

# **CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS Y SALUD PÚBLICA**

**INFORME TÉCNICO  
ELABORADO POR EL COMITÉ  
DE EXPERTOS**

**Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud  
Laboral  
Dirección General de Salud Pública y Consumo  
Ministerio de Sanidad y Consumo**

# **CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS Y SALUD PÚBLICA**

## **INFORME TÉCNICO ELABORADO POR EL COMITÉ DE EXPERTOS**

**COORDINADORES : Francisco Vargas y Alejandro Úbeda**

### **MIEMBROS DEL COMITÉ**

- **Azanza Ruiz, María Jesús.**  
Catedrática de Biología y Magnetobiología. Facultad de Medicina Universidad de Zaragoza.
- **Ferrero Andreu, Lluís.**  
Ingeniero. Director del Programa de Espacio Público  
Oficina Técnica de Cooperación  
Diputación de Barcelona
- **Kogevinas Manolis.**  
Epidemiólogo Instituto Municipal de Investigación Médica. (IMIM). Barcelona.
- **Martínez Búrdalo, Mercedes.**  
Investigadora Científica del CSIC  
Jefe del Departamento de Radiación Electromagnética.  
Instituto de Física Aplicada.
- **Represa de la Guerra, Juan José.**  
Catedrático. Facultad de Medicina de Valladolid  
.Investigador del IBGM-Consejo Superior de Investigaciones Científicas
- **Sebastián Franco, José Luis.**  
Catedrático de Electromagnetismo. Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Complutense de Madrid.
- **Úbeda Maeso, Alejandro.**  
Investigador. Servicio de Bioelectromagnetismo. Dept. Investigación. Hospital Ramón y Cajal. Madrid.
- **Vargas Marcos, Francisco.**  
Médico de Sanidad Nacional. Subdirector General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral. Dir. Gral. de Salud Pública y Consumo. Ministerio de Sanidad y Consumo.
- **Zabala Lekue, Eduardo.**  
Doctor Ingeniero Industrial. Jefe del Área de Compatibilidad Electromagnética. Fundación LABEIN.  
Parque Tecnológico de Zamudio. Bilbao

## **ÍNDICE**

Preámbulo.....	4
Introducción.....	6
Qué son los campos electromagnéticos? (CEM).....	7
Clasificación de los CEM.....	10
Resumen de la evidencia sobre efectos biológicos de los campos electromagnéticos.....	13
Mecanismos biofísicos implicados en los efectos biológicos de los CEM.....	17
Resumen de efectos sobre la salud derivados de la exposición a CEM.....	18
Análisis y revisión de los estudios epidemiológicos.....	20
Percepción social de los riesgos asociados a los CEM.....	29
Medidas adoptadas por la Unión Europea.....	34
Aplicación en España de la Recomendación 199/519/CE.....	38
El principio de precaución y la comunicación del riesgo.....	39
Fuentes comunes de exposición del público a CEM.....	42
A. CEM de frecuencias bajas de las líneas de conducción de energía eléctrica B. CEM producidos por electrodomésticos C. Radiofrecuencias de Telefonía Móvil D. Otras fuentes CEM especial interés	
Medidas de protección y compatibilidad electromagnética.....	51
Conclusiones .....	61
Recomendaciones .....	62
Anexo 1 .....	64
Anexo 2 .....	66
Anexo 3 .....	67
Bibliografía.....	74

## **PREÁMBULO**

Al igual que en el resto de los países europeos, en España se ha registrado en los últimos años un incremento en la preocupación de los ciudadanos hacia cuestiones relacionadas con eventuales efectos nocivos derivados de la exposición involuntaria o inconsciente a campos electromagnéticos (CEM). Esta sensibilidad, que ha dado lugar a una percepción desmesurada de los pretendidos riesgos de dichas exposiciones, ha sido alimentada por informaciones alarmantes procedentes de fuentes no debidamente acreditadas y no siempre exentas de intereses político-económicos. El Ministerio de Sanidad y Consumo (MSC) tiene la responsabilidad de velar por la salud pública, identificando riesgos potenciales y desarrollando estrategias coordinadas para proteger la salud de la población. En materia de CEM ambientales es necesario determinar qué condiciones de exposición podrían comprometer la salud o el bienestar de la población, y en qué grado lo harían. Sea como fuere, el ejercicio de las citadas funciones del MSC pasan por la obtención, y posterior difusión, de la información más ecuánime y completa que pueda alcanzar con los medios de que dispone.

Así entienden también sus responsabilidades las autoridades sanitarias internacionales. Estas coinciden en identificar como fundamental y prioritaria la necesidad de recabar de expertos independientes información completa y fidedigna sobre los eventuales efectos nocivos de los CEM ambientales, y poner dicha información a disposición del público y de los técnicos responsables de la toma de decisiones en la materia. Siguiendo esta filosofía el Subdirector General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral (Dirección General de Salud Pública y Consumo, Ministerio de Sanidad y Consumo) convocó a un Comité pluridisciplinar de expertos independientes, de reconocido prestigio nacional e internacional. Los objetivos del Comité fueron los siguientes:

- Realizar una evaluación de la evidencia científica acerca de los potenciales efectos de los CEM sobre la salud.
- Valorar si la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea (RCMSUE) era suficiente para garantizar la salud de la población.
- Elaborar las recomendaciones necesarias para que el Ministerio de Sanidad y Consumo adopte las medidas más eficaces de protección sanitaria.

El resultado de dicha evaluación se ha reflejado en este documento consensado por todos los miembros del Comité, que contiene, además, un apartado de recomendaciones dirigidas a procurar una máxima protección de la salud pública. El texto se ha redactado en un

lenguaje asequible y divulgativo dentro de los límites impuestos por el rigor científico exigido a este tipo de documentos. Esperamos que este trabajo sirva de base para la adopción de estrategias y toma de decisiones relativas a la protección de los ciudadanos ante exposiciones a CEM.

El Ministerio de Sanidad y Consumo reconoce que la labor que se encomienda al Comité de Expertos demanda de cada uno de ellos la adopción de decisiones en una materia de salud pública difícil de abordar, tanto por sus implicaciones políticas, éticas, sociales y económicas como por el hecho reconocido de que la evidencia científica existente es todavía incompleta. Esta labor requiere un esfuerzo por parte de los miembros del Comité que va más allá de lo que es estrictamente exigible a científicos e investigadores que, en su mayoría, están exentos habitualmente de responsabilidades relacionadas con la gestión de riesgos. Los miembros del Comité aceptaron la misión que se les encomendó y se comprometieron a llevar a cabo la redacción de un documento conjunto, haciendo el mejor uso posible de su conocimiento y experiencia en la materia, y esforzándose en hacer confluir opiniones y puntos de vista divergentes, por venir de especialistas en disciplinas heterogéneas.

El Comité de Expertos desea hacer constar que la presente evaluación del riesgo, y las recomendaciones recogidas en este documento, se basan en una revisión de la evidencia científica existente en la actualidad. En el presente se están llevando a cabo varios estudios cuyos resultados, todavía no disponibles, pudieran ser de relevancia en materia de CEM y salud pública. En consecuencia, el presente documento no debe ser interpretado como un texto cerrado, sino que, por el contrario, ha de mantenerse abierto a subsecuentes revisiones, en las que la evidencia científica se evaluará a la luz de datos nuevos obtenidos de estudios no concluidos o no iniciados en la actualidad.

## **INTRODUCCIÓN**

¿Son peligrosos para la salud los campos electromagnéticos?

Contestar a esta pregunta es el motivo que justifica la elaboración de este informe. Se espera que el contenido del mismo contribuya a despejar las incertidumbres sobre eventuales riesgos para la salud derivados de la exposición del ciudadano a campos electromagnéticos (CEM) ambientales. Se pretende, además, que este documento sirva de referencia para fundamentar la normativa que debe regular los límites de exposición a CEM, dentro de unos niveles que permitan el control de potenciales riesgos para la Salud Pública.

Son numerosas las demandas de información que el Ministerio de Sanidad y Consumo y las consejerías de Sanidad de las Comunidades Autónomas (CC.AA.) reciben sobre los posibles riesgos para la salud humana derivados de la exposición a campos electromagnéticos (CEM).

Este documento pretende informar sobre las características de los CEM, las principales fuentes de exposición, las evidencias científicas disponibles acerca de los efectos sobre la salud humana y las medidas que pueden adoptarse para garantizar un elevado nivel de protección sanitaria.

Los criterios técnico-sanitarios que se presentan en este informe son coherentes con la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea (RCMSUE), de 12 de julio de 1999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos de 0 Herzios (Hz) a 300 Gigahertzios (GHz). Dicha Recomendación se basa, a su vez, en las directrices de la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP, en inglés), en la evidencia científica disponible y en el dictamen del Comité Director Científico de la Unión Europea.

El Ministerio de Sanidad y Consumo está obligado, política y moralmente, al cumplimiento de los criterios de protección que establece la Recomendación Europea. Para su aplicación práctica será necesario contar con el asesoramiento técnico de los expertos y con el consenso de todas las partes implicadas, autoridades sanitarias de las CCAA, consumidores, sector industrial, administración, etc.

Esperamos que el contenido de este informe contribuya a despejar las dudas e incertidumbres sobre los riesgos para la salud de los CEM.

## QUÉ SON LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS:

El movimiento de cargas eléctricas en un metal conductor (como una antena de una emisora de radio o TV), origina ondas de campos eléctrico y magnético (denominadas ondas electromagnéticas EM) que se propagan a través del espacio vacío a la velocidad  $c$  de la luz ( $c = 300.000 \text{ km/s}$ ) tal y como se muestra en la Figura 1. Estas ondas radiadas llevan asociada una energía electromagnética que puede ser captada por una antena receptora (la antena de TV en una casa o por la pequeña antena incorporada en un teléfono móvil). Sin embargo, los campos eléctrico y magnético pueden existir independientemente uno del otro, y se les denomina entonces campos estáticos; como los campos eléctricos que se originan entre las nubes y tierra durante una tormenta, antes de saltar el rayo.

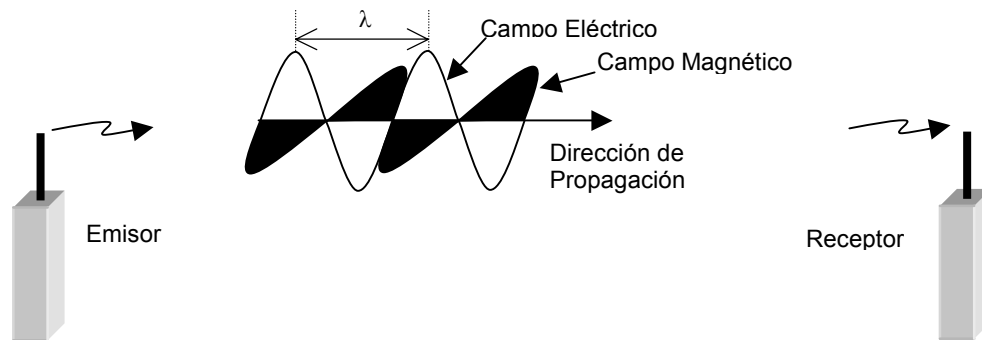


Figura. 1 La antena emisora establece ondas de campos eléctrico y magnético que se propagan a la velocidad de la luz por el espacio libre hasta la unidad receptora.

Cuando en una región del espacio existe una energía electromagnética, se dice que en esa región del espacio hay un campo electromagnético y este campo se describe en términos de la intensidad de campo eléctrico ( $E$ ) y/o la inducción magnética o densidad de flujo magnético ( $B$ ) en esa posición<sup>1</sup>. Para medir la intensidad de campo eléctrico se emplea la unidad "voltio/metro", mientras que para medir la densidad de flujo magnético se utiliza la unidad "tesla" (T) y, a veces, el Gauss (G). Un tesla equivale a 10000 Gauss ( $1 \mu\text{T} = 10 \text{ mG}$ ).

Al igual que cualquier otro fenómeno ondulatorio, la radiación electromagnética se puede caracterizar por su longitud de onda y su frecuencia. La longitud de onda ( $\lambda$  en metros) es la distancia que existe entre los puntos correspondientes a un ciclo completo de la onda electromagnética, tal y como se indica en la Figura 1. La frecuencia es el "número de ondas electromagnéticas" que pasan por un determinado punto en un segundo. La unidad de la frecuencia es el hertz (Hz) y es igual a un ciclo por segundo. La longitud de onda ( $\lambda$ ) y la frecuencia ( $f$ ) de una señal electromagnética están relacionadas a través de  $\lambda \times f = c$ . Como el valor de  $c$  es fijo, la longitud de onda de las señales electromagnéticas de alta frecuencia es muy corta,

mientras que las señales de baja frecuencia tienen una longitud de onda muy larga.

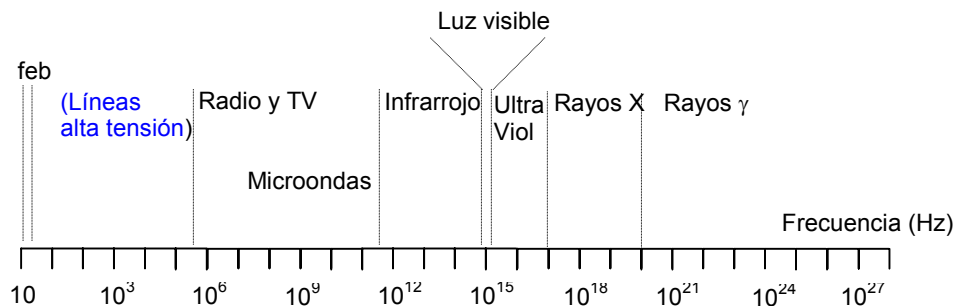


Figura 2. Representación del espectro electromagnético donde se muestran todas las formas de radiación electromagnética, desde las ondas de frecuencia extremadamente baja (FEB), a los rayos X y rayos gamma. La parte del espectro donde se aplica la Recomendación del Consejo de Ministros de la Unión Europea es la comprendida entre 0 y 300 GHz.

