.es/docs/informes/CCARS_informe_03.pdf)

[DCMNR-2007] Irish Government's Expert Group on Health Effects of Electromagnetic Fields Report (2007) (Department of Communications, Marine and Natural Resources) <http://www.dcmnr.gov.ie/NR/rdonlyres/9E29937F-1A27-4A16-A8C3-F403A623300C/0/ElectromagneticReport.pdf>

[EMF-NET] "Effects Of The Exposure To Electromagnetic Fields: From Science To Public Health". <http://www.ist-world.org/ProjectDetails.aspx?ProjectId=8c5376d1a639490d87ec8fb58ee96fe3>

[Eurobarómetro-EMF-2007] "Electromagnetic Fields Report (June 2007)" [http://ec.europa.eu/public\\_opinion/archives/ebs/ebs\\_272a\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_272a_en.pdf)

[Hardell-2008] "Biological effects from electromagnetic field exposure and public exposure standards". Hardell L., Sage C.. Biomed Pharmacother. 2008; 62(2):104-9

[HCNL-2007] Health Council of the Netherlands "Electromagnetic Fields Annual Update 2006" (February 2007) (Nota: la versión en inglés empieza en la página 53). <http://www.healthcouncil.nl/pdf.php?ID=1505&p=1>

[HCNL-BioR-2008] The Hague: Health Council of the Netherlands, 2008; publication no. 2008/17E. <http://www.gr.nl/pdf.php?ID=1743&p=1>

[HCNL-ES-Bio-2008] Traducción realizada por el CCARS del documento [HCNL-BioR-2008] <http://www.ccars.es/docs/comunicacion/081016%20Traduccion.pdf>

[Hruby-2008] "Study on potential effects of "902-MHz GSM-type Wireless Communication Signals" on DMBA-induced mammary tumours in Sprague-Dawley rats". Hruby R, Neubauer G, Kuster N, Frauscher M. Mutat Res 2008; 649 (1-2): 34-44.

[ICNRP-1998] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection, ICNRP Guidelines: "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)"(1998)" <http://www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf>

[IET-2008] Institute of Engineering and Technology (IET). "Position Statement on the Possible Harmful Biological Effects of Low-Level Electromagnetic Fields of Frequencies up to 300 GHz (2008)" <http://www.theiet.org/factfiles/bioeffects/postat02final.cfm?type=pdf>

[IEGMP-2000] U.K. Independent Expert Group On Mobile Phones “*Mobile Phones And Health*” (2000), también conocido como Stewart Report (2000)  
<http://www.iegmp.org.uk/report/text.htm>

[Koivusilta-2007] “*Orientations in adolescent use of information and communication technology: a digital divide by sociodemographic background, educational career, and health*”. Koivusilta L.K., Lintonen T.P., Rimpelä A.H. Scand. J. Public Health. 2007; 35(1):95-103,

[Lahkola-2007] “*Mobile phone use and risk of glioma in 5 North European countries*”. Lahkola A., Auvinen A., Raitanen J., Schoemaker M.J., Christensen H.C., Feychting M., Johansen C., Klæboe L., Lönn S., Swerdlow A.J., Tynes T., Salminen T. Int. J. Cancer 2007 120(8): 1769-75.

[Mann-2000] “*Exposure to Radio Waves Near Mobile Phone Base Stations*” Mann S.M., Cooper T.G., Allen S.G., Blackwell R.P., Lowe A.J. (2000). UK: National Radiological Protection Board NRPB-R321 Chilton

[MICyT-2007] Informe del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (MICyT) “*Informe sobre “la exposición del público en general a las emisiones radioeléctricas de las estaciones de radiocomunicación (año 2007)”*”.  
[http://www.mityc.es/NR/rdonlyres/D27685D6-9E61-4BB3-98D6-5A5CC15884A0/0/6informe\\_2007.pdf](http://www.mityc.es/NR/rdonlyres/D27685D6-9E61-4BB3-98D6-5A5CC15884A0/0/6informe_2007.pdf)

[MTHR-2007] U.K. Mobile Telecommunications and Health Research (MTHR) Programme Report (2007)  
[http://www.mthr.org.uk/documents/MTHR\\_report\\_2007.pdf](http://www.mthr.org.uk/documents/MTHR_report_2007.pdf)

[Oberto-2007] “*Carcinogenicity study of 217 Hz pulsed 900 MHz electromagnetic fields in P $\mu$ 1 transgenic mice*”. Oberto G, Rolfo K, Yu P, Carbonatto M, Peano S, Kuster N, Ebert S, Tofani S. Radiat Res. 2007; 168(3):316-26]

[OMS-2006] Nota descriptiva n° 304, “*Los campos electromagnéticos y la salud pública: Estaciones de base y tecnologías inalámbricas*”. (Mayo de 2006 )  
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs304/es/index.html>

[ORDEN CTE/23/2002] 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  
<http://www.mityc.es/NR/rdonlyres/7DB615A7-EC86-49C7-8267-6629CB9DF790/0/20cte2302.pdf>

[Otto-2007] “*Electromagnetic fields (EMF): do they play a role in children's environmental health (CEH)?*” Otto M., von Mühlendahl K.E.. Int J Hyg Environ Health. 2007; 210(5):635-44

[PERFORMA-2007] Final Report of the project PERFORM-A “*In vivo Research on Possible Health Effects of the Use of Mobile Telephones and Base Stationsm(Carcinogenicity Studies in Rats andMice)*”  
<http://www.item.fhg.de/de/geschaeftsfelder/hygiene/pdf/PERFORMA.pdf>

[Punamäki-2007] “*Use of information and communication technology (ICT) and perceived health in adolescence: the role of sleeping habits and waking-time tiredness*”. Punamäki R.L., Wallenius M., Nygård C.H., Saarni L., Rimpelä A. J Adolesc. 2007; 30(4):569-85.

[RD 1066/2001] Real Decreto 1066/2001 de 28 de septiembre de 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.  
<http://www.boe.es/boe/dias/2001/09/29/pdfs/A36217-36227.pdf>

[REFLEX-2004] Final Report of the Project “*Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards From Low Frequency Electromagnetic Field Exposure Using Sensitive in vitro Methods*”.  
[http://www.itis.ethz.ch/downloads/REFLEX\\_Final%20Report\\_171104.pdf](http://www.itis.ethz.ch/downloads/REFLEX_Final%20Report_171104.pdf)

[Repacholi-1997] “*Lymphomas in E-mu-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields*”. Repacholi MH, Basten A, GebSKI V, Noonan D, Finnie J, Harris AW. Radiat Res. 1997; 147(5):631-40

[Röösli-2008] “*Radiofrequency electromagnetic field exposure and non-specific symptoms of ill health: a systematic review*”. Röösli M. Environ Res. 2008; 107(2):277-87

[Rubin-2006] "Are some people sensitive to mobile phone signals? Within participants double blind randomised provocation study". Rubin G.J., Hahn G., Everitt B.S., Cleare A.J., Wessely S. *BMJ*. 2006 Apr 15; 332(7546):886-91.