Algunos fenómenos electromagnéticos se pueden describir más fácilmente si la energía no se asocia a las ondas sino a “partículas elementales o fotones”. Esto es lo que en física se conoce como dualidad “onda-partícula” de la energía electromagnética. La energía asociada con un fotón, depende de su frecuencia. Cuanto mayor es la frecuencia de una onda electromagnética (y, por consiguiente, menor es su longitud de onda) mayor es la energía de un fotón asociado con ella. El contenido energético de un fotón a menudo se expresa en términos de “electrón-voltio” o “eV”.

Los fotones asociados con los rayos X y los rayos  $\gamma$  (de frecuencias muy altas) tienen un gran contenido energético. Por el contrario, los fotones asociados con las ondas de frecuencia extremadamente baja (FEB, en inglés ELF) tienen energías mucho menores. Entre estos dos extremos se encuentran la radiación ultravioleta, la luz visible, la radiación infrarroja y la radiación RF (incluyendo las microondas); y los fotones asociados con estas radiaciones tienen valores energéticos intermedios. Por ejemplo, la energía de los fotones asociados con rayos X de alta intensidad es del orden de mil millones de veces más grande que la energía de los fotones asociados con una radiación de microondas de frecuencia 1 GHz.

Cuando se estudian los efectos biológicos de radiaciones electromagnéticas es importante distinguir dos rangos de radiaciones: *ionizantes y no-ionizantes*, cuyos mecanismos de interacción con los tejidos vivos son muy diferentes. La ionización es un proceso por el cual los electrones son desplazados de los átomos y moléculas. Este

proceso puede generar cambios moleculares potencialmente capaces de dar lugar a lesiones en los tejidos biológicos, incluyendo efectos en el material genético (ADN). Para que este proceso tenga lugar es necesaria la interacción con fotones de muy alta energía, como los de los rayos X y rayos gamma. Se dice entonces que los rayos X y los rayos gamma son radiaciones ionizantes, y la absorción de un fotón de estas radiaciones puede originar ionización y el consiguiente daño biológico.

Las energías de los fotones asociados con las radiaciones de frecuencias más bajas no son lo suficientemente elevadas como para causar ionización de átomos y moléculas. Es por esta razón que a los CEM de radiofrecuencia, junto con la luz visible, la radiación infrarroja y las radiaciones electromagnéticas de frecuencia extremadamente baja (FEB) se les denomina radiaciones no-ionizantes.

Las radiaciones no ionizantes comprenden la porción del espectro electromagnético cuya energía no es capaz de romper las uniones atómicas, incluso a intensidades altas. No obstante, estas radiaciones pueden ceder energía suficiente, cuando inciden en los organismos vivos, como para producir efectos térmicos (de calentamiento) tales como los inducidos por las microondas. También, las radiaciones no ionizantes intensas de frecuencias bajas pueden inducir corrientes eléctricas en los tejidos, que pueden afectar al funcionamiento de células sensibles a dichas corrientes, como pueden ser las células musculares o las nerviosas. Algunos estudios experimentales, realizados generalmente sobre cultivos de células, han mostrado respuestas biológicas a radiaciones no ionizantes demasiado débiles para inducir efectos térmicos o corrientes intensas. Sin embargo, como veremos más adelante, la relevancia de estos resultados en lo que refiere a posibles efectos de los CEM débiles sobre la salud son muy cuestionables. En la figura 3 se resumen las radiaciones electromagnéticas y sus efectos biológicos en función de la frecuencia de las ondas (a partir de Úbeda y Trillo, 1999)

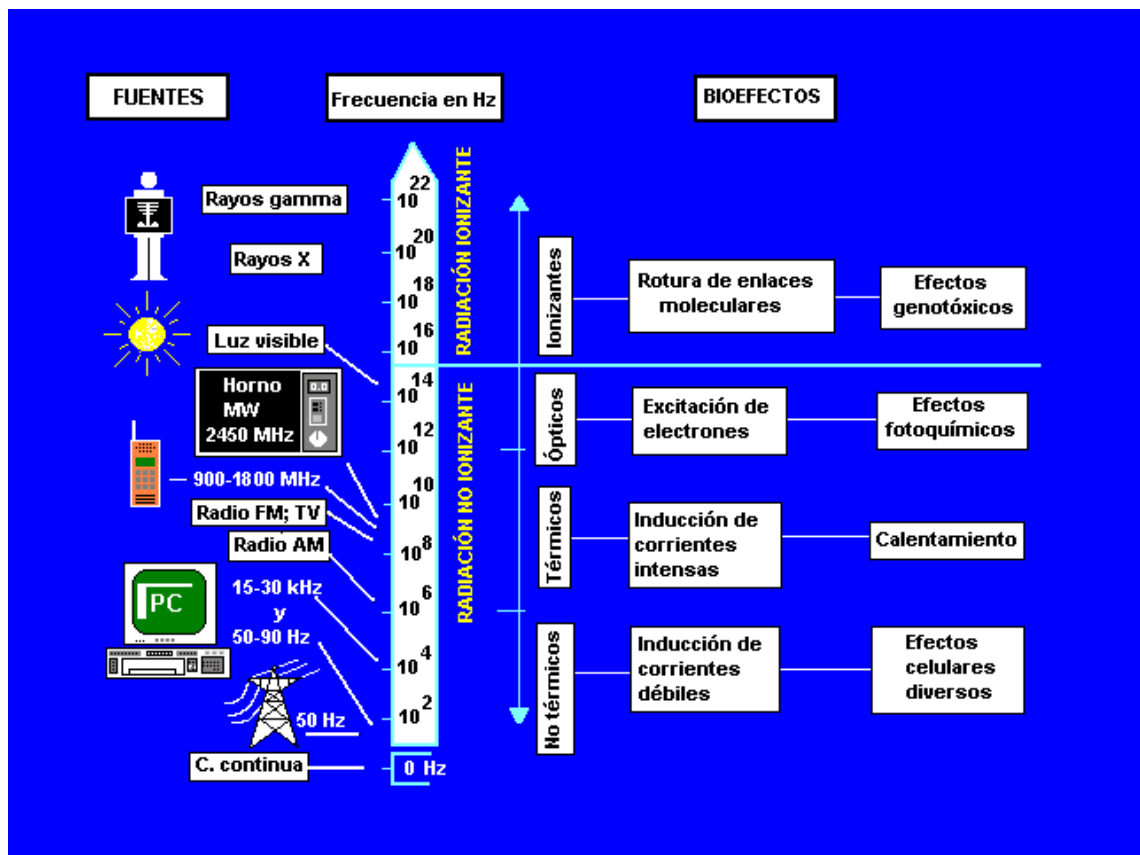


Figura 3. Las radiaciones electromagnéticas y sus efectos biológicos en función de la frecuencia de las ondas (A partir de Úbeda y Trillo, 1999)

## CLASIFICACIÓN DE LOS CEM

Refiriéndonos a los CEM no ionizantes, podemos distinguir dos grandes grupos de fuentes de exposición en nuestro entorno:

- Las fuentes que generan campos de frecuencias inferiores a 3 kHz ( $0 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$ ), entre los que se encuentran:
  - Las de "campos estáticos" (0 kHz):  
Trenes de levitación magnética, sistemas de resonancia magnética para diagnóstico médico y los sistemas electrolíticos en aplicación industrial-experimental.
  - Las fuentes de los campos de frecuencias extremadamente bajas ( $30 \text{ Hz} \leq f < 300 \text{ Hz}$ ):  
Equipos relacionados con la generación, transporte o utilización de la energía eléctrica de 50 Hz, líneas de alta y media tensión

y aparatos electrodomésticos (neveras, secadores de pelo, etc.).

- Desde 300 Hz a 3 kHz:  
Cocinas de inducción, antenas de radiodifusión modulada y equipos de soldadura de arco.
2. Las conocidas como fuentes de campos de radiofrecuencias ( $3 \text{ kHz} \leq f < 300 \text{ GHz}$ ), que, clasificadas por rangos de frecuencia, son las siguientes:
- Desde 3kHz a 30 kHz (VLF):  
Antenas de radionavegación y radiodifusión modulada, monitores de ordenador, sistemas antirrobo.
  - Desde 30 kHz a 300 kHz (LF):  
Pantallas y monitores, antenas de radiodifusión, comunicaciones marinas y aeronáuticas, radiolocalización.
  - Desde 300 kHz a 3 MHz (HF):  
Radioteléfonos marinos, radiodifusión AM, termoselladoras.
  - Desde 3 MHz a 30 MHz:  
Antenas de radioaficionados, termoselladoras, aparatos para diatermia quirúrgica, sistemas antirrobo
  - Desde 30 MHz a 300 MHz (VHF):  
Antenas de radiodifusión, frecuencia modulada, antenas de estaciones de televisión, sistemas antirrobo.
  - Desde 300 MHz a 3 GHz (UHF):  
Teléfonos móviles, antenas de estaciones base de telefonía móvil, hornos de microondas, aparatos para diatermia quirúrgica, sistemas antirrobo.
  - Desde 3 GHz a 30 GHz (SHF):  
Antenas de comunicaciones vía satélite, radares, enlaces por microondas.
  - Desde 30 GHz a 300 GHz (EHF):  
Antenas de radionavegación, radares, antenas de radiodifusión.

## **EFFECTOS BIOLÓGICOS Y EFFECTOS SOBRE LA SALUD DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.**

La Recomendación del CMSUE dirigida a limitar la exposición a los CEM tiene por finalidad proteger al organismo humano de los efectos

conocidos y que pudieran ser motivo de riesgo para la salud de los ciudadanos. Según definición de la Organización Mundial de la Salud (OMS) la salud es un estado de bienestar físico, mental y social, no meramente la ausencia de enfermedad o trastorno.

Un efecto biológico se produce cuando la exposición a los CEM provoca una respuesta fisiológica detectable en un sistema biológico. Un efecto biológico es nocivo para la salud cuando sobrepasa las posibilidades de compensación normales del organismo.

Cuando un sistema vivo es sensible a CEM de una determinada frecuencia, la exposición puede generar modificaciones funcionales o incluso estructurales en el sistema. Por ejemplo, la pupila puede experimentar una contracción cuando el ojo es expuesto a un CEM intenso con frecuencias propias del espectro visible. Nuestro organismo está biológicamente preparado para estas respuestas como parte de sus mecanismos de adaptación al medio. Estas modificaciones, en condiciones normales, son reversibles en el tiempo, de forma que, cuando desaparece el estímulo, el organismo vuelve a su condición de equilibrio inicial. Para que se produzcan alteraciones perjudiciales, las modificaciones inducidas tienen que ser irreversibles. Es decir, una vez eliminado el estímulo, el sistema biológico no vuelve a su situación de equilibrio inicial. En este caso es cuando podemos esperar que el sistema entre en un proceso que conduzca, en el tiempo, a una situación de riesgo de enfermedad.

En los últimos veinte años, programas de investigación en todo el mundo han realizado avances significativos en la caracterización las interacciones posibles de los CEM y los organismos vivos, destacando los estudios sobre los efectos biológicos de los CEM y los mecanismos biofísicos implicados en tales efectos. También se ha profundizado en la cuestión de la relevancia que los efectos biológicos de los CEM detectados experimentalmente tienen para la salud; es decir, sobre si los resultados obtenidos en laboratorio son o no indicativos de efectos potencialmente nocivos, y si es alta o baja la probabilidad de que tales efectos se den en el organismo humano bajo condiciones reales de exposición. Asimismo, se ha investigado sobre si los efectos biológicos inducidos en los seres vivos por la presencia de CEM son transitorios o permanentes y, finalmente, si dichos efectos biológicos pueden tener aplicaciones terapéuticas o, por el contrario, consecuencias negativas para la salud.

Las evidencias científicas disponibles acerca de los efectos biológicos y de los efectos de los CEM sobre la salud son muy numerosas. Por ejemplo, en los 3 últimos años se han publicado alrededor de 900 artículos en revistas científicas internacionales, que a su vez han sido objeto de más de treinta recopilaciones y revisiones realizadas por expertos y recogidas en documentos monográficos, libros y prensa especializada. Está fuera de nuestro objetivo redactar una revisión

bibliográfica pormenorizada. Sin embargo, para alcanzar el nivel de información que este documento requiere, es preciso realizar un examen exhaustivo de las evidencias científicas, analizar éstas en su conjunto considerando los hallazgos en un contexto general, valorar si los datos científicos son o no concluyentes y aplicar un "principio de precaución" cuando las evidencias sean discrepantes o existan aún cuestiones abiertas.

## **RESUMEN DE LA EVIDENCIA SOBRE EFECTOS BIOLÓGICOS DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS**

Para investigar los efectos biológicos de los CEM en el laboratorio, se han venido utilizando dos tipos de estudios: los llamados "in vitro", es decir, estudios sobre células aisladas en placas o tubos de ensayo; y los estudios "in vivo", que se realizan sobre animales o personas expuestos. Así se sabe que los CEM, en algunos experimentos y bajo determinadas condiciones, inducen ciertos efectos biológicos que a continuación resumimos.

### 1) Efectos Biológicos sobre el Sistema Nervioso

Al parecer, muchos de los efectos biológicos que se han presentado en animales o seres humanos que fueron expuestos a CEM se relacionan con interacciones del campo eléctrico o magnético sobre el sistema nervioso. Una interacción de los CEM con el sistema nervioso resulta en principio un efecto biológico previsible, aunque no necesariamente de consecuencias nocivas, puesto que el sistema nervioso desempeña normalmente el papel principal en las interacciones de los seres vivos con los estímulos del entorno que les rodea; estímulos que en su mayoría consisten en agentes físicos o químicos. Puesto que determinados CEM son capaces de actuar sobre el sistema nervioso, se ha pensado que otros sistemas u órganos pudieran igualmente verse también afectados de forma indirecta durante una exposición a CEM, a través de las conocidas relaciones funcionales neuroendocrinas. Esta hipotética forma de interacción ha sido utilizada para explicar otros efectos observados experimentalmente en los seres vivos expuestos a CEM.

Las manifestaciones biológicas detectadas en el sistema nervioso en relación con la exposición a CEM pueden originar desde respuestas fisiológicas hasta efectos nocivos, dependiendo de las características e intensidad del campo. Entre estas manifestaciones destacan los siguientes cambios:

- En el comportamiento y en las reacciones funcionales de todo o parte del organismo.

- Bioquímicos en células nerviosas.
- En la conducción del impulso nervioso.
- Variaciones e incluso alteraciones de los niveles de neurotransmisores y neurohormonas.

Los datos más relevantes aportados por este tipo de estudios ponen de manifiesto que el sistema nervioso es sensible a exposiciones relativamente prolongadas a CEM relativamente intensos. En esos casos, los efectos observados consistieron en modificaciones leves en el funcionamiento del sistema nervioso. La relevancia que tales efectos puedan tener en la fisiología y salud humanas no se conoce. Sin embargo, es preciso puntualizar que muchos de estos estudios se han realizado bajo condiciones de laboratorio muy específicas (por ejemplo en muchos de ellos se aplica un magnético estático, como el terrestre, conjuntamente con el campo alterno; igualmente otros se basan en niveles de exposición a CEM que son muy superiores a los que pueden experimentar las personas en su vida diaria).

## 2) Exposición a CEM y cambios en los Ritmos Biológicos

Un cierto número de investigaciones condujo a examinar los efectos de los campos CEM sobre los ritmos biológicos naturales, es decir las variaciones que naturalmente experimentan muchos parámetros corporales de los seres vivos a lo largo del día, los meses, las estaciones del año, etc. Muy particularmente, merecen atención especial dentro de este apartado las investigaciones de laboratorio relacionadas con la hormona melatonina y el control de los ritmos biológicos.

La luz visible, que es una zona del espectro electromagnético, modula la síntesis de melatonina, y por ello, numerosos laboratorios han abordado la cuestión de si otras frecuencias, no visibles, del espectro pueden modificar también su producción.

El interés por desvelar este interrogante se ve incrementado por el hecho de que, según algunos experimentos de laboratorio, la presencia o ausencia de melatonina parecen influir en el desarrollo y crecimiento de ciertos tumores. Además se han detectado bajos niveles de melatonina en algunos enfermos de cáncer.

Unos primeros estudios experimentales con ratas y hámsters señalaron la posibilidad de que la exposición a campos electromagnéticos impidiera el aumento nocturno normal en la secreción de melatonina. Otros estudios sobre el mismo tema sugieren que los cambios del

funcionamiento de la glándula pineal en ratones y ratas expuestos a CEM son además sensibles a la oscilación de los campos. Como contrapunto conviene mencionar que estudios posteriores, realizados sobre ovejas que vivían bajo una línea eléctrica de 500 kV y primates (mandriles), expuestos a distintos CEM de intensidades entre 50 y 100  $\mu\text{T}$ , no han demostrado que se modifique la secreción de melatonina, ni que se produzca efecto alguno ligado a ella. Estas discrepancias pueden deberse bien al modelo animal utilizado, bien a que las condiciones de exposición en el laboratorio sean sustancialmente diferentes de las reales usadas en los experimentos sobre ovejas. Resultados en trabajadores expuestos crónicamente a CEM intensos y en voluntarios expuestos a distintos niveles de inducción magnética (1 y 20  $\mu\text{T}$ ) durante una noche, han proporcionado resultados dispares debidos, en parte, a diferencias metodológicas. En su conjunto, los estudios no han proporcionado evidencias consistentes de cambios irreversibles o significativos en los niveles de melatonina. Esto vendría a apoyar la idea de que el modelo animal y la metodología experimental empleada pueden resultar fundamentales en la detección de los efectos.

En definitiva, parece evidente que bajo determinadas circunstancias experimentales los CEM por encima de determinados valores de intensidad pueden alterar el reloj biológico en mamíferos. No obstante, es difícil extrapolar las posibles consecuencias que estos resultados pueden suponer para la salud.

### 3) Exposición a CEM y cáncer

A pesar de que todavía se conoce poco sobre las causas de cánceres específicos, se comprenden lo suficientemente bien los mecanismos de la carcinogénesis como para que los estudios celulares y en animales puedan proporcionar información relevante para determinar si un agente, como por ejemplo los CEM, causa cáncer o contribuye a su desarrollo. Actualmente, la evidencia clínica y experimental indica que la carcinogénesis es un proceso que consta de varias fases, y está causado por una serie de daños en el material genético de las células. Este modelo es conocido como "de carcinogénesis de múltiples etapas". Dichas etapas son las siguientes:

**Iniciación**, como consecuencia de una serie de daños en el material genético de las células, provocados por agentes llamados genotóxicos, y que conducen a la conversión de células normales en células precancerosas.

**Promoción**, que convierte las células precancerosas en cancerosas, al impedir, por ejemplo, la reparación del daño genético, o al hacer a la célula más vulnerable a otros agentes genotóxicos, o al estimular la división exagerada y sin control de una célula dañada.

**Progresión**, que se refiere al desarrollo del tumor propiamente y de su potencial para provocar metástasis en otras zonas del organismo.

#### Genotoxicidad y CEM de Frecuencias bajas

Existen numerosos estudios sobre campos de frecuencia industrial y de radiofrecuencia en relación con la genotoxicidad, que incluyen unos 150 test distintos de actividad genotóxica. Estos análisis son mayoritariamente negativos, a pesar del hecho de que muchos han utilizado intensidades de campo muy elevadas. De los estudios que muestran indicios de genotoxicidad, la mayoría contienen una mezcla de resultados positivos y negativos, o resultados ambiguos. Como la mayoría de estas publicaciones contienen muchos subestudios, la presencia de algunos datos con resultados positivos o mixtos es explicable por simple azar. Ninguno de los resultados positivos obtenidos en experimentos con animales ha sido replicado. Muchos de los trabajos que han reportado resultados positivos han utilizado condiciones de exposición (por ejemplo, descargas eléctricas, campos pulsados, campos de 20.000  $\mu\text{T}$  y superiores) que son muy diferentes de las que se encuentran en la vida real.

Por último, no hay ninguna evidencia replicada de que los campos de frecuencia industrial sean promotores o co-promotores, y los pocos estudios que han mostrado pruebas de promoción han utilizado intensidades de campos muy por encima de las que se encuentran en la vida real.

#### Genotoxicidad y promoción tumoral de radiofrecuencias (telefonía móvil)

Según la mayoría de los artículos, los campos de radiofrecuencias, y en particular las frecuencias utilizadas por los teléfonos móviles, no son genotóxicas: no inducen efectos genéticos *in vitro* [en cultivos celulares] e *in vivo* [en animales], por lo menos bajo condiciones no térmicas [condiciones que no producen calentamiento], y no parecen ser teratogénicas [causar malformaciones congénitas] o inducir cáncer. Podría haber, únicamente, sutiles efectos indirectos en la replicación y/o transcripción de los genes bajo condiciones de exposición relativamente restringidas que se alejan de las condiciones reales.

Puede decirse como conclusión que, en general, los estudios de promoción del cáncer a las intensidades encontradas en la vida real no han demostrado que los CEM "no ionizantes" sean agentes o promotores del proceso cancerígeno.

En resumen, los estudios de laboratorio han proporcionado indicios de que los CEM no ionizantes, de intensidades relativamente bajas, podrían inducir determinadas respuestas biológicas. Sin embargo, por

la propia metodología de esos estudios, la extrapolación de los datos a efectos sobre la salud de las personas no puede hacerse directamente.

En otras palabras, **no se ha podido comprobar que en condiciones de exposición a CEM que respeten los niveles de referencia de la Recomendación del CMSUE los efectos biológicos observados experimentalmente impliquen o signifiquen un riesgo para la salud.** No obstante, el interés de los estudios que han revelado respuestas biológicas a CEM débiles es indudable. La importancia de estos estudios radica en que nos ayudan a formular, como en el caso de la melatonina, hipótesis sobre los posibles mecanismos de acción de estos campos. Y la identificación de tales mecanismos podría ser crucial para la interpretación de estudios epidemiológicos sobre colectivos de personas expuestas a CEM de fuentes distintas.

## **MECANISMOS BIOFÍSICOS IMPLICADOS EN LOS EFECTOS BIOLÓGICOS DE LOS CEM**

Un aspecto importante para entender los posibles efectos de los CEM sobre los seres vivos es determinar los mecanismos físicos mediante los cuales un campo eléctrico o magnético puede interactuar con las estructuras biológicas.

Existen mecanismos físicos que permiten explicar cómo interactúan los campos eléctricos y magnéticos con los sistemas biológicos, estos mecanismos pueden ser de naturaleza térmica o no térmica. La interacción de una emisión electromagnética con un sistema biológico depende, como ya hemos dicho anteriormente, de la frecuencia de la emisión.

A las frecuencias propias de las radiaciones no ionizantes, como la luz visible, las radiofrecuencias y las microondas, la energía de un fotón está muy por debajo de necesaria para romper enlaces químicos. Esta parte del espectro electromagnético se conoce como no ionizante. Muchos de los efectos biológicos de la luz ultravioleta, la luz visible y de los infrarrojos, dependientes de la energía del fotón, no están relacionados con fenómenos de ionización sino con la excitación electrónica. Esta excitación no se produce a frecuencias inferiores al infrarrojo. Las radiofrecuencias y las microondas pueden causar efectos al inducir corrientes eléctricas en los tejidos, produciendo calor. La eficiencia con la cual una emisión electromagnética puede inducir corrientes eléctricas y por tanto, calor, depende de varios factores: la frecuencia de la emisión y del tamaño, la orientación y las propiedades eléctricas del cuerpo que está siendo calentado. A frecuencias inferiores a las utilizadas por la radio AM, el acoplamiento de las emisiones electromagnéticas con los cuerpos de los seres vivos es débil. Por ello, esos CEM son muy poco eficientes en la inducción de corrientes eléctricas capaces de producir calor.

Algunos investigadores han propuesto otra serie de posibles mecanismos para explicar la interacción de CEM no ionizantes con los tejidos vivos. Por ejemplo, se ha sugerido que los campos magnéticos pueden afectar al ritmo de las reacciones químicas donde intervengan pares de radicales libres; o bien a través de mecanismos de resonancia o de amplificación de señales que hicieran a las células (u organismos) especialmente sensibles a los campos. Sin embargo ninguno de estos modelos ha sido validado experimentalmente de forma satisfactoria. Por el momento, los citados modelos constituyen únicamente teorías en estudio, pendientes de confirmación.

## **RESUMEN DE EFECTOS SOBRE LA SALUD DERIVADOS DE LA EXPOSICIÓN A CEM**

Los CEM de alta intensidad pueden provocar efectos capaces de dañar la salud a corto plazo. La naturaleza de estos efectos depende de la intensidad y de la frecuencia de la señal electromagnética.

En lo que concierne a la denominada "Hipersensibilidad Electromagnética", la literatura científica menciona casos de personas que alegan sufrir reacciones adversas, como dolores inespecíficos, fatiga, cansancio, disestesias, palpitaciones, dificultad para respirar, sudores, depresión, dificultades para dormir, y otros síntomas que atribuyen a la exposición a CEM. Los resultados de los estudios que han investigado estos síntomas son a menudo inconsistentes y contradictorios. Así, se han detectado diversos factores, la mayoría de ellos ambientales, que pueden intervenir en la hipersensibilidad electromagnética; entre ellos se incluye: baja humedad, parpadeo de la luz, factores ergonómicos relacionados con el trabajo con pantallas de ordenador, enfermedades previas y síndromes neurasténicos. Las conclusiones de un Grupo de Expertos encargado de estudiar el problema (Bergqvist y Vogel Editores-DG V de la Comisión Europea) determinan que no existe suficiente evidencia de la existencia de una presunta relación causal entre exposición a CEM y la "hipersensibilidad electromagnética". De hecho, se ha podido constatar que una adecuada estrategia de comunicación del riesgo que tenga en cuenta la diferente sensibilidad, nivel de educación, exposición a contaminantes, situaciones estresantes, etc, puede contribuir a la prevención, la intervención precoz y el tratamiento de los síntomas de preocupación o inquietud por los efectos de los CEM.

### Campos de frecuencias inferiores a 100 kHz

Pueden inducir sobre todo cargas y corrientes eléctricas en los tejidos expuestos. Cuando se trate de tejidos eléctricamente excitables, como el nervioso o el muscular, y de campos muy intensos, que no se dan en ambientes residenciales u ocupacionales normales, pueden provocarse efectos nocivos a corto plazo. Las corrientes inducidas en

los tejidos (**densidades de corriente**) se miden en **amperio por metro cuadrado (A/m<sup>2</sup>)**. Es necesario tener en cuenta que las reacciones químicas propias de los organismos vivos están asociadas a corrientes basales de unos 10 mA/m<sup>2</sup>. Se ha sugerido, pues, que sólo densidades de corriente netamente superiores a este nivel basal podrían causar efectos adversos irreversibles para la salud humana. Algunos estudios han dado cuenta de una posible relación entre exposiciones crónicas a CEM débiles de bajas frecuencias y la incidencia de determinados tipos de cáncer y otras enfermedades. La metodología de estos estudios ha sido objeto de crítica debido a sus limitaciones, como se describe en otro apartado de este informe. Otros estudios no han encontrado indicios de la citada relación. En todo caso, no existen actualmente suficientes conocimientos sobre los posibles mecanismos de acción biológica capaces de explicar satisfactoriamente supuestos efectos nocivos de CEM débiles y frecuencias bajas.