[SCENIHR-2007] The European Commission's Scientific Committee on Emerging & Newly Identified Health Risks (SCENIHR). Report on "Possible effects of Electromagnetic (EMF) on Human Health (2007) [http://ec.europa.eu/health/ph\\_risk/committees/04\\_scenihr/docs/scenihr\\_o\\_007.pdf](http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_007.pdf)

[Schlehofer-2007] "Environmental risk factors for sporadic acoustic neuroma" (Interphone Study Group, Germany). Schlehofer B., Schlaefer K., Blettner M., Berg G., Bohler E., Hettlinger I., Kunna-Grass K., Wahrendorf J., Schüz J.. 2007. *Eur. J. Cancer* 43(11): 1741-7.

[Schüz-2006] "Cellular telephone use and cancer risk: Update of a nationwide Danish cohort". Schüz J., Jacobsen R., Olsen J.H., Boice J.D. Jr., McLaughlin J.K., Johansen Ch. J. *Natl. Cancer Inst.* 98, 1707-1713  
<http://jnci.oxfordjournals.org/cgi/reprint/98/23/1707>

[Schwarz-2008] "Radiofrequency electromagnetic fields (UMTS, 1,950 MHz) induce genotoxic effects in vitro in human fibroblasts but not in lymphocytes". Schwarz C., Kratochvil E., Pilger A., Kuster N., Adlkofer F., Rüdiger H.W. *Int Arch Occup Environ Health*. 2008 May; 81(6):755-67

[Sommer-2004] "No effects of GSM-modulated 900 MHz electromagnetic fields on survival rate and spontaneous development of lymphoma in female AKR/J mice". Sommer A.M., Streckert J., Bitz A.K., Hansen V.W., Lerchl A. *BMC Cancer*. 2004; 11; 4:77.  
<http://www.biomedcentral.com/content/pdf/1471-2407-4-77.pdf>

[Sommer-2007] "Lymphoma development in mice chronically exposed to UMTS-modulated radiofrequency electromagnetic fields". Sommer AM, Bitz AK, Streckert J, Hansen VW, Lerchl A. *Radiat Res*. 2007;168(1):72-80

[Söderqvist-2009] "Use of wireless telephones and serum S100B levels: A descriptive cross-sectional study among healthy Swedish adults aged 18-65 years". Söderqvist F., Carlberg M., Hardell L.. *Sci Total Environ*. 2009; 407(2):798-805

[SSI-2008] Swedish Radiation Protection Authority's Independent Expert Group's: Report on *Electromagnetic Fields (2007)*  
[http://www.who.int/peh-emf/publications/reports/SWEDENssi\\_rapp\\_2007.pdf](http://www.who.int/peh-emf/publications/reports/SWEDENssi_rapp_2007.pdf)  
Nota : La página web del SSI es <http://www.ssi.se>

[UE-1999] Recomendación del Consejo de 12 de julio de 1999 relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz). Diario oficial de las Comunidades Europeas 30.7.99, L 199/59-L199/70.  
<http://www.mityc.es/NR/rdonlyres/D7D307AD-4D69-4CEB-B741-891175510C5B/0/1recomend.pdf>

[UE-2004] Directiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 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) Diario oficial de las Comunidades Europeas 30.4.04, L 159/1-L159/26. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:159:0001:0026:ES:PDF>

[UE-2004b] Corrección de errores de la Directiva 2004/40/CE (Diario Oficial de la Unión Europea L 159 de 30 de abril de 2004) Diario oficial de las Comunidades Europeas 24.5.04, L 184/1-L184/9. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:184:0001:0009:ES:PDF>

[UE-2004c] Corrección de errores de la Directiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, (Diario Oficial de la Unión Europea L 159 de 30.4.2004) . Versión corregida en el DO L 184 de 24.5.2004) Diario oficial de las Comunidades Europeas 4.8.07, L 204/29 (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:204:0029:0029:ES:PDF>)

[USNC-2008] U.S. National Cancer Institute factsheet on "Cellular Telephone Use and Cancer Risk (2008)" (<http://www.cancer.gov/cancertopics/factsheet/Risk/cellphones>)

[Utteridge-2002] “Long-term exposure of E-mu-Pim1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence”. Utteridge T.D., Gebiski V., Finnie J.W., Vernon-Roberts B., Kuchel T.R. Radiat. Res. 2002; 158(3): 357-64]

[Valberg-2007] “Workgroup report: base stations and wireless networks-radiofrequency (RF) exposures and health consequences”. Valberg P.A., van Deventer T.E., Repacholi M.H.. Environ. Health. Perspect. 2007 Mar; 115(3): 416-24,  
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?tool=pubmed&pubmedid=17431492>

[Yu-2006] “Effects of 900MHz GSM Wireless communication signals on DMBA-induced mammary tumours in rats”. Yu D., Shen Y.H., Kuster N., Fu Y.T., Chiang H. Radiat. Res. 165 (2006) 174–180

## Anexos

*Anexo I: MEDIDAS EN LUGARES SENSIBLES ( del informe del MICyT del 2007)*

*Anexo II: AUDITORIA DE CERTIFICACIONES ( del informe del MICyT del 2007)*

*Anexo III: FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL (del colegio de Ingenieros de Telecomunicación)*



## Anexo I: Medidas en Lugares Sensibles

(Información extraída del informe del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio "Informe sobre la exposición del público en general a las emisiones radioeléctricas de estaciones de radiocomunicación, año 2007" [\[MICyT-2007\]](#))

**Tabla AI-1. Mediciones de niveles de radiación por tipos de espacios sensibles próximos a antenas radiantes en telefonía móvil automática para puntos que superaron los 0,45  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$**

Comunidad Autónoma	Centros de Enseñanza	Centros Hospitalarios	Parques Públicos	Total Puntos Sensibles	Valor Medio ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	Referencia ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )
Andalucía	6	2	16	24	1,34	450
Aragón	3	0	0	3	0,204	450
Baleares	1	0	0	1	0,119	450
Canarias	10	3	10	23	1,173	450
Cantabria	1	0	0	1	0,205	450
Castilla y León	7	0	4	11	0,221	450
Castilla-La Mancha	2	0	3	5	0,264	450
Cataluña	10	1	2	13	0,189	450
Ceuta	1	0	0	1	0,04	450
Comunidad de Madrid	11	6	0	17	2,32	450
Comunidad Valenciana	4	0	4	8	0,076	450

Comunidad Autónoma	Centros de Enseñanza	Centros Hospitalarios	Parques Públicos	Total Puntos Sensibles	Valor Medio ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	Referencia ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )
Extremadura	1	0	1	2	0,099	450
Galicia	6	3	0	9	1,155	450
La Rioja	0	0	1	1	0,031	450
Melilla	3	2	1	6	0,024	450
Navarra	0	1	0	1	0,069	450
País Vasco	6	0	12	18	0,238	450
Principado de Asturias	1	0	3	4	0,669	450
Región de Murcia	0	0	1	1	0,157	450

NOTA: En las provincias en que no se superó este nivel, se hizo una sola medida

Total Nacional	Centros de Enseñanza	Centros Hospitalarios	Parques Públicos	Total Puntos Sensibles	Valor Medio ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	Referencia ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )
	73	18	58	149	0,452	450,000

**Tabla A1-2. Mediciones de niveles de radiación por tipos de espacios sensibles próximos a antenas radiantes en telefonía móvil automática para puntos que superaron los 0,45  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$**

Comunidad Autónoma	Provincia	Centros de Enseñanza	Centros Hospitalarios	Parques Públicos	Total Puntos Sensibles	Valor Medio ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	Referencia ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )
Andalucía	Almería	1	0	1	2	0,934	450
Andalucía	Cádiz	1	1	0	2	3,501	450
Andalucía	Córdoba	0	0	2	2	1,28	450
Andalucía	Granada	1	0	2	3	0,323	450
Andalucía	Huelva	0	0	1	1	2,72	450
Andalucía	Jaén	0	0	1	1	0,27	450
Andalucía	Málaga	2	1	2	5	0,388	450
Andalucía	Sevilla	1	0	7	8	1,308	450
Aragón	Huesca	1	0	0	1	0,041	450
Aragón	Teruel	1	0	0	1	0,191	450
Aragón	Zaragoza	1	0	0	1	0,38	450
Baleares	Islas Baleares	1	0	0	1	0,119	450
Canarias	Palmas (Las)	4	2	7	13	0,134	450
Canarias	Santa Cruz de Tenerife	6	1	3	10	2,212	450
Cantabria	Cantabria	1	0	0	1	0,205	450
Castilla La Mancha	Albacete	0	0	1	1	0,332	450
Castilla La Mancha	Ciudad Real	0	0	1	1	0,898	450

Comunidad Autónoma	Provincia	Centros de Enseñanza	Centros Hospitalarios	Parques Públicos	Total Puntos Sensibles	Valor Medio ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	Referencia ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )
Castilla La Mancha	Cuenca	0	0	1	1	0,006	450
Castilla La Mancha	Guadalajara	1	0	0	1	0,076	450
Castilla La Mancha	Toledo	1	0	0	1	0,006	450
Castilla y León	Ávila	1	0	0	1	0,27	450
Castilla y León	Burgos	1	0	0	1	0,089	450
Castilla y León	León	2	0	1	3	0,091	450
Castilla y León	Palencia	1	0	0	1	0,006	450
Castilla y León	Salamanca	1	0	0	1	0,034	450
Castilla y León	Segovia	1	0	0	1	0,845	450
Castilla y León	Soria	0	0	1	1	0,22	450
Castilla y León	Valladolid	0	0	1	1	0,291	450
Castilla y León	Zamora	0	0	1	1	0,147	450
Cataluña	Barcelona	6	1	2	9	0,669	450
Cataluña	Gerona	2	0	0	2	0,026	450
Cataluña	Lérida	1	0	0	1	0,057	450
Cataluña	Tarragona	1	0	0	1	0,005	450
Ceuta	Ceuta	1	0	0	1	0,04	450
Comunidad de Madrid	Madrid	11	6	0	17	2,32	450

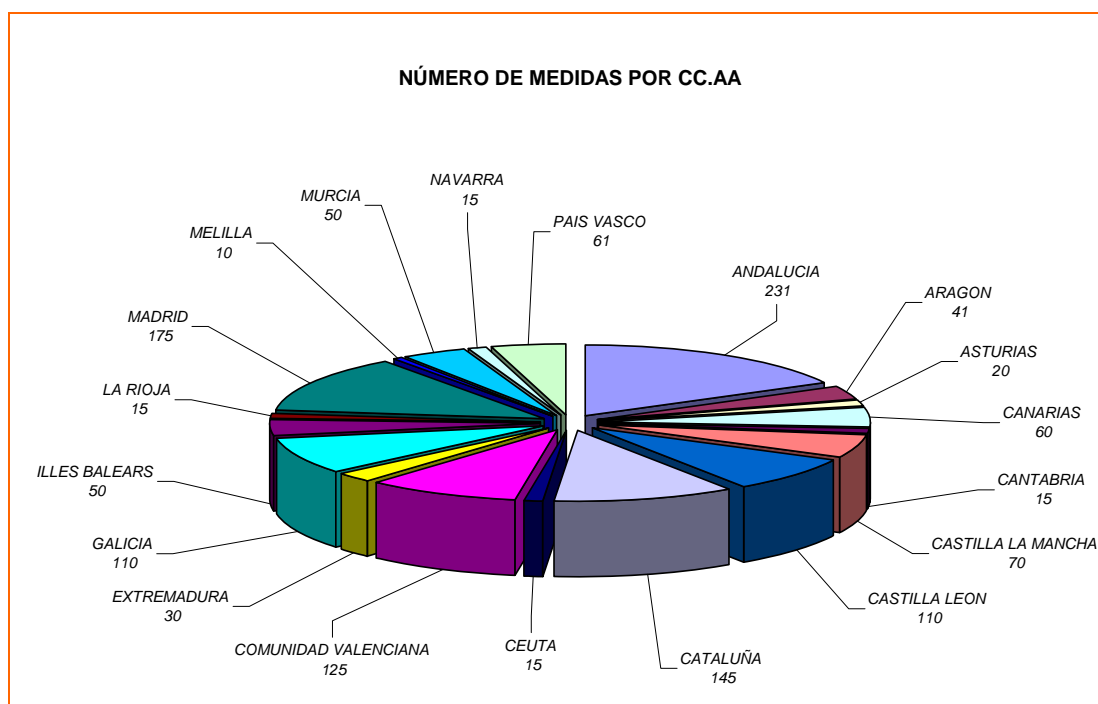
Comunidad Autónoma	Provincia	Centros de Enseñanza	Centros Hospitalarios	Parques Públicos	Total Puntos Sensibles	Valor Medio ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	Referencia ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )
Comunidad Valenciana	Alicante	2	0	2	4	0,065	450
Comunidad Valenciana	Castellón	0	0	1	1	0,067	450
Comunidad Valenciana	Valencia	2	0	1	3	0,097	450
Extremadura	Badajoz	1	0	0	1	0,012	450
Extremadura	Cáceres	0	0	1	1	0,185	450
Galicia	La Coruña	2	0	0	2	3,157	450
Galicia	Lugo	0	1	0	1	1,01	450
Galicia	Orense	1	0	0	1	0,06	450
Galicia	Pontevedra	3	2	0	5	0,392	450
La Rioja	Rioja (La)	0	0	1	1	0,031	450
Melilla	Melilla	3	2	1	6	0,024	450
Navarra	Navarra	0	1	0	1	0,069	450
País Vasco	Álava	1	0	0	1	0,016	450
País Vasco	Guipúzcoa	0	0	1	1	0,18	450
País Vasco	Vizcaya	5	0	11	16	0,517	450
Principado de Asturias	Asturias	1	0	3	4	0,669	450
Región de Murcia	Murcia	0	0	1	1	0,157	450
<b>Total medidas</b>		<b>73</b>	<b>18</b>	<b>58</b>	<b>149</b>		

## Anexo II: Auditoria de certificaciones

(Información extraída del informe del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio "Informe sobre la exposición del público en general a las emisiones radioeléctricas de estaciones de radiocomunicación, año 2007" [\[MICyT-2007\]](#))