#### CEM de frecuencias entre 100kHz y 10 GHz

Son capaces de penetrar en los tejidos vivos y de generar calor debido a la absorción de la energía por parte de estos tejidos. Es lo que se conoce como **efecto térmico**. La energía depositada en el tejido depende de la potencia la radiación incidente y del tipo de tejido. La profundidad de penetración de estos campos es mayor cuanto menor sea su frecuencia. Esta absorción de energía puede verse alterada por la presencia de obstáculos en el entorno. La absorción de la energía de un CEM por parte de una determinada cantidad de masa de un tejido dado se mide en términos de **Tasa de Absorción Específica (SAR, en inglés)**. La unidad de **SAR** es el **vatio por kilogramo de tejido expuesto (W/kg)**.

Las normativas internacionales de protección radiológica consideran que, en el rango de frecuencias a que nos referimos aquí, sólo exposiciones a CEM que dan lugar a valores de SAR superiores a 4 W/kg promediados en todo el cuerpo son potencialmente capaces de provocar efectos adversos en humanos. Estos efectos dependen del incremento térmico, e incluyen: respuestas fisiológicas tales como reducción en la habilidad para desarrollar algunas tareas intelectuales o físicas (incrementos térmicos cortos de 1 °C), pérdida de fertilidad en varones, daño fetal o inducción de cataratas (incrementos prolongados de 2-3 °C). Niveles SAR del citado orden de 4 W/kg, se han medido a pocos metros de distancia de antenas FM emplazadas en torres elevadas, que son inaccesibles al público.

Existen algunos estudios experimentales que sugieren que, aunque los campos generados por estas antenas son de intensidad demasiado baja como para inducir un efecto térmico notable de los tejidos, la exposición crónica a estos CEM podría tener efectos nocivos en modelos animales. Entre estos efectos cabe citar la promoción de cáncer, alteraciones electrofisiológicas y cambios en la transmisión

sináptica (comunicación entre células nerviosas) o alteraciones en la memoria-a-largo-plazo en animales. Sin embargo, estos efectos, que por sus posibles implicaciones están siendo objeto de estudio en la actualidad, no han sido confirmados por otros estudios de laboratorio o carecen de implicaciones conocidas sobre la salud humana. De nuevo, no existe en la actualidad un mecanismo biofísico capaz de justificar los supuestos efectos derivados de la exposición a niveles atérmicos de estos CEM.

#### CEM de frecuencias superiores a 10 GHz

La profundidad a la que penetran los CEM de frecuencias superiores a 10 GHz es muy pequeña, resultan absorbidos en gran medida por la superficie corporal y la energía depositada en los tejidos subyacentes es mínima. Una forma de caracterizar estos campos es a través de su **densidad de potencia**, que se mide en **vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ )**. Esta densidad de potencia es la magnitud que hay que restringir para prevenir un calentamiento excesivo de la superficie corporal a estas frecuencias. Densidades de potencia muy superiores a  $10W/m^2$  son capaces de provocar efectos adversos a corto plazo, tales como cataratas (si inciden directamente sobre el ojo) o quemaduras.

## **ANÁLISIS Y REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS**

### Estudios epidemiológicos

La valoración de los posibles efectos de los CEM sobre la salud humana se puede llevar a cabo mediante la realización de amplios estudios epidemiológicos, bien desarrollados metodológicamente y con resultados que tienen que ser reproducibles. Estas consideraciones se aplican a la evaluación de todo tipo de riesgos, pero son especialmente importantes en el caso de los CEM de muy baja frecuencia y de radiofrecuencias, ya que la evidencia experimental indica que los posibles efectos adversos sobre la salud, si existen, deben ser sutiles y difíciles de identificar.

### CEM de muy baja frecuencia (50Hz)

El primer estudio asociando los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia con la leucemia en niños se realizó en Denver, EE.UU., en 1979 (Wertheimer y Leeper 1979). Estos autores realizaron un estudio caso-control <sup>1</sup> (ver notas Anexo 1) en el que se asoció la proximidad de la residencia a cables de alta tensión con la aparición de leucemia. En este trabajo se observó que los niños considerados altamente expuestos tenían dos veces más riesgo de desarrollar leucemia que niños menos expuestos [RR= 2,3 (IC95% 1,3-3,9)].<sup>2</sup> (ver notas Anexo 1). Para estimar la exposición se valoró la distancia entre las casas y los cables eléctricos, teniendo en cuenta el tipo de cables (alta tensión,

media etc.). Este tipo de evaluación se llamó *código de cables* (wire-code) y se ha utilizado en estudios posteriores.

En los últimos 20 años se han realizado multitud de estudios sobre CEM de muy baja frecuencia y su asociación con diferentes enfermedades (leucemia, cáncer de cerebro, cáncer de mama, cáncer de testículos, enfermedades neurológicas), en diferentes poblaciones (niños y adultos), diferentes ambientes de exposición (residenciales y ocupacionales) y utilizando diferentes diseños (estudios de correlación simple, estudios de registros de mortalidad o de incidencia del cáncer, estudios de tipo caso-control y de cohorte<sup>3</sup> (ver notas Anexo 1).

Estudios de correlación. En un principio se evaluó la evolución de la incidencia de leucemia y otros tumores en el tiempo y se comparó con los cambios en el consumo de energía eléctrica. La hipótesis era que, si los CEM causasen leucemia en niños, la incidencia de esta enfermedad aumentaría conforme aumentaba el consumo de energía eléctrica de las comunidades en que vivían. Aunque la incidencia de leucemia y de tumores cerebrales en niños se ha incrementado levemente durante los últimos 20-30 años en varios países industrializados, este aumento es mucho menor que el correspondiente al consumo eléctrico. Este tipo de comparación es, sin embargo, poco informativa. Primero, porque no evalúa la exposición real de la población a los CEM. El simple aumento en el consumo no significa necesariamente un aumento paralelo en la exposición a los CEM, dados los cambios en las formas de distribuir la corriente eléctrica, el alumbrado de los edificios y la fabricación de los aparatos eléctricos. En segundo lugar, este tipo de correlaciones son válidas solamente si el agente evaluado es un factor principal de riesgo para la enfermedad estudiada, tal como ocurre en el caso del tabaco como agente causante de cáncer de pulmón.

Estudios ocupacionales. Se han evaluado multitud de datos de registros de mortalidad e incidencia de enfermedades en trabajadores en ocupaciones industriales con exposición alta a CEM, como los soldadores, algunos trabajadores de compañías eléctricas, etc. Son numerosos los estudios publicados con resultados poco consistentes, aunque en su conjunto indican un pequeño aumento del riesgo de padecer leucemia. En un meta-análisis de 38 estudios (Kheifets et al. 1997) se encontró un riesgo de 1,2 (95% IC 1,1-1,3) para leucemia y 1,2 (95% IC 1,1-1,3) para cáncer de cerebro. Algunos de estos estudios incluyen miles de trabajadores, como por ejemplo el estudio sobre 13.800 trabajadores (Savitz y Loomis 1995) de empresas eléctricas en EE.UU. en el cual no se encontraron evidencias de una asociación con la leucemia, aunque los resultados "... sí sugieren que hay una relación con el cáncer de cerebro". En otro estudio de 223.292 trabajadores de compañías eléctricas en Francia y Canadá (Theriault y col. 1994) se evaluaron 29 tipos de neoplasias y se encontró un

aumento del riesgo en un tipo de leucemia (mielocítica aguda) y un tipo poco frecuente de cáncer de cerebro (astrocitoma).

Aparte de la leucemia y el cáncer de cerebro, la exposición a CEM se ha asociado también con la incidencia de cáncer de mama en mujeres y hombres. En algunos estudios se ha encontrado un aumento del riesgo (Pollan, 2001), pero en pocas ocasiones se evaluaron conjuntamente otros factores de riesgo conocidos que podían afectar los resultados. La ausencia de este análisis invalida las conclusiones de este tipo de estudios. El interés sobre el cáncer de mama se basa en estudios de laboratorio citados anteriormente, en los que se encontró una asociación entre exposiciones a CEM y niveles reducidos de la hormona melatonina, cuya carencia se cree que podría estar implicada en la etiología del cáncer de mama. En general los estudios en trabajadores son de difícil interpretación, especialmente cuando se evalúa un aumento del riesgo ligero, porque los trabajadores están expuestos a multitud de otros agentes además de los CEM. **Aunque en algunos estudios se encontró un aumento del riesgo de cáncer, en su conjunto los resultados son poco consistentes y raramente se ha encontrado una relación dosis respuesta.**

Estudios de exposición residencial en adultos. Se estudió la exposición debida a la presencia de cables de conducción eléctrica, así como la procedente de aparatos eléctricos de uso doméstico. Varios estudios epidemiológicos de tipo caso-control han llevado a cabo evaluaciones precisas de la exposición. Estos estudios se enfocaron sobre la leucemia y el cáncer de cerebro. Aunque algunos de dichos estudios encontraron una asociación positiva, en su conjunto, los resultados no son consistentes.

Estudios sobre leucemia en niños. Las evidencias más claras sobre un posible efecto y los estudios más elaborados se refieren a leucemia en niños<sup>4</sup> (ver notas Anexo 1). Se han publicado 21 estudios (tabla 1), en EE.UU (5), Canadá (2), Suecia (2), Dinamarca, Reino Unido (3), Grecia, Australia, Taiwan, Nueva Zelanda, Noruega, Finlandia, Alemania y Méjico. Los métodos utilizados para la evaluación de la exposición son distintos. En principio se utilizaron los códigos de cables, y estudios posteriores utilizaron medidas extensas de CEM en las casas actuales y anteriores de los niños. La estimación del riesgo asociado a leucemia es variable. Pocos estudios encuentran resultados estadísticamente significativos (indicando que los resultados no se han producido por el azar), y pocos evaluaron y encontraron una relación dosis-respuesta; entendida esta relación como la tendencia a aumentar la probabilidad de desarrollar la enfermedad cuando aumenta la exposición. Sin embargo, la mayoría de los trabajos encontraron riesgos incrementados (riesgo relativo mayor que 1). Un riesgo relativo de 1,5 significa un aumento del riesgo entre los expuestos de 50%). Uno de los estudios más amplios y exhaustivos es

el realizado por el Instituto Nacional del Cáncer de los EE.UU. (Linnet,1997).

## Riesgos Relativos

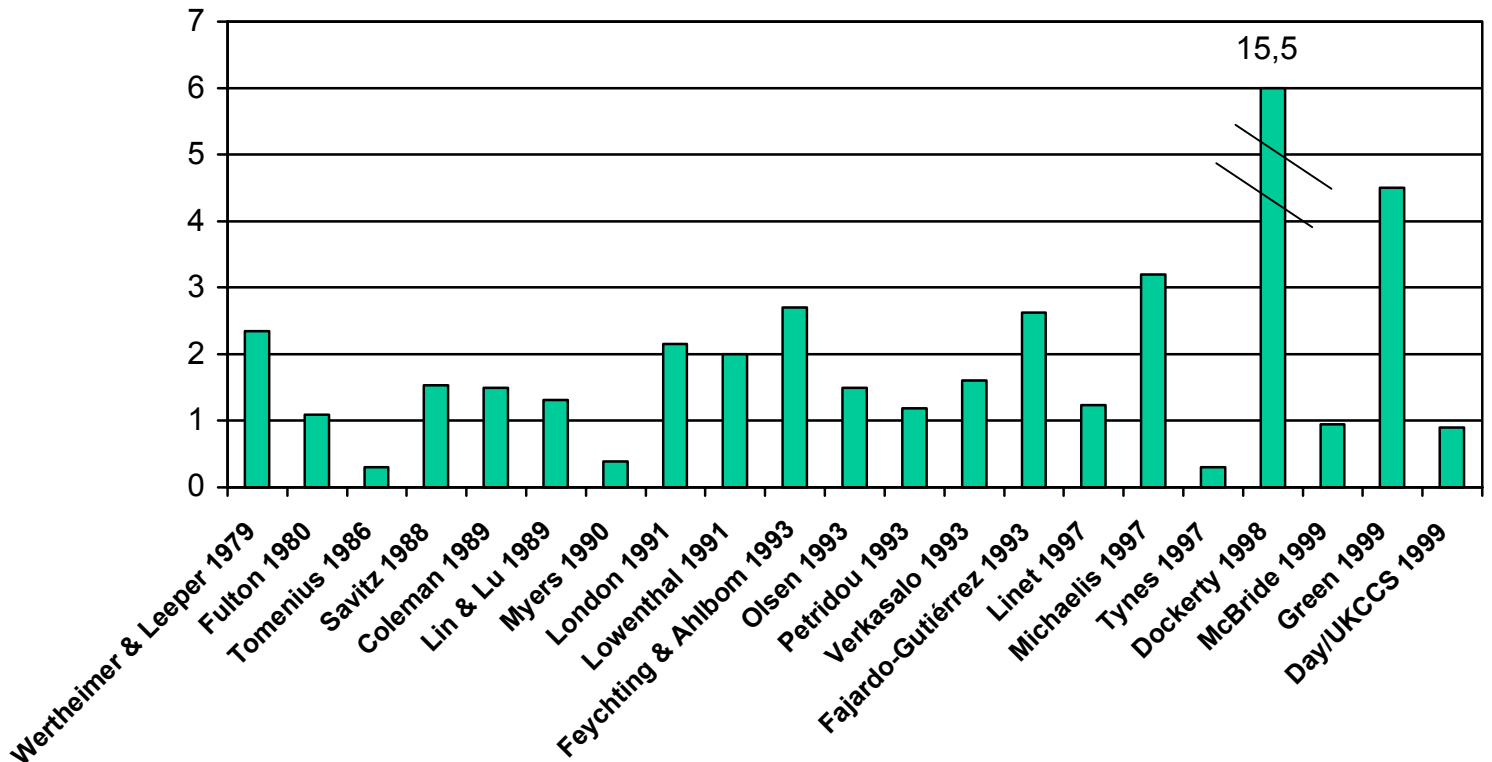


Tabla1

Resultados de 21 estudios que han evaluado la asociación entre exposición a CEM de frecuencia muy baja (FEB) y el riesgo de leucemia en niños.