**Tabla AII-1. Datos globales de la Auditoría del año 2008, correspondiente a las certificaciones de 2007**

<b>Total de estaciones base auditadas</b>	267
<b>Total de medidas realizadas</b>	1348



**Figura AII-1. Número de medidas realizadas por Comunidad Autónoma**

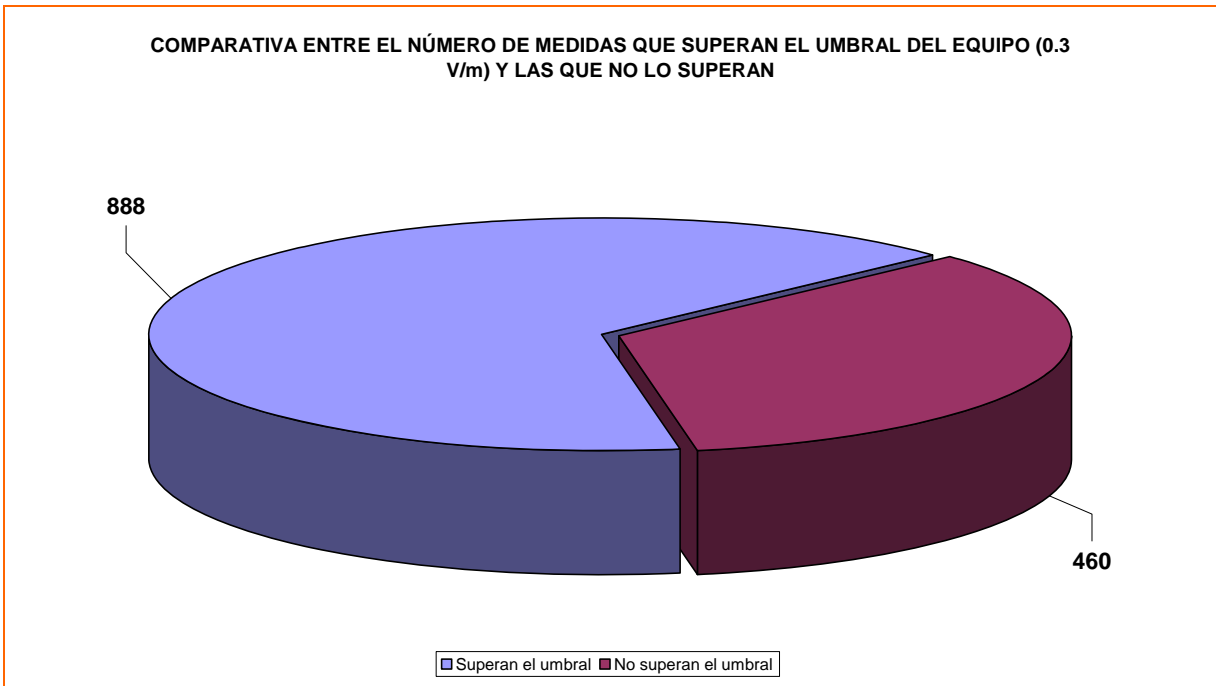
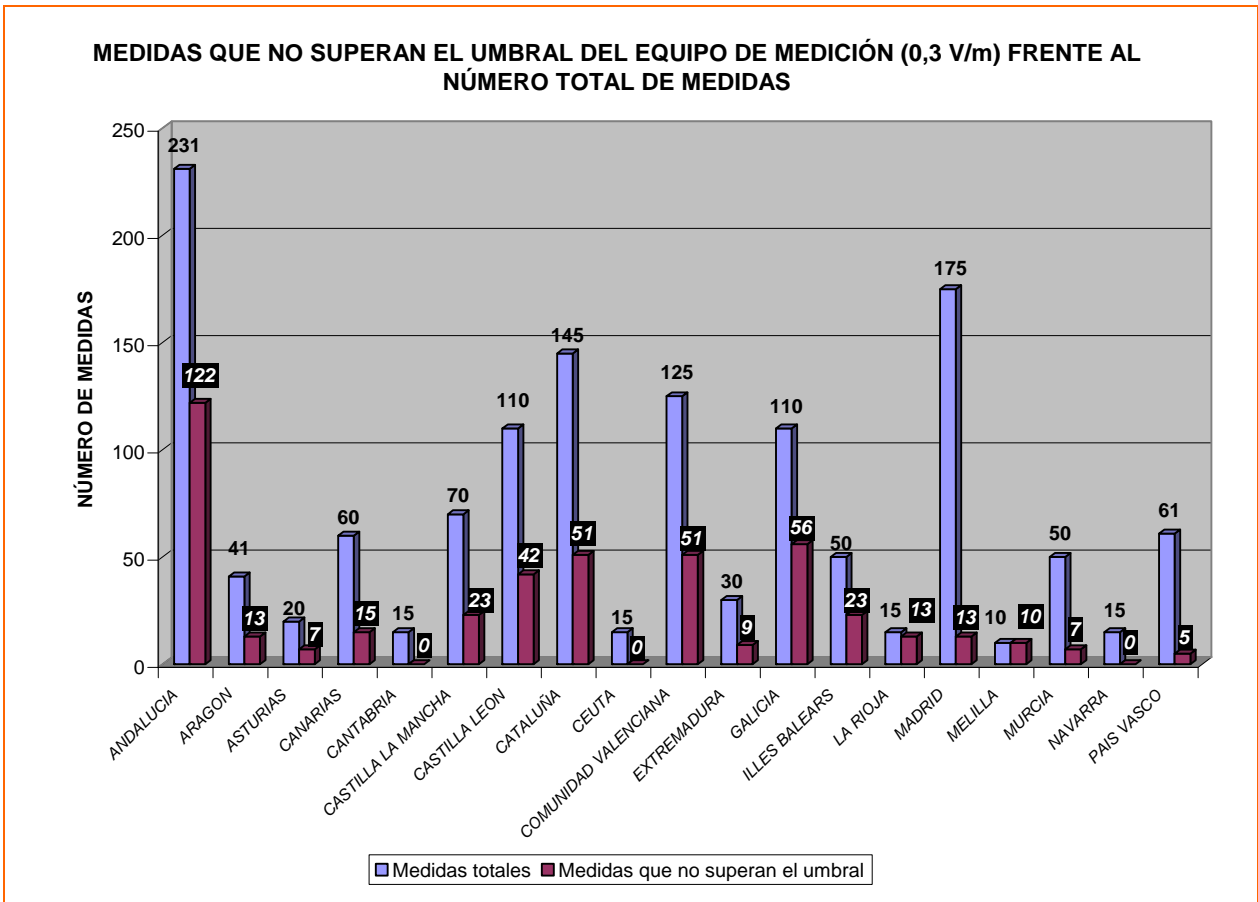


Figura AII-2. Medidas que no superan el umbral del equipo de medida frente al número total de medidas realizadas



**Tabla AII-2. Valores máximos medidos en densidad de potencia ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) comparados con el valor promedio y el nivel de referencia más restrictivo**

Comunidad Autónoma	Valor Máximo ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	Nivel Referencia ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )
Andalucía	8,62	445,89
Aragón	0,56	445,89
Canarias	7,62	445,89
Cantabria	0,28	445,89
Castilla La Mancha	1,49	445,89
Castilla León	6,66	445,89
Cataluña	1,54	445,89
Ceuta	0,06	445,89
Comunidad de Madrid	14,76	445,89
Comunidad Valenciana	1,79	445,89
Extremadura	0,25	445,89
Galicia	7,73	445,89
Islas Baleares	0,15	445,89
La Rioja	0,59	445,89
Melilla	0,02	445,89
Navarra	0,19	445,89
País Vasco	2,73	445,89
Principado de Asturias	0,27	445,89
Región de Murcia	7,37	445,89
<b>Valor Medio</b>	<b>3,30</b>	<b>445,89</b>

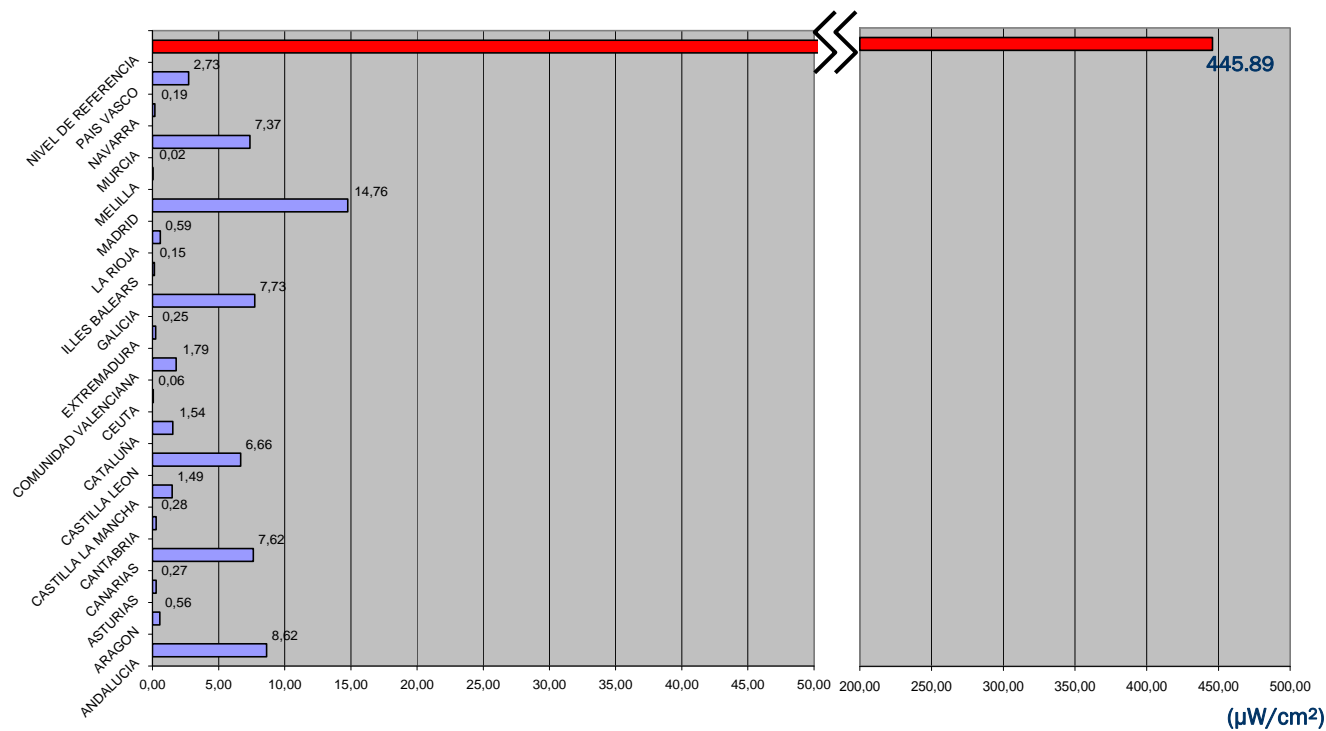


Figura AII-3. Representación de los valores máximos medidos en densidad de potencia ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) en cada Comunidad Autónoma

## Anexo III: Funcionamiento de los Sistemas de Telefonía Móvil

(Información suministrada por Adrián Nogales y Noelia Miranda del Colegio de Ingenieros de Telecomunicaciones, Narcís Cardona de la Universidad Politécnica de Valencia y Javier Gozávez de la Universidad Miguel Hernández de Alicante)

Los sistemas de radiocomunicación están basados en las técnicas de emisión y recepción de ondas electromagnéticas, permitiendo la transmisión de información a cualquier punto, ya sea fijo o móvil, mediante el uso de potencias y frecuencias determinadas. Algunas de las aplicaciones más importantes son:

- Radio y televisión
- Comunicaciones Móviles
- Radioenlaces y comunicaciones por Satélite
- Radionavegación, teledetección y telecontrol

Para poder establecer una comunicación son necesarios los siguientes elementos:

**Estación transmisora**, encargada de generar una señal electromagnética que se emite al espacio por medio de una antena y que se propagará hasta el equipo receptor. De esta manera la información transmitida se inserta en una onda electromagnética (portadora) mediante técnicas de modulación.

**Equipo receptor**, detecta la señal emitida por la estación transmisora y extrae la información, que puede ser voz, imágenes, datos o todo a la vez mediante la demodulación de la onda portadora.

### ¿Qué son los campos electromagnéticos?

Son regiones del espacio donde la materia está sometida a una determinada fuerza eléctrica y magnética. La radiación electromagnética es el producto de la variación periódica de los campos eléctrico y magnético.

Este campo electromagnético se descompone en dos:

#### Campo eléctrico

Es el conjunto de vectores de fuerza provocados por la presencia de cargas eléctricas en una determinada región del espacio. Los campos eléctricos se miden en newtons por culombio (fuerza por unidad de carga), o su equivalente en voltios por metro (V/m)

#### Campo magnético

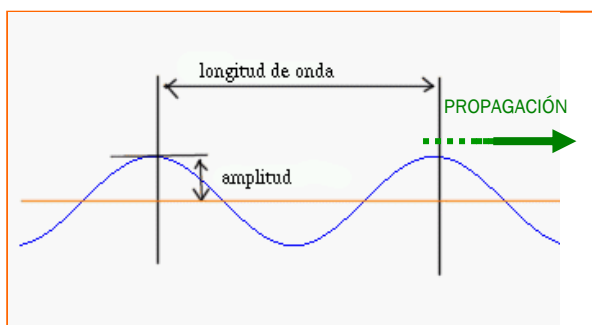
Existen materiales que de forma natural exhiben propiedades magnéticas. El magnetismo es la fuerza de atracción o repulsión que producen los materiales

magnéticos, especialmente aquellos que contienen hierro y otros elementos como níquel y cobalto, y es la fuerza debida al movimiento de cargas eléctricas. Los campos magnéticos se miden en unidades denominadas teslas, que miden la inducción magnética en newtons por amperio y por metro.  $1 T = 1 N/1 A \cdot m$

## Ondas electromagnéticas

Los campos electromagnéticos se propagan como ondas electromagnéticas. Dichas ondas están caracterizadas por diversos parámetros (longitud de onda y frecuencia, amplitud y energía transportada,...). La amplitud de una onda no es de magnitud fija, sino que varía continuamente entre su valor máximo y mínimo. El número de veces por segundo que se produce esta variación se llama "frecuencia" y se mide en Hertzios. Un Hertzio corresponde a 1 variación o "ciclo" por segundo.