En 1999 se publicó un estudio caso-control realizado en Gran Bretaña (UK Childhood Cancer Study Investigators) sobre 3838 casos y 7629 controles. **Los autores concluían que no existe evidencia de que la exposición a campos magnéticos procedentes del suministro de energía eléctrica incremente el riesgo de leucemias, cánceres de sistema nervioso central o cualquier otro tipo de cáncer en niños.**

En el año 2000 se publicaron dos análisis independientes (Ahlbom y col., 2000; Greenland y col., 2000) en los cuales se evaluaron conjuntamente diversos estudios publicados con anterioridad (Tabla 2). En el trabajo de Ahlbom y col. se re-analizaron los datos de 9 estudios (3203 niños con leucemia, 10338 controles), mientras en el meta-análisis<sup>i</sup> de Greenland y col. se analizaron los datos de 15

estudios. Ambos trabajos encontraron un aumento del riesgo del orden del 70%-100% en la categoría de sujetos con los más altos niveles de exposición, que corresponde en el estudio de Ahlbom a niños expuestos a niveles medios superiores a 0,4 microTeslas, y en el estudio de Greenland, a niveles de 0,3 microTeslas o superiores. En exposiciones más bajas no encontraron ningún incremento de riesgo para leucemia.

Ahlbom y cols 2000	
Nivel de exposición	Riesgo relativo e IC95%
$< 0.1\mu T$	1 (grupo de referencia)
$0,1-0,2\mu T$	1,08 (0,86-1,32)
$0,3-0,4\mu T$	1,12 (0,84-1,51)
$>0,4\mu T$	2.08 (1,30-3,33)
Greenland y cols 2000	
$\leq 0.1\mu T$	1 (grupo de referencia)
$>0,1-\leq 0,2\mu T$	1.0 (0.81-1.22)
$>0,2-\leq 0,3\mu T$	1.13 (0.92-1.39)
$>0,3\mu T$	1.65 (1.15-2.36)

Tabla 2. Resultados de los análisis conjuntos de estudios de leucemia en niños expuestos a CEM de muy baja frecuencia, en función de los niveles de exposición (en microTeslas). Riesgos relativos (odd ratios) e intervalos de confianza al 95%.

Aunque en ambos análisis se incluyeron miles de niños, en las categorías de alta exposición se incluye solamente un porcentaje muy bajo, que en el caso del estudio de Ahlbom suponía aproximadamente el 1% de la población. En conclusión, estos dos trabajos que resumen los resultados de los diversos estudios epidemiológicos en niños, revelan indicios de un posible aumento del riesgo en niños altamente expuestos. Los dos análisis indican claramente que algunas de las discrepancias entre los resultados de estudios individuales que utilizaron cálculos basados en códigos de cables, y los que emplearon mediciones reales de exposición, estaban sobrevaloradas. **Los autores de uno de los estudios concluyen: "En resumen, en el 99,2% de los niños estudiados, que residen en casas con niveles de exposición menores a 0,4 microTeslas no se encontraron incrementos en el riesgo de desarrollar leucemia, mientras que el 0,8% de los niños, con exposición mayor a 0,4 microTeslas, presentaron un índice de riesgo duplicado, que es improbable que se deba al azar. Las causas de este aumento son desconocidas, aunque el sesgo de selección podría explicar parte del incremento."** Los autores del otro estudio concluyen:

**“Nuestros resultados .. indican que los efectos apreciables de los campos magnéticos, si existen, están concentrados en exposiciones relativamente altas y no comunes, y que son necesarios estudios en poblaciones altamente expuestas para determinar la asociación entre campos electromagnéticos y leucemia en niños”.**

#### Estudios de acumulación de casos (clusters)

Es frecuente en salud pública la aparición de acúmulos de casos de una misma enfermedad en una zona determinada. El nombre técnico para estas acumulaciones de casos de una enfermedad es "clusters", y hace referencia a un elevado número de casos dentro de unos límites de tiempo y espacio definidos. La metodología para abordar el estudio de clusters está bien establecida, existiendo incluso guías de referencia elaboradas por centros de reconocido prestigio como el Centro de Control de Enfermedades de Atlanta (CDC). Generalmente, la magnitud de los cluster no es lo suficientemente grande como para excluir fácilmente el azar de entre sus causas. La identificación de un cluster es un problema frecuente en salud pública, y la leucemia es una de las enfermedades que tienden a producir clusters. La investigación de este tipo de problemas es muy compleja; pocas veces se llega a confirmar que un presunto cluster lo es en realidad, y raras veces se consigue determinar sus causas. Aunque es poco probable que evaluaciones futuras de posibles clusters de leucemia en las proximidades de cables de alta tensión puedan llegar a probar una asociación causal, es importante que se facilite la realización de estudios de incidencia y mortalidad en poblaciones residentes en estos lugares como mecanismo de monitorización. La consideración de que una asociación es causal la mayor parte de las veces es consecuencia de un acumulo de hallazgos y nunca de los resultados de un único estudio.

#### **Estudios epidemiológicos sobre exposición a CEM de radiofrecuencias**

El incremento registrado en el uso de los teléfonos móviles y de las nuevas tecnologías de telecomunicación por radiofrecuencias y microondas, exige una evaluación científica de los posibles efectos de estos CEM sobre la salud humana. Algunos sectores sociales demandan una información objetiva que garantice el uso seguro de dichas tecnologías.

#### **Estudios sobre personas que utilizan teléfonos móviles**

##### Riesgos de accidentes de tráfico

Estudios de psicología experimental han demostrado con claridad que, cuando se desempeñan varias tareas mentales simultáneamente, la

ejecución de las tareas es peor que cuando estas se desempeñan por separado. Los resultados de estos estudios indican que cuando un conductor habla por un teléfono móvil, su capacidad de reacción frente a situaciones de tráfico potencialmente peligrosas resulta afectada. Este tipo de efectos parece ser independiente del hecho que el teléfono sea o no de manos libres. El estudio más relevante en esta materia fue llevado a cabo en los Estados Unidos por Redelmeier y Tibshirani (1997). Estos autores mostraron que el riesgo de sufrir un accidente durante la utilización de un teléfono móvil era 4 veces más alto que en periodos de no utilización (riesgo relativo 4,3; IC95% 3,0-6,5). La utilización de sistemas de manos libres no comportaba ninguna protección (RR de 5,9) en comparación a teléfonos móviles cogidos por la mano (RR de 3,9). Entre los conductores accidentados, el 39% llamaron a un servicio de urgencias después del accidente, indicando que los móviles podían ser útiles después de un accidente.

#### Epidemiología del cáncer y otras enfermedades severas

Se han realizado escasos estudios sobre la asociación del uso de teléfonos móviles y la morbilidad (la aparición de enfermedades) o la mortalidad. No existe ningún estudio epidemiológico sobre los efectos de la exposición a CEM de las estaciones base.

Un estudio de cohortes evaluó la mortalidad de los clientes de una de las operadoras más importantes de los Estados Unidos (Rothman y col., 1996). Se evaluó la mortalidad durante un año de aproximadamente 250.000 usuarios. No se encontró ningún aumento del riesgo. Las conclusiones que se pueden deducir de este estudio son limitadas, dado el breve seguimiento de esta cohorte (un año).

**En un estudio caso-control en Suecia sobre cáncer de cerebro y uso de teléfonos móviles (Hardell y col., 1999) no se encontró una asociación, incluso en personas que hacían un uso relativamente frecuente de los teléfonos móviles.** Se encontró sin embargo una asociación que no era estadísticamente significativa, entre la aparición de tumores en las zonas (lóbulos) temporales y occipitales del cerebro y la utilización del teléfono en la misma zona. La interpretación de los resultados de este estudio no es fácil porque la metodología aplicada no era óptima y, al igual que en el trabajo de Rothman citado en el párrafo anterior, no se han podido analizar efectos que pudieran expresarse 10 años después del inicio de las exposiciones, dado que el uso de los teléfonos móviles es reciente.

Recientemente, se han publicado los resultados de dos estudios amplios sobre utilización de teléfonos móviles y cáncer de cerebro en adultos. En el primer estudio (Muscat y col., 2000) se evaluaron un total de 469 personas de edades entre 18 y 80 años con tumores primarios del cerebro y 422 controles sin dicha enfermedad. La mediana del uso mensual era 2,5 horas para los casos y 2,2 para los

controles. En comparación con personas que no habían utilizado nunca un teléfono móvil, el riesgo relativo asociado con un uso regular en el pasado o en el presente era 0,85 (IC95% 0,6-1,2). El riesgo relativo para los que utilizaban frecuentemente (>10,1 h/mes) era 0,7 (IC95% 0,3-1,4). Los riesgos relativos eran menores que 1,0 para todos los tipos histológicos del cáncer de cerebro, excepto para los neuroepiteliomas, un tipo de cánceres muy poco frecuente (riesgo relativo, 2.1; 95% CI, 0.9-4.7). **Los autores concluyen que " ...el uso de teléfonos móviles no está asociado con un riesgo del cáncer de cerebro, pero futuros estudios deberán evaluar periodos de exposición y/o latencia más largos..."**.

En el segundo estudio (Inskip y col., 2001) se evaluaron 782 pacientes con cáncer de cerebro y 799 controles (pacientes de los mismos hospitales sin enfermedades tumorales). Comparados con personas que nunca o muy pocas veces utilizaron un teléfono móvil, los que lo habían utilizado durante más de 1000 horas en su vida presentaban riesgos relativos de 0,9 para los gliomas (IC95% 0,5 – 1,6), 0,7 para meningiomas (IC95% 0,3 – 1,7), 1,4 para neuromas acústicos (IC95% 0,6 – 3,5), y 1,0 para todos los tipos de tumores cerebrales combinados (IC95% 0,6 – 1,5). No se encontraron evidencias de que los riesgos fueran más altos en personas que utilizaban teléfonos móviles durante 60 o más minutos al día o regularmente durante 5 o más años (Tabla 3). Los autores concluyen que **"...estos resultados no avalan la hipótesis de que el uso de teléfonos móviles causa cáncer del cerebro, pero los datos no son suficientes para evaluar el riesgo en personas que los utilizan con frecuencia y durante muchos años, ni para evaluar periodos de latencia largos..."**

### Utilización de teléfonos móviles y cáncer del cerebro (Inskip et al NEJM, 2001)

	Riesgo Relativo (IC 95%)
No han utilizado	1.0
Han utilizado	0.9 (0.7-1.1)
1 a 5 veces	1.0 (0.7-1.4)
Mas de 5 veces	0.9 (0.6-1.2)
Regularmente	0.8 (0.6-1.1)

**TABLA 3**

#### Epidemiología de otras enfermedades en usuarios de teléfonos móviles

En un amplio estudio transversal llevado a cabo en Suecia y Noruega se evaluaron los síntomas autodeclarados en un cuestionario enviado por correo a 11.000 usuarios de teléfonos móviles (Mild y col., 1998). Un 13% de los participantes Suecos y un 30% de los Noruegos indicaron que tenían al menos un síntoma como cansancio, dolor de cabeza, calor alrededor de la oreja, que ellos mismos atribuyeron a la utilización de teléfonos móviles. Sin embargo, dado los métodos utilizados en este estudio y en otro similar en Australia es muy difícil atribuir estos síntomas a los CEM de RF.

#### Estudios sobre personas que habitan residencias cercanas a antenas repetidoras de radio y televisión.

Los posibles efectos para la salud de la exposición a CEM de RF en trabajadores y en personas que viven cerca de otros tipos de antenas, como las de retransmisión de TV, han sido evaluados en varios estudios epidemiológicos, particularmente en relación con linfomas, leucemia, cáncer de cerebro y cáncer de mama. Existen varias revisiones publicadas sobre dichos estudios (Elwood, 1999; Moulder y col., 1999; IEGMB, 2000). Ninguno de estos estudios evalúa la exposición a CEM emitidos por teléfonos móviles o estaciones base. La mayoría de dichos estudios tiene problemas importantes

metodológicos que limitan su utilidad en la evaluación de potenciales efectos adversos y, en todo caso, proporcionan solamente evidencias indirectas sobre los posibles riesgos de la telefonía móvil.

### **Conclusiones de los estudios epidemiológicos en sujetos expuestos a RF**

**El único efecto nocivo asociado claramente con la utilización de teléfonos móviles consiste en un incremento significativo en el riesgo de sufrir accidentes de tráfico durante el uso de estos equipos.** No existen hoy día datos epidemiológicos consistentes que proporcionen indicios de que la exposición a CEM de un amplio rango de RF esté asociada al riesgo de desarrollar algún tipo de cáncer. Sin embargo, muchos de los estudios realizados hasta el presente son poco informativos y con potencia limitada para identificar efectos leves. Por esta razón, resulta imperativo ampliar las investigaciones sobre los potenciales efectos a largo plazo o crónicos derivados de una exposición intensa o prolongada a este tipo de CEM no ionizantes.

### **PERCEPCIÓN SOCIAL DE LOS RIESGOS ASOCIADOS A LOS CEM**

Existe una evidente preocupación social por los posibles efectos sobre la salud humana asociados a la exposición a CEM. El origen de esta inquietud se encuentra en la publicación, hace años, de algunos estudios epidemiológicos que asociaron la exposición a CEM de frecuencias extremadamente bajas, procedentes de líneas de alta tensión, con determinados tipos de leucemia. Esta preocupación se ha visto incrementada, en los últimos años, por la masiva instalación de antenas de telefonía y por el uso generalizado de teléfonos móviles, portátiles o celulares. Estos equipos han contribuido a elevar significativamente la exposición de los ciudadanos a CEM en el rango de las radiofrecuencias.

Son varias las razones que pueden explicar los temores a los riesgos potenciales por la exposición a los CEM. Un factor importante son algunas inconsistencias en los datos científicos. Así, son patentes las diferencias entre los resultados de los estudios basados en estimaciones teóricas de la exposición a CEM y los estudios que utilizan mediciones directas de la intensidad de la exposición. Por otra parte, aun cuando disponemos de numerosos datos experimentales que demuestran la sensibilidad de los organismos vivos a los CEM de RF y de FEB, es muy difícil la sistematización en un modelo único de los efectos inducidos. Frente a un CEM aplicado, células de tejidos humanos diferentes pueden responder de forma diferente. Como consecuencia de lo anterior, carecemos todavía de un modelo adecuado que nos permita establecer la relación entre los efectos observados en condiciones experimentales y los acontecimientos altamente complejos que pudieran conducir al desarrollo de una

enfermedad, como consecuencia de la exposición a un CEM. En otras palabras, no disponemos de pruebas experimentales convincentes y no se ha demostrado un modelo biológico plausible que justifique el desarrollo de enfermedades relacionadas con la exposición a CEM.

Otro factor relevante es que los CEM, excepto en el rango del espectro visible, no se manifiestan para nuestros sentidos. No podemos oler, oír, ver o tocar los campos electromagnéticos. Los posibles riesgos son intangibles, no se perciben de forma clara y directa y, con frecuencia se refieren a potenciales consecuencias negativas a largo plazo. La exposición a CEM se percibe como un riesgo invisible susceptible de ser controlado por las autoridades sanitarias.

Los CEM se pueden medir, pero no con instrumentos y técnicas disponibles para el público general. Sin embargo, a través de ciertos equipos de uso común, como la radio del coche, cuando estamos escuchando música desde un CD, o desde el ordenador, por ejemplo, podemos detectar un ruido de fondo que pone de manifiesto las interferencias que producen los CEM del teléfono móvil operativo, cuando lo tenemos próximo a nuestros equipos. Asimismo, el gráfico de "cobertura" que aparece en la pantalla de los teléfonos móviles, permite establecer una valoración comparativa de la intensidad de la señal a que está expuesto el teléfono (y el usuario) en el punto y momento en que tiene lugar la transmisión.

Los posibles riesgos derivados de una exposición voluntaria son más aceptables por los ciudadanos que los involuntarios o los que dependen de las decisiones de entidades, sean estas públicas o privadas. Prueba de ello es la preocupación social por las líneas alta tensión o por la instalación de antenas de telefonía móvil, en cuyo rechazo por parte de algunos ciudadanos hay razones evidentes de impacto visual. No se percibe la misma inquietud por el uso del teléfono móvil que, por operar en contacto directo con el cuerpo, deposita mayor cantidad de energía en los tejidos que los otros sistemas citados.

No obstante, en este caso, se podría decir que la preocupación social ha surgido como consecuencia de la alerta que ha suscitado la instalación de las "estaciones de base" de telefonía móvil en el casco urbano. Hay evidentes razones estéticas o paisajísticas en el rechazo a la instalación de antenas de telefonía móvil.

En cualquier caso, es muy diferente tomar voluntariamente decisiones sobre dejar o no de fumar, o sobre utilizar o no el coche en el fin de semana, por ejemplo, que verse sometido a una radiación que el ciudadano no controla, cuyo origen, alcance, potencia o posibles efectos, desconoce. Muchos ciudadanos tampoco están informados, por ejemplo, sobre el funcionamiento del teléfono móvil, ni del hecho de que éste "deposita en el cuerpo del usuario mayor cantidad de energía" que la antena instalada en una azotea próxima.

La población desconoce la naturaleza de "esas radiaciones que recibe con más intensidad el vecino situado en el edificio situado enfrente de la antena". Por esta razón, el público ha reaccionado solicitando información. Las informaciones alarmistas o poco rigurosas desde el punto de vista científico contribuyen a generar un clima de rechazo, miedo y desconfianza sobre los efectos reales de la exposición a los CEM, independientemente de que su fuente se encuentre en las líneas de alta tensión, los electrodomésticos, las antenas de radio y televisión o las antenas de telefonía móvil. El ciudadano necesita saber que los posibles riesgos para su salud pueden controlarse y las condiciones para conseguirlo. Para poder proporcionar a los ciudadanos información fidedigna sobre posibles riesgos de los CEM para la salud, y sobre cómo se controlan esos riesgos, es necesario realizar una correcta "evaluación del riesgo" (Vargas, 1999).

### Evaluación y gestión de riesgos derivados de la exposición a CEM ambientales

La evaluación del riesgo (risk assessment) es una metodología ampliamente utilizada por numerosos organismos internacionales, que nos permite fundamentar las medidas de control de la exposición a un agente peligroso o perjudicial para la salud humana. La evaluación del riesgo se realiza en 4 etapas:

- 1) Identificación de los peligros inherentes del agente estudiado: Toxicología, propiedades físico-químicas, clínica, epidemiología, etc.
- 2) Evaluación de los efectos. Cuantificación de dosis-respuesta y de la señal-respuesta.
- 3) Evaluación de la exposición: Estimación de la magnitud cuantitativa y cualitativa, tipo, duración, distribución de la exposición en la población, severidad, etc.
- 4) Caracterización del riesgo: La interpretación de la información obtenida en las etapas anteriores permite clasificar y analizar el riesgo (aceptabilidad y percepción pública). En su fase final permite establecer la reducción del riesgo o las medidas de control, sustitución, reducción de la exposición, viabilidad, etc.

La gestión del riesgo (risk management) es un proceso de decisión más subjetivo, que implica consideraciones políticas, sociales, económicas y de gestión, necesarias para desarrollar, analizar y comparar las opciones legislativas.

En términos sencillos estas metodologías responden a las preguntas ¿Cuánto riesgo hay?, ¿Qué estamos dispuestos a aceptar? y ¿Qué deberíamos hacer?

Los potenciales riesgos derivados de la exposición a CEM pueden evaluarse con las dos herramientas que acabamos de describir; y así lo están haciendo todas las partes implicadas (científicos, industria, opinión pública, responsables políticos, etc.). El problema surge cuando la sociedad demanda a los investigadores "certezas científicas" que no están disponibles en ese momento. En ciencia se trabaja, en gran parte, sobre modelos experimentales que constituyen una simplificación de la realidad. Los resultados obtenidos son referidos siempre a unas condiciones experimentales concretas. Esto implica que la extrapolación al individuo completo de los resultados experimentales, obtenidos en modelos simplificados, no es inmediata. Por otra parte, pueden hacerse estudios en voluntarios humanos, que tienen su problemática específica de interpretación, y estudios epidemiológicos que tratan de establecer correlaciones entre la exposición de una población de ciudadanos a un CEM determinado.

En los estudios epidemiológicos el establecimiento de una relación directa dosis-respuesta es difícil de alcanzar. Además de las dificultades para realizar las medidas de la exposición a los CEM es necesario realizar un control exhaustivo de los factores de confusión. La "certeza científica" sólo puede alcanzarse tras años de investigación, durante los cuales la comunidad científica decide si existen evidencias experimentales suficientes para una correcta extrapolación de los resultados, hayan sido obtenidos en modelos sencillos o en voluntarios humanos. De acuerdo con lo expuesto, tenemos que aceptar que la información suministrada por los estudios científicos relativa a la exposición a CEM no es, por el momento, concluyente o definitiva. Este hecho, no obstante, no es consecuencia exclusiva de la naturaleza del trabajo científico en sí. Así por ejemplo, existen incertidumbres cuando se trata de definir la intensidad del campo eléctrico incidente en la cabeza del usuario del teléfono móvil. Más aún, no es posible medir la distribución de campo eléctrico en el interior de dicha cabeza. No obstante, se utilizan modelos de simulación que sirven para estimar con bastante precisión la máxima SAR (M. Martínez-Búrdalo y col., 1997-2001).

Una de las primeras dificultades es que la opinión pública no acepta esta incertidumbre y no entiende los resultados epidemiológicos en términos de probabilidad, o no se contenta con una conclusión que no es más que una ausencia de conclusión. Esto justifica la necesidad de dar información a la población sobre la metodología del trabajo científico y la incertidumbre que, dentro de unos límites, encierra. Asimismo, las autoridades competentes deben impulsar la investigación en las condiciones concretas de exposición a los CEM de distintas fuentes. Es evidente que deben adoptarse medidas eficaces para que las Normativas establecidas se cumplan bajo un control realizado por entidades independientes. Por último, el ciudadano ha de ser informado sobre las condiciones que se tienen que dar para poder

trabajar, en sus medios habituales, incluso domésticos, con los equipos eléctricos y electrónicos más familiares, en condiciones que permitan minimizar cualquier riesgo para su salud.

El ciudadano es capaz de aceptar un riesgo que sabe que está calculado. Es más fácil asumir una Normativa abierta a nuevos conocimientos y, por lo tanto, cambiante con el tiempo. Es de sobra conocido, y es admitido por el ciudadano, que no existe el riesgo nulo asociado con el desarrollo tecnológico, con el desarrollo de los tratamientos farmacológicos o con el desarrollo de las técnicas de diagnóstico clínico más modernas y sofisticadas, por citar unos ejemplos. Existen unas condiciones de riesgo que podemos definir como admisible o tolerable. El balance entre la evaluación del riesgo y las medidas necesarias para su prevención debe ser equilibrado.

Suprimir la exposición a una fuente potencial de riesgo no es siempre ni factible ni deseable. En el caso que nos ocupa de la exposición a CEM, esta exposición está ligada a actividades de las que se deriva un beneficio importante personal e incluso social: energía eléctrica, comunicaciones, ordenadores, telefonía, etc., que, de alguna forma, definen el desarrollo de los países industrializados.

La supresión o disminución del riesgo siempre tiene unos costes que deben ser evaluados desde el punto de vista de su coste-beneficio antes de su aprobación. Por ejemplo, el discutido enterramiento de las líneas de alta tensión tiene otros peligros potenciales si no se señalan correctamente las líneas enterradas. Sería necesario informar al ciudadano que descansa tranquilamente en un banco de un parque situado justo encima de la línea enterrada, o al trabajador que abre una zanja de canalización y desconoce la existencia de la línea subterránea. En este caso, y siempre informando a la población, sería más efectivo desviar los tendidos eléctricos a las distancias adecuadas, desde su ubicación en los núcleos de población, y modificar si es necesario las Normativas existentes. Todo ello con el compromiso, por parte de los Ayuntamientos, de la prohibición de extender las zonas urbanas a los espacios asignados para la ubicación de las líneas de alta tensión. Situación esta que, repetidamente y, en numerosos casos, no se ha respetado.

**La aplicación de la metodología de evaluación del riesgo a los CEM permite a este Comité afirmar, que de acuerdo con la evidencia científica revisada, no son necesarias medidas de protección adicionales, extraordinarias o urgentes, de ámbito colectivo, aparte de las dirigidas a la aplicación de la Recomendación del Consejo de Ministros de Salud de la Unión Europea. Al mismo tiempo el Comité recomienda firmemente a las autoridades sanitarias que promuevan la investigación y vigilen la evolución del conocimiento sobre los efectos de los CEM y la salud humana. Este seguimiento permitiría la adopción**

**de las medidas adicionales de control y protección sanitaria, si así lo aconsejasen nuevas evidencias obtenidas de los estudios que actualmente están en marcha.**

## **MEDIDAS ADOPTADAS POR LA UNIÓN EUROPEA**

Con el objetivo de responder a la creciente inquietud social, detectada en todos los países europeos, sobre las potenciales consecuencias de la exposición a CEM, el Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea (CMSUE) aprobó la ya citada Recomendación (1999/519/CE) relativa a la exposición del público en general a CEM (0Hz a 300 GHz). En el Anexo 2 del presente informe se describen los criterios aplicados por ICNIRP y CMSUE para el establecimiento de factores de seguridad en las Restricciones Básicas recomendadas por ellos. En el Anexo 3 se resumen los valores correspondientes a las Restricciones Básicas y los Niveles de Referencia fijados por la Recomendación del CMSUE. Esta Recomendación es el fruto del trabajo realizado por expertos de todos los países miembros y está respaldada por el informe del Comité Director Científico de la Comisión Europea. Entre las conclusiones de este Comité cabe señalar las siguientes:

1. La bibliografía científica disponible no proporciona suficiente evidencia para deducir que los CEM producen efectos a largo plazo. Por ello, no pueden establecerse límites de exposición crónica a la luz del conocimiento científico actual.
2. Los programas de investigación que se están realizando actualmente (OMS y 5º Programa Marco de la UE) pueden proporcionar una base científica apropiada para evaluar el riesgo.
3. Por lo que se refiere a los efectos agudos de los CEM de 0Hz – 300 GHz las directrices de la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP, 1998) constituyen una base adecuada para establecer límites a la exposición de la población.

Sobre esta base, la Comisión concluye que no existe necesidad de adoptar medidas urgentes, de ámbito colectivo, para la protección ante CEM, aparte de aquellas que el conocimiento científico actual justifica. No obstante, la Comisión considera imprescindible la potenciación urgente de la investigación. Asimismo, la Comisión considera evidente que cualquier Normativa dirigida al cumplimiento de unas medidas de protección para la salud del ciudadano ha de permanecer abierta, sometida a continua revisión, con objeto de incorporar nueva evidencia científica suministrada por investigaciones en curso y futuras.