La longitud de onda se mide en metros y se define como el inverso de la frecuencia multiplicado por la velocidad de propagación. La longitud de onda corresponde a la distancia entre dos ondas consecutivas.



**Figura AIII-1: Caracterización de una onda**

Para cuantificar la energía que transporta una onda electromagnética se determina la potencia que atraviesa una unidad de superficie o "densidad de potencia". Se calcula como el producto de la

amplitud del campo eléctrico por la intensidad del campo magnético y se mide en vatios por metro al cuadrado ( $W/m^2$ ). Por tanto, lejos de la fuente que genera las ondas, la superficie sobre la que se distribuyen es mayor y, por tanto, su densidad de potencia mucho menor. De ahí que a escasos metros de distancia de la fuente emisora (por ejemplo, una antena de telefonía móvil), la exposición sea mínima.

## Propagación de las ondas

Las ondas electromagnéticas se propagan a través de diversos mecanismos:

### Propagación en espacio libre

Cuando las ondas electromagnéticas generadas por las antenas no encuentran ningún obstáculo, se propagan por igual en todas direcciones, disminuyendo la densidad de potencia inversamente con el cuadrado de la distancia y con el cuadrado de la frecuencia.

### Reflexiones

Cuando las ondas electromagnéticas encuentran obstáculos en su trayectoria, parte de su energía se refleja (onda reflejada) y parte de su energía se transmite a través del obstáculo. La onda reflejada depende de múltiples factores (tipo y grosor del material, frecuencia de la onda incidente, ángulo de incidencia,...)

### Difracciones

Son ondas muy atenuadas que se propagan en todas direcciones, resultantes de la incidencia producida por una onda sobre aristas de obstáculos. Las ondas difractadas dependen de múltiples factores (ángulo de incidencia, el tipo de material, la forma de la arista,...)

## El espectro electromagnético

El espectro electromagnético es la representación de todo el conjunto de posibles frecuencias que pueden adoptar las ondas electromagnéticas. La *figura AIII-2* muestra el espectro electromagnético indicando la subdivisión del espectro en función de las bandas de frecuencia. Debe subrayarse que las frecuencias de operación de los sistemas de radiocomunicación son muy inferiores a las de las emisiones ionizantes, por lo tanto pertenecen claramente al grupo de no ionizantes.

Los límites de exposición a emisiones radioeléctricas en España, establecidos a través del Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre [\[RD 1066/2001\]](#), asumen los criterios de protección sanitaria frente a los campos electromagnéticos fijados en la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea, de 12 de julio de 1999 [\[UE-1999\]](#) recogidos a su vez de la ICNIRP [\[ICNRP-1998\]](#). Estos límites son amparados por la Organización Mundial de la Salud.

La cantidad de energía que una onda electromagnética es capaz de depositar en un organismo y el modo de absorción por el mismo depende de la frecuencia de dicha onda. El SAR

(Specific Absorption Rate) o Tasa de Absorción Específica es la unidad de medida de la cantidad de energía absorbida por el organismo.

En el caso de la telefonía móvil, si bien el SAR se determina al nivel de potencia certificado más alto en condiciones de laboratorio, el nivel de SAR efectivo del teléfono en funcionamiento habitualmente se encuentra muy por debajo de dicho valor. Eso se debe a que el teléfono está diseñado, al igual que toda la red de telefonía móvil, para utilizar la potencia mínima necesaria. En la práctica, los teléfonos móviles emiten muy por debajo de los 2 W. Por lo tanto, cuanto más cerca se está de una estación base, es más probable que el nivel de SAR efectivo sea menor. Las variaciones de SAR no significan que haya variaciones de seguridad. Si bien puede haber diferencias en los niveles de SAR entre los distintos modelos de teléfono, todos los teléfonos celulares deben cumplir con las pautas de exposición a la RF. En Europa, los teléfonos móviles llevan la marca CE, como muestra de que los productos cumplen con las normas y los requisitos europeos pertinentes. Cuanto mejor sea la cobertura y menos cambios de estación base tenga que realizar el teléfono móvil, con menos potencia necesitará emitir y en consecuencia, más durará la batería.



**Figura AIII-2. El espectro electromagnético**

Tabla AIII-1 Límites de exposición para las bandas de frecuencia asociadas a las telecomunicaciones. Niveles de referencia

SERVICIO	SISTEMA	f(MHz)	NIVEL DE REFERENCIA			
			(mW/cm <sup>2</sup> )	(μW/cm <sup>2</sup> )	(V/m)	(W/m <sup>2</sup> )
Radiodifusión	AM	0.5	--	--	87	--
		1.5	--	--	71.03	--
Radiodifusión	FM	100	0.2	200	28	2
TV terrestre	UHF	470	0.235	235	29.8	2.35
		830	0.415	415	39.6	4.15
Telefonía móvil	TACS	450	0.225	225	29.2	2.25
Telefonía móvil	GSM	900	0.45	450	41.2	4.5
Telefonía móvil	DCS	1800	0.9	900	58.3	9
Telefonía móvil	UMTS	2000	1	1000	61	10
Red local inalámbrica	IEEE802.11b (Wi-Fi) Bluetooth	2400	1	1000	61	10
Telefonía fija inalámbrica	LMDS	3500	1	1000	61	10
Red local inalámbrica	IEEE802.11a/h (Wi-Fi)	5000	1	1000	61	10
Telefonía fija inalámbrica	LMDS	26000	1	1000	61	10

Tabla AIII-2 Límites de exposición. Restricciones básicas

GAMA DE FRECUENCIAS	SAR medio de cuerpo entero ( W/Kg)	SAR localizado (cabeza y tronco) (W/kg)	SAR localizado (miembros) (W/kg)
10 MHz -10 GHz	0,08	2	4

## Sistemas de telefonía móvil

La telefonía móvil es un servicio de telecomunicación que se presta a un usuario de localización no determinada (móvil), situado dentro de un área definida. El objetivo es ofrecer un acceso vía radio a los abonados de telefonía móvil, de forma que puedan disponer de un servicio de calidad dentro del área de cobertura del sistema. Conviene distinguir dos tipos de sistemas de telefonía móvil: los sistemas celulares y los sistemas sin cables o *cordless*, cuya cobertura es mucho más pequeña.

Las bandas asignadas por el CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias) a la telefonía móvil celular en España, se encuentran en rango de las RF

Para evitar interferencias entre distintos sistemas, a cada uno de los operadores se le asigna de forma exclusiva una parte de la banda de frecuencias de telefonía móvil. Así, disponen de distintas porciones del espectro, asegurando el funcionamiento independiente de sus redes. Adicionalmente, se utilizan por parte de cada operador distintos grupos de frecuencias para la emisión desde cada estación base (enlace descendente desde la estación base

hasta el terminal) y para la emisión desde el terminal móvil (enlace ascendente desde el terminal hasta la estación base).