A la luz de las evidencias disponibles la Unión Europea optó por elaborar una Recomendación para el control de la exposición del público a CEM ambientales. A diferencia de las Directivas o Reglamentos, una Recomendación no es de obligado cumplimiento para los Estados Miembros. La Recomendación se basa en las Directrices de ICNIRP y está dirigida a limitar los posibles efectos agudos derivados de la exposición a CEM de 0 Hz a 300 GHz. La Recomendación se refiere a la limitación de la exposición procedente de las numerosas fuentes artificiales de CEM, tales como:

- Sistemas de transporte ferroviario, metro, tranvías.
- Líneas eléctricas y aparatos eléctricos.
- Transmisores de radiodifusión.
- Sistema de telefonía móvil.
- Estaciones de base de telefonía móvil.
- Enlaces microondas.
- Radar.

En la Recomendación no se contempla la exposición profesional ni la exposición de los pacientes y voluntarios con motivo de tratamientos médicos. Tampoco se incluyen los problemas de compatibilidad e interferencia electromagnética para instrumentos médicos.

Entre las obligaciones de los Estados Miembros la Recomendación incluye las siguientes:

- Adoptar un marco de restricciones básicas y niveles de referencia. Las restricciones básicas recomendadas están basadas en aquellos efectos sobre la salud que están bien establecidas. Los niveles de referencia permiten realizar la evaluación práctica de la exposición.
- Aplicar medidas de control en relación con las fuentes específicas que dan lugar a la exposición de los ciudadanos cuando el tiempo de exposición sea importante.
- Realizar una valoración de la relación coste-beneficio de las estrategias a adoptar para la protección de la salud.
- Aplicar procedimientos normalizados o certificados europeos o nacionales de cálculo y medición para evaluar el respeto a las restricciones básicas.
- Proporcionar al público información en un formato adecuado sobre los efectos de los CEM y las medidas para prevenirlos.
- Elaborar informes sobre las medidas que se apliquen en cumplimiento de las recomendaciones.

- Promocionar la investigación sobre CEM y salud humana.

En este sentido merece la pena señalar el estado actual de la investigación en Europa y España. En los histogramas de la figura 4 se comparan, en términos de porcentajes, los volúmenes de producción científica en el área de bioelectromagnetismo y en los últimos cinco años. Los datos revelan que el primer generador mundial de información científica en la materia está representado por los Estados Unidos de América. Su competidor inmediato, a gran distancia, es el conjunto de los países europeos. Esta diferencia es un reflejo de lo que ha venido sucediendo en los últimos 20 años.

Recientemente, debido al desarrollo de nuevas tecnologías que han incrementado sensiblemente la exposición del público a CEM en el espectro no ionizante, Europa ha emprendido un importante esfuerzo de diseño y financiación prioritaria de diversos proyectos dirigidos al estudio de los efectos biomédicos de los CEM.

Actualmente están en curso varios programas de investigación bajo la responsabilidad de la OMS, el IARC, el ICNIRP y de otras organizaciones internacionales y centros nacionales de investigación de numerosos países. El programa de la OMS, iniciado en 1996, pretende coordinar diversos proyectos de investigación en curso, así como evaluar la bibliografía científica, identificar los problemas para realizar evaluaciones de riesgo fiables, promover otros programas de investigación, etc.

Hasta la fecha, la contribución española al desarrollo de la investigación en esta materia ha sido escasa, tal como se muestra en la figura. Esta carencia es difícil de justificar si tenemos en cuenta el potencial económico y científico del país y la particularmente alta percepción de riesgo por parte de algunos segmentos de la población española. La Recomendación del CMSUE exige de cada uno de los países miembros un esfuerzo para alcanzar un equilibrio en las contribuciones al estudio de la citada materia, que es considerada prioritaria dadas sus implicaciones en salud pública. Las autoridades sanitarias y académicas españolas deben arbitrar los medios necesarios para que España cumpla su compromiso de puesta al día en su compromiso de generar información científica en un volumen que sea acorde con sus capacidades.

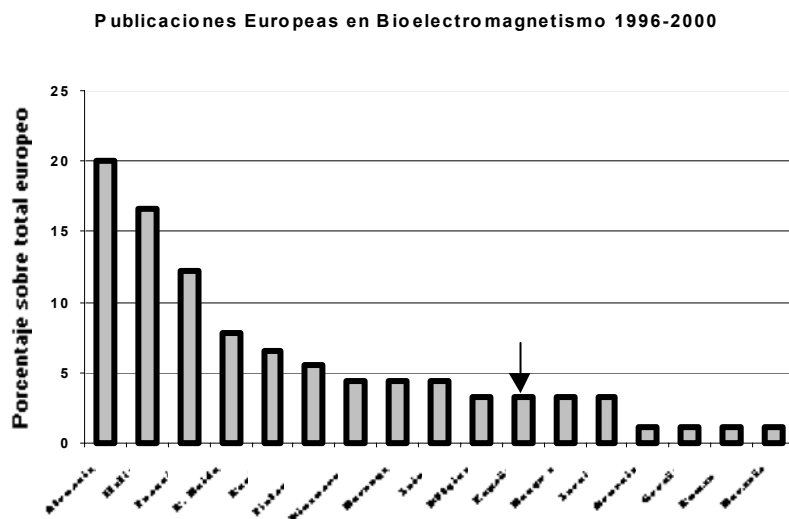
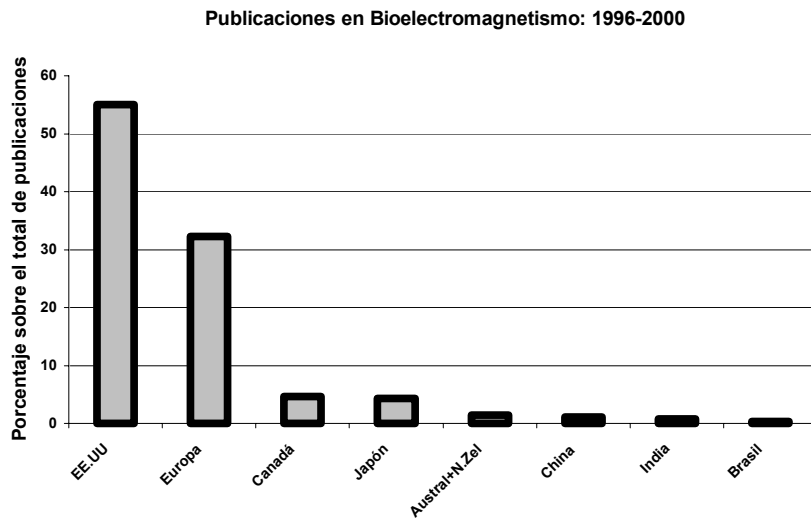


Figura 4. Estimación de la actividad investigadora española, en términos de publicación científica entre 1996 y 2000, en bioelectromagnetismo. Fuente: BEMS Journal; Revista de: la Sociedad Internacional de BioElectroMagnética, la Sociedad para la Regulación Física en Biología y Medicina, y la Asociación Europea de BioElectroMagnética

Por su parte la Comisión Europea deberá realizar las siguientes tareas:

- Promover procedimientos europeos para el cálculo y medición de los CEM.
- Priorizar la investigación sobre los efectos a corto y largo plazo de la exposición a CEM y no sólo en el caso de las

radiofrecuencias de los teléfonos móviles o las bajas frecuencias.

- Continuar participando en el trabajo de las organizaciones internacionales con competencias en la materia, a fin de garantizar la coherencia de la Recomendación.
- Elaborar en el plazo de 5 años un nuevo texto dirigido a revisar o actualizar el contenido de la Recomendación. El nuevo documento deberá tener en cuenta los informes de los Estados Miembros y los avances científicos registrados.

### **APLICACIÓN EN ESPAÑA DE LA RECOMENDACIÓN 1999/519/CE**

Con el fin de valorar la oportunidad de aplicar en nuestro país los principios establecidos en la Recomendación citada, el Ministerio de Sanidad y Consumo, por medio de la Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral de la Dirección General de Salud Pública y Consumo, organizó un Comité de Expertos procedentes de diversos ámbitos relacionados con la evaluación del riesgo de los CEM sobre la salud humana.

El objetivo de este Comité ha sido elaborar un informe técnico-sanitario que permitiera evaluar de forma independiente los riesgos reales para la salud pública. El presente informe recoge los puntos de vista de los miembros del Comité y formula un conjunto de recomendaciones finales, que deben ser articuladas en el plazo más breve posible, con el fin de informar a la población con claridad y concisión, y empleando un formato asequible al ciudadano medio. El contenido de este informe facilitará la redacción de una normativa legal que permita fijar las oportunas restricciones básicas y los niveles de referencia que establece la Recomendación. De esta forma se dará satisfacción a las numerosas propuestas de los grupos Parlamentarios del Congreso de los Diputados para que el Ministerio de Sanidad y Consumo adopte medidas eficaces en la prevención de la exposición a los CEM y el establecimiento de criterios de ordenación y control de las instalaciones susceptibles de generar CEM.

**A partir de sus conclusiones, recogidas en apartados siguientes, este Comité considera que los límites establecidos en la Recomendación del CMSUE son los adecuados actualmente para hacer compatible el uso de las tecnologías con la protección sanitaria de la población.**

## **EL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN Y LA COMUNICACIÓN DEL RIESGO**

El principio de precaución se definió como principio fundamental en el apartado 2 del artículo 174 del Tratado de la Comunidad Europea. El principio de precaución está directamente relacionado con la gestión del riesgo. Su aplicación debe ser activa sin esperar a la obtención de resultados definitivos. Es evidente que si un riesgo potencial es confirmado como real por la evidencia científica, no cabe ya la aplicación del principio de precaución, sino la adopción de estrategias técnicas, políticas y reguladoras de control del riesgo.

El principio de precaución (Doc. Com 2.2.2000) se aplica cuando una evaluación científica objetiva indica que hay motivos razonables de preocupación por los potenciales efectos peligrosos sobre la salud o el medio ambiente a pesar de los niveles de protección adoptados. El recurso de este principio implica la realización de las siguientes actividades:

- 1) Identificación de los eventuales efectos negativos provocados por un fenómeno, producto o procedimiento.
- 2) Evaluación de la incertidumbre, sesgos en los resultados de las investigaciones, validez, variabilidad, probabilidad, factor de seguridad, severidad, comparación entre especies, etc.
- 3) Evaluación científica basada en las 4 fases de la evaluación del riesgo ya citadas en el apartado correspondiente.

La intervención basada en el principio de precaución debe ser:

- Proporcional al nivel de protección elegido.
- No discriminatoria en su aplicación.
- Consistente con medidas similares, adoptadas con anterioridad para el control de otros riesgos potenciales similares.
- Basada en un análisis de los beneficios potenciales y los costes de la intervención frente a la no intervención.
- Sujeta a revisión a la luz de nuevos datos científicos.
- Capaz de atribuir la responsabilidad de proporcionar las evidencias científicas necesarias para una evaluación del riesgo exhaustiva.
- La protección de la salud pública debe prevalecer de forma incontestable sobre otras consideraciones económicas.

Estos son los principios que se han aplicado en la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea, relativa a la exposición del público en general a CEM de 0 Hz a 300 GHz.

**Las evidencias científicas sobre los efectos a largo plazo de la exposición a CEM no permiten afirmar, actualmente, que existan riesgos para la salud. Esta afirmación no significa que se descarte de manera absoluta la posibilidad de que nuevos estudios experimentales, clínicos y epidemiológicos detecten riesgos no probados actualmente.**

Por esta razón, el Consejo de Ministros de Sanidad del Consejo de la Unión Europea propone continuar la investigación a medio y largo plazo de los efectos de los CEM sobre la salud humana.

Este Comité considera que, actualmente, el cumplimiento de las restricciones básicas y los niveles de referencia establecidos en la Recomendación del Consejo son suficientes para garantizar la protección sanitaria de los ciudadanos, no son necesarias medidas más rigurosas de control o limitación de CEM. Esta afirmación coincide con las recomendaciones formuladas por el Comité de Expertos independientes sobre teléfonos móviles organizado por el Departamento Inglés de Salud (Mobile Phone and Health.W.Stewart) y por el informe de la Dirección General de Salud de Francia (Les téléphones mobiles, leurs stations de base et la santé)

Las autoridades sanitarias deben permanecer vigilantes ante las nuevas evidencias científicas que pudieran justificar la adopción de nuevas medidas reguladoras que modifiquen los valores de los límites de emisión y exposición actuales.

### **Recomendaciones para la Comunicación de riesgos**

Transmitir a la población una información objetiva, transparente y en un formato adecuado es una tarea urgente que suele tropezar con numerosos obstáculos.

Las autoridades sanitarias se ven en la obligación de tomar decisiones sobre la base de unos resultados de interpretación debido a la imposibilidad de alcanzar conclusiones absolutas o niveles de riesgo cero. El trabajo se ve dificultado aún más por la existencia de un cierto clima de alarma sensacionalista, que ha dado lugar a un ambiente de electrofobia general carente de suficiente fundamento científico. Las fobias están claramente orientadas preferentemente hacia una fuente de emisiones, las antenas de telefonía, a las que últimamente se han sumado líneas de alta tensión y transformadores de energía eléctrica, eludiendo la exposición a fuentes, instalaciones o equipos de uso cotidiano.

La comunicación del riesgo sobre los potenciales efectos adversos de los CEM debe asumir con responsabilidad, transparencia y sinceridad el estado del conocimiento científico actual. Ni podemos enfatizar las deficiencias de los estudios epidemiológicos que son contrarios a una tesis, ni tampoco es coherente citar, exclusivamente, los estudios favorables a tesis contrarias. Al mismo tiempo, los medios de comunicación social, en ocasiones, interpretan las divergencias entre estudios distintos (lo que es una constante en todas las áreas de la ciencia) como controversias entre científicos, oscurantismo o incompetencia, mientras dedican muy poca atención a la validez, diseño o calidad de las investigaciones.

El público interesado en los potenciales efectos de los CEM debe tener acceso a información seria, concisa e independiente sobre la materia. La administración debe contar con los medios para generar dicha información a través de investigaciones de calidad y para facilitar los resultados al público y a las empresas. Se recomienda también que, tanto las compañías dedicadas a la producción y distribución de energía y de equipos eléctricos, como las que fabrican o instalan sistemas para telefonía móvil, mantengan un servicio de información al público. La transferencia de información fidedigna es la mejor medida de seguridad, tanto para prevenir potenciales efectos nocivos derivados de la sobreexposición a CEM, como para evitar percepciones exageradas de riesgo que, aunque infundadas, son causa de temores y desconfianza en algunos ciudadanos.

Las propuestas de este Comité en lo referente a comunicación, van dirigidas a las autoridades y entidades competentes públicas o privadas, y son las siguientes:

- **Adaptar los mensajes a un lenguaje comprensible y objetivo que permita al ciudadano tomar decisiones bien informadas**
- **Advertir que, aunque la exposición a CEM puede provenir de numerosas fuentes, la probabilidad del riesgo para las personas expuestas es muy baja, siempre que se cumplan los niveles propuestos en la Recomendación del CMSUE.**
- **La sociedad debe ser informada para pueda decidir qué nivel de riesgo está dispuesta a asumir. Este nivel debe ser el más bajo posible, permitiendo el uso apropiado y seguro de las nuevas tecnologías.**
- **Informar sobre el elevado grado de seguridad que garantizan las regulaciones o recomendaciones nacionales e internacionales, sin infravalorar los riesgos**

que pudieran ser detectados por mínimos que estos fueran.

- **Mantener una política activa, no reactiva, de documentación e información científica, con una actualización permanente de los resultados que sean generados por estudios en curso y por investigaciones futuras.**

## **FUENTES COMUNES DE EXPOSICIÓN DEL PÚBLICO A CEM**

### **A. CAMPOS DE FRECUENCIAS BAJAS DE LAS LÍNEAS DE CONDUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

En los núcleos urbanos de las sociedades industrializadas existe una presencia ubicua y creciente de CEM de frecuencias extremadamente bajas (FEB). Estos campos provienen mayoritariamente del transporte y uso de la energía eléctrica a las llamadas frecuencias industriales (50/60 Hz). Los niveles de exposición residencial a estos campos dependen de diversos factores, tales como la distancia a líneas eléctricas locales, el número y tipo de electrodomésticos empleados en la vivienda, la configuración del cableado eléctrico de la casa, o el tipo de vivienda (unifamiliar, adosada, o apartamento). La energía eléctrica de las estaciones generadoras es distribuida hacia los centros de población a través de líneas de transporte y distribución de alto voltaje. Mediante el empleo de transformadores, se reduce el voltaje en las conexiones con las líneas de distribución doméstica. Los niveles de campo eléctricos e inducción magnética en viviendas situadas a muy pocos metros de líneas de alta y media tensión pueden alcanzar valores promedio de 1 kV/m y 3  $\mu$ T (microteslas), respectivamente (Fig. 5). Sin embargo, dado que los niveles decaen con la distancia, en viviendas construidas a unas decenas de metros de las líneas, los valores registrados presentan niveles basales (menos de 30 V/m y de 0,1  $\mu$ T).

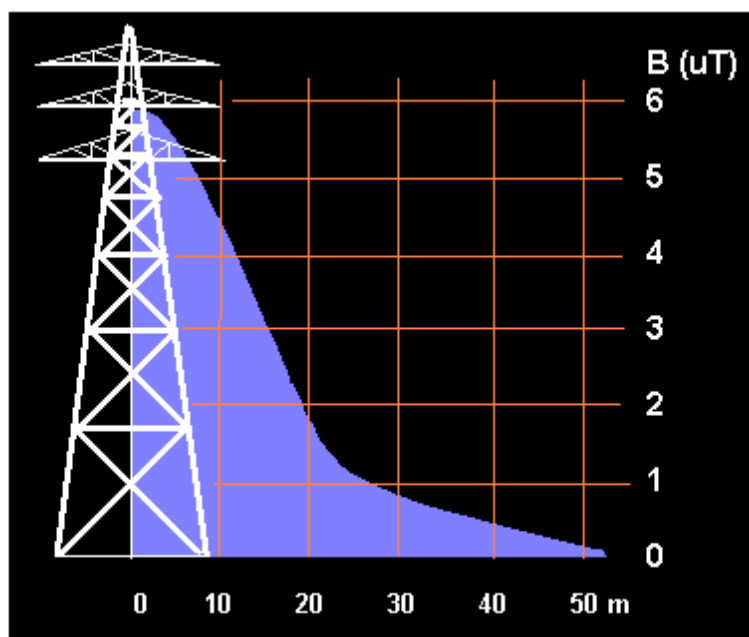


Figura 5. Valores de inducción magnética (en micoteslas,  $\mu\text{T}$ ) medidos a 1 metro de altura sobre el suelo, en las cercanías de una línea de transporte eléctrico (la torre no está representada a escala). Se observa que los valores de B se reducen significativamente al aumentar la distancia a la línea. Así, en la vertical de la línea, B podría alcanzar valores de hasta  $6 \mu\text{T}$ ; a 15 metros de la línea, B se reduciría a la mitad, y para distancias superiores a 30 metros B estaría en el orden de las décimas del microtesla. El Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea recomienda que el público no esté expuesto a niveles de B superiores a  $100 \mu\text{T}$ .

## B: LOS CAMPOS PRODUCIDOS POR ELECTRODOMÉSTICOS

En las proximidades de los electrodomésticos comunes, tales como neveras o lavadoras, existen también CEM de 50/60 Hz. A pocos centímetros de estos aparatos es frecuente encontrar valores promedio de campo eléctrico e inducción magnética de  $10 \text{ V/m}$  y  $3 \mu\text{T}$ , respectivamente. También en este caso, los niveles decrecen con la distancia a la fuente. Estas exposiciones no se consideran nocivas para la salud.

**Las mantas y almohadillas eléctricas.** En la década de 1980 se publicaron unos pocos estudios epidemiológicos que daban cuenta de moderados incrementos de riesgo de aborto temprano o de retraso en el desarrollo fetal en mujeres que usaban regularmente mantas eléctricas en sus camas durante la gestación. Aquellos modelos de mantas generaban campos eléctricos y magnéticos relativamente intensos, aunque inferiores a los niveles considerados potencialmente nocivos en la Recomendación del

CUE. Los citados resultados, que no han sido confirmados posteriormente, podrían no deberse a los CEM, sino a la exposición repetida de los fetos a excesos de temperatura generados por estos sistemas de calefacción. En efecto, la acción nociva de la hipertermia sobre el desarrollo fetal es bien conocida. En todo caso, desde aquella época los diseños de las mantas eléctricas han sido modificados, y los niveles de campos eléctricos y magnéticos emitidos por ellas se han reducido significativamente.

**Las cocinas de inducción domésticas.** Estos sistemas trabajan a frecuencias en el rango de los 25-40 kHz. En condiciones normales de empleo, los niveles de inducción magnética registrados a una distancia de 30 cm son de 0,2–0,3  $\mu\text{T}$ , aproximadamente. Los restantes parámetros eléctricos y magnéticos de estas emisiones quedan también muy por debajo de los límites recomendados por el Consejo de la UE. Así pues, en el presente no existen indicios de riesgos para la salud derivados del uso doméstico normal de cocinas de inducción (ver más adelante el apartado sobre compatibilidad con implantes activos).

**Los terminales de ordenadores** se encuentran entre los equipos eléctricos que han sido objeto de mayor cantidad de estudios. Ello se debe a lo extendido de su uso, a la proximidad de manejo y a lo prolongado y repetitivo de las exposiciones. El monitor de estos ordenadores, que funciona con el mismo principio que los aparatos de televisión, es la principal fuente de CEM en estos equipos. Dichos campos se dan en cinco rangos de frecuencia: CEM de 50/60 Hz, producidos por los sistemas de alimentación de energía y por las bobinas de deflexión vertical; campos de 15-35 kHz, de las bobinas de deflexión horizontal; radiofrecuencias débiles, producidas por el circuito eléctrico interno; rayos X muy débiles, que son absorbidos casi completamente por el cristal de la pantalla y, obviamente, CEM del espectro visible que nos permiten la visualización de las imágenes en la pantalla. Los niveles de estos campos registrados en la posición que ocupa el usuario son demasiado débiles para provocar efectos nocivos conocidos.

Entre los muchos estudios realizados sobre grupos de usuarios de ordenadores, se han descrito diversos efectos que incluyen dolores de cabeza, fatiga, afecciones cutáneas, cataratas o riesgo de aborto precoz y otros problemas en el embarazo. En general, estos estudios coinciden en señalar que no serían los CEM los causantes de los citados problemas, sino más bien otros factores ergonómicos (posición inadecuada, alta concentración de polvo u otros materiales suspendidos en el aire y atraídos por la electricidad estática) y de ambiente de trabajo (sedentarismo, ansiedad). En este sentido se ha recomendado que el borde superior del chasis de la pantalla debe coincidir como máximo con

la altura de los ojos del operador y este no debe estar a menos de 55 cm de distancia respecto de ella.

**Este Comité de Expertos considera innecesario el empleo de los sistemas de absorción de CEM emitidos por ordenadores, con excepción de los filtros contra el brillo excesivo de la pantalla.**

**Los hornos de microondas domésticos** han sido también objeto de interés por parte del público. Estos equipos funcionan a la frecuencia de 2450 MHz y, aunque la potencia de los campos de RF que se establecen en el interior del horno es muy alta, están diseñados de manera que no hay emisión de señal de microondas al exterior del aparato. No obstante, pueden producirse pequeñas fugas a través de la junta de la puerta del horno, que a 5 cm de la misma puede llegar a ser de 10 W/m<sup>2</sup>. Durante el funcionamiento el usuario situado a una distancia mayor de 1 metro recibiría una densidad de potencia inferior a 20 mw/m<sup>2</sup>.

**Un ejemplo real de exposiciones a fuentes habituales de CEM de frecuencias bajas.** La figura 6 muestra los niveles de exposición en diferentes ámbitos de la vida cotidiana en un periodo de 24 horas. El voluntario estudiado, un técnico de laboratorio, portó en su cintura, durante el periodo citado, un dosímetro capaz de registrar las densidades de flujo magnético (en microteslas) de los campos entre 30 Hz y 1500 Hz a los que estuvo expuesto. El gráfico muestra cómo los niveles de exposición en ambientes pobres en fuentes de CEM (cafetería-comedor: 3 y 5, sala con televisión: 6, o dormitorio: 7) son muy bajos (0,01-0,04  $\mu$ T). Los niveles en un ambiente ocupacional son superiores a los residenciales. Así, trabajando al ordenador (tramo 2) se alcanzan valores promedio de unos 0,08  $\mu$ T. En un laboratorio (tramo 4), los valores registrados dependieron de las características del equipo con el que se trabajaba en cada momento; alcanzándose picos de hasta 0,7 y 0,9  $\mu$ T. Se ha podido constatar que los campos registrados durante los desplazamientos en automóvil (tramos 1) tienen como fuente principal el giro de las ruedas, cuyos elementos metálicos están ligeramente imanados. Compárense estos valores con los 100  $\mu$ T fijados por la Recomendación del CMSUE para exposiciones a campos de 50 Hz (Apéndice 2 del presente documento).

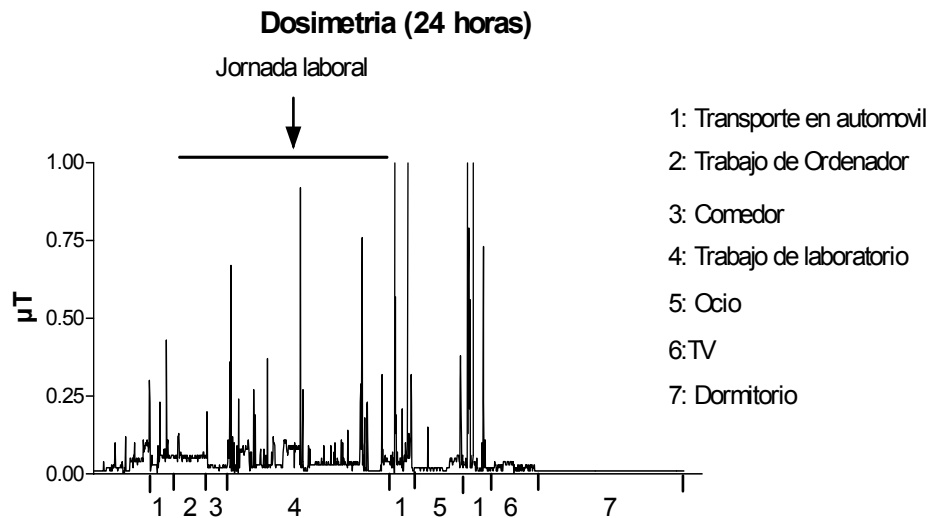


Figura 6. Registro continuo de las densidades de flujo magnético ( $\mu\text{T}$ ) de distintas fuentes, con frecuencias entre 30 Hz y 1500 Hz, a que estuvo expuesta una persona durante 24 horas de actividad normal entre semana (a partir de Úbeda y col., 2000).

### C. LAS RADIOFRECUENCIAS DE TELEFONÍA MÓVIL

En Europa, los sistemas móviles “celulares” de comunicación personal utilizan frecuencias de 900 MHz (sistemas analógicos) o de 900 y 1800 MHz (sistemas digitales, GSM). La señal de estos sistemas móviles emplea la modulación de amplitud en pulsos de duración y frecuencia controlables. La modulación habitual consiste en pulsos de 8,3 Hz y 217,4 Hz