Las señales de telefonía móvil se propagan hasta distancias limitadas. Como se ha visto anteriormente, la propagación de las ondas electromagnéticas es compleja provocando que las mismas disminuyan con la distancia. Debido a esta limitación en distancia, a los requisitos de capacidad de tráfico y para poder ofrecer el servicio entre usuarios alejados, es necesario planificar y dividir la zona de cobertura en células, cada una de ellas con una estación base en su centro. Generalmente, la zona que se desea cubrir está formada por una malla de células hexagonales con una estación base en el centro, aunque esta estructura no suele ser regular debido a las características del terreno y la capacidad demandada en cada célula. Esta configuración de la red permite la reutilización de frecuencias en células alejadas entre sí. Las estaciones base suficientemente distantes entre sí pueden reutilizar las mismas frecuencias, puesto que las señales emitidas por cada una de ellas no alcanzarán a la otra o, lo que es lo mismo, no se interferirán. Las celdas que comparten frecuencias se denominan "cocanal".

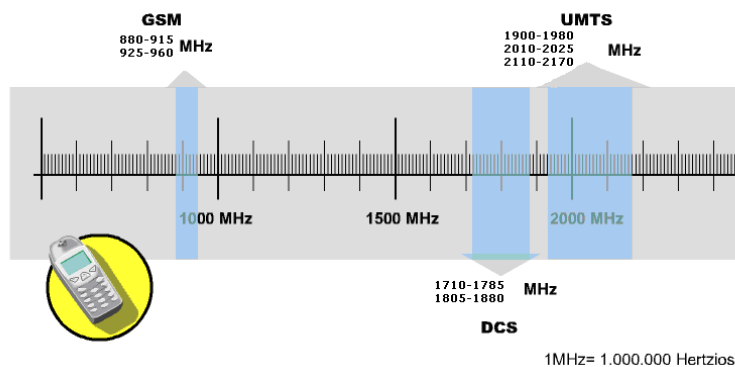


Figura AIII-3. Bandas de frecuencias empleadas en telefonía móvil



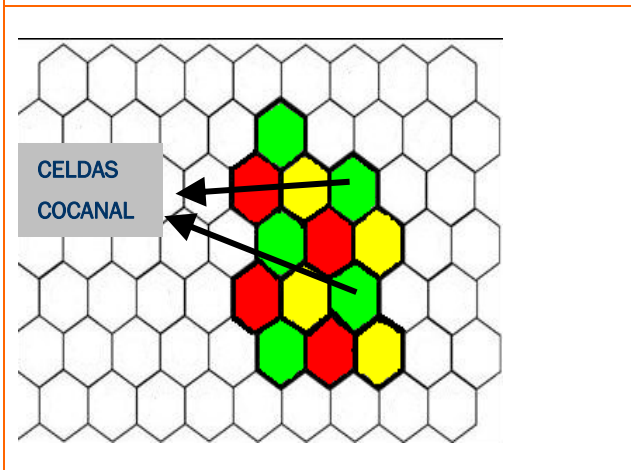
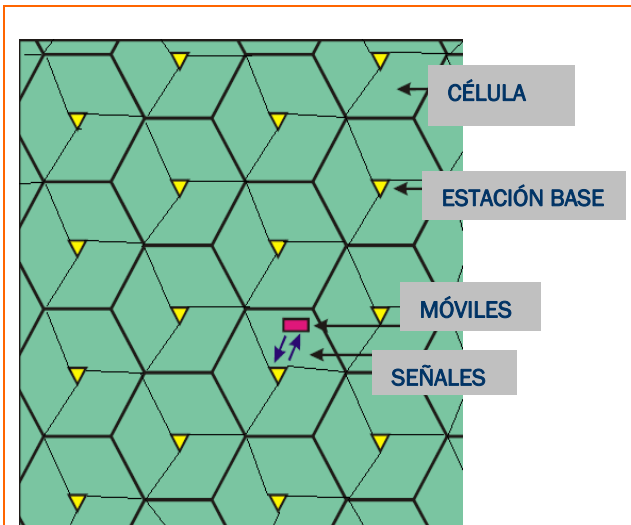


Figura AIII-4 Estructura de una red celular (I)

Debido al aumento espectacular del uso de la telefonía móvil, la dimensión y complejidad de la red ha ido creciendo y con ello, el tamaño de la célula ha ido disminuyendo paulatinamente. Esto se debe a que para poder ofrecer los servicios a todos los usuarios situados en una determinada zona, sobre todo en zonas muy pobladas, se necesitarían muchas conexiones simultáneas y como cada estación base tiene un número limitado de conexiones simultáneas, es necesario reducir el área de cobertura y aumentar el número de estaciones base para cubrir la misma zona. Por eso, en ambientes urbanos se deben instalar microcélulas y picocélulas.

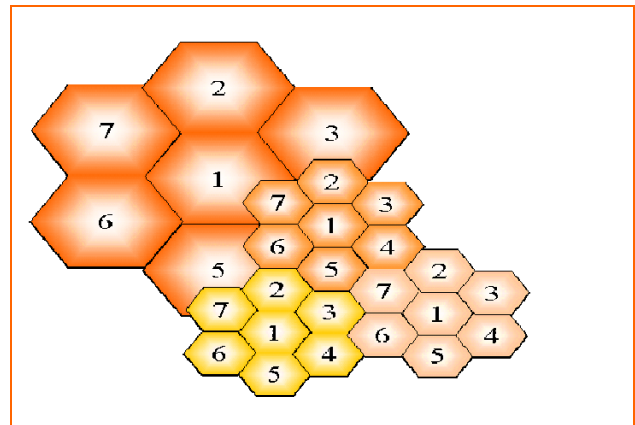


Figura AIII-5 Estructura de una red celular (II)

T

odos los sistemas que integran la red de telefonía móvil incluyen un control de potencia, (tanto las estaciones base como los terminales móviles) que permite ajustar la potencia transmitida al valor mínimo para asegurar la viabilidad del enlace establecido (recepción de señal con calidad suficiente) y evitar interferencias con células adyacentes. Las redes de telefonía móvil por su propia estructura, están diseñadas óptimamente atendiendo al principio de mínima emisión posible (ALATA o *as low as technology allows*).

A diferencia de otros sistemas de radiocomunicación, como por ejemplo, los sistemas de radiodifusión (caracterizados por elevadas potencias, del orden de centenas de kW y grandes coberturas), los sistemas de telefonía móvil requieren potencias bajas (mínima emisión) y coberturas limitadas a las celdas para reducir las interferencias.

Los usuarios de telefonía móvil pueden comunicarse siempre que se encuentren dentro de la zona de cobertura o área cubierta por una estación. El tamaño de la célula dependerá de la densidad de tráfico de llamadas. Si el número de usuarios rebasa la capacidad de una célula, es necesario dividirla en

células más pequeñas. Cada usuario se conecta a través de la estación base más próxima, que además está conectada con el resto de células y otros sistemas de telefonía. Así, se garantiza la comunicación en movimiento, en la que el usuario puede atravesar distintas células de cobertura.

Para evitar las interferencias entre las distintas antenas y optimizar la potencia necesaria, las antenas emiten siempre con la mínima potencia necesaria que permita la comunicación. Asimismo, emiten de forma direccional, de forma que la potencia de transmisión se emite sólo en determinadas direcciones. Como consecuencia, los niveles de campo electromagnético sólo son elevados en las proximidades de las antenas y sólo en determinadas direcciones. Esto significa que una pequeña desviación sobre la dirección de máximo apuntamiento (máxima emisión) supone una gran reducción de la potencia emitida.



**Figura AIII-6. Características de emisión de una antena direccional de telefonía móvil**

Cada una de las ubicaciones se aprovecha al máximo y se consigue además que el sistema reduzca sus niveles de interferencia cuando se emplea sectorización. Muchas de las estaciones base se dividen en tres sectores, que actuarán como celdas independientes. Normalmente, si hay más de una antena instalada en cada uno de los sectores, una de

ellas transmite (de la estación base al móvil) y las otras solamente reciben. Las señales captadas por las antenas receptoras se combinan para mejorar la calidad de señal recibida, minimizando la potencia emitida por el móvil. Este procedimiento se denomina diversidad en recepción. Actualmente, se dispone de tecnología de antenas que integran en un solo elemento la transmisión y los canales de recepción, utilizando en este caso diversidad de polarización.

El enorme crecimiento de usuarios de telefonía móvil, especialmente, en zonas de densidad de población mayor, trae consigo la reducción de las células de cobertura de las estaciones base y el aumento del número de estaciones base necesarias. Cuantas más estaciones base despliegue un operador, menor será la potencia emitida por la estación base y el terminal. Ambos equipos están continuamente testeando los niveles de señal que reciben para emitir con la mínima potencia necesaria. De este modo, aunque un terminal es capaz de emitir uno o dos vatios de potencia, en la mayor parte de las situaciones, emite una potencia inferior. Asimismo, el terminal y la antena de la estación base sólo transmiten durante la conversación, durante los períodos de silencio se suspende la transmisión. Los niveles de campo emitidos, en la práctica, son mucho menores a los que el sistema es capaz de emitir.

Las estaciones base se instalan en lugares elevados para evitar obstáculos en la propagación (edificios, árboles, etc). Tiene dos ventajas:

- Se disminuyen los niveles de campo electromagnético sobre las personas.
- Se mejora el funcionamiento de los sistemas, ya que se encuentran menos obstáculos.

La altura de las antenas está restringida, en muchos sitios, por razones urbanísticas y estéticas, aunque

las nuevas técnicas de mimetización contribuyen a la disminución del impacto visual. Por tanto, en la planificación de los emplazamientos se tiene en cuenta tanto los aspectos técnicos como los medioambientales.

### ¿Por qué no es conveniente alejar las antenas del núcleo urbano?

El criterio de alejar las antenas del casco urbano con objeto de que estén lo más alejadas posibles de los entornos residenciales supone que las antenas de las estaciones base y las de los teléfonos móviles tengan que aumentar sus niveles de emisión para poder establecer la comunicación. Por tanto, las estaciones base deberían aumentar su potencia emitida ya que deben dar servicio a mayor distancia. Del mismo modo, los terminales necesitan emitir con más potencia para conectar con dichas estaciones, situación que implica una elevación de la densidad de potencia radiada sobre los usuarios y un aumento del consumo de las baterías de los terminales.

Asimismo, esta situación provocará un empeoramiento de la calidad del servicio debido a que la cobertura será más irregular. Luego, el alejamiento de las estaciones base entre sí y de los entornos urbanos es contrario a la mínima emisión posible.

Podemos hacer un símil comparándolo con la siguiente situación: Imaginemos que eliminamos todo el alumbrado urbano de una ciudad y lo sustituimos por potentes focos colocados alrededor del perímetro urbano. Esta circunstancia provocaría la existencia de zonas poco iluminadas en partes de la ciudad y una elevada iluminación y calor en las proximidades de los focos.

## Elementos necesarios en la telefonía móvil

La telefonía móvil exige la existencia de una serie de elementos fundamentales:

**Terminales móviles** (MS, Mobile Stations). Son los teléfonos móviles. Son aquellos equipos finales que suministran el servicio demandado por los usuarios. El terminal móvil está formado por los siguientes elementos: un altavoz, un micrófono, una pantalla de cristal líquido, un teclado, una antena (integrada actualmente), una batería, una placa de circuito de radiofrecuencia y una placa de circuito de interfaz de usuario. Asimismo, para poder realizar la compresión y descompresión de los datos, los móviles disponen de un procesador digital de señales que trata todas las tareas del teclado, controla las señales de la estación base y realiza todas las funciones de coordinación de los mismos.

**Estaciones base** (BTS, Base Stations). Son las encargadas de mantener el enlace vía radio con los terminales móviles, es decir, son el punto de conexión del terminal móvil con la red celular. La estación base es el elemento encargado de gestionar todas las comunicaciones móviles que se realizan en su zona de cobertura y enlazarlas con el resto del sistema, desde donde se encaminarán a otras redes fijas o móviles alternativas. Las estaciones base se clasifican en función del tamaño de la zona de cobertura y de la potencia transmitida:

- **Macro células.** La potencia emitida por estas estaciones suele ser de unas pocas decenas de vatios (20-40). Tienen la función de proporcionar cobertura a áreas extensas de entre 1-15 km. Por ello, las antenas se instalan a una altura con respecto al suelo comprendida entre 15 y

40 metros en azoteas o torres. Las longitudes de las antenas suelen rondar el metro.

- **Microcélulas.** La potencia es generalmente pequeña, en torno a unos pocos vatios (1-2). Las microcélulas son células urbanas que proporcionan cobertura a nivel de calles y cuyas antenas se instalan a una altura entre 3 y 6 metros. El alcance suele inferior a un 1 km.
- **Picocélulas.** Son las estaciones que menos potencia emiten (<1 W). Se utilizan para proporcionar cobertura dentro de edificios y las antenas se instalan en paredes o techos. Las antenas para picocélulas son pequeñas en forma de varillas o de cajas de longitudes de 10 a 50 cm.

Las estaciones base se componen principalmente de:

**Antenas** o sistema radiantes: emisora y receptora de señales de radio. Adaptan las ondas guiadas que se transmiten por conductores o guías a las ondas que se propagan por el espacio libre y viceversa.

**Equipos de RF** de generación y recepción y dispositivos de control.

**Baterías** que garantizan el funcionamiento en caso de corte del fluido eléctrico.

**Sistemas de refrigeración** que permiten el funcionamiento correcto de los equipos durante las épocas de mayor calor.

**Soporte o torre** para la antena de tipología diferente según el tipo de estación.

**Caseta,** camino de acceso y otros elementos asociados.

**Controlador de estaciones base** (BSC, Base Station Controller). Gestiona un grupo de estaciones base que están a su cargo. Por ejemplo, una de las funciones que realiza es gestionar el cambio del canal ocupado por un terminal móvil cuando éste pasa a la zona de cobertura de otra estación base.

**Centros de conmutación** (MSC, Mobile Switching Centres). Son los centros que permiten la conexión con las redes públicas y privadas y la interconexión de usuarios situados en distintos puntos geográficos.



Figura AIII-7. Diferentes tipos de estaciones base (I)



*Figura AIII-7. Diferentes tipos de estaciones base (II)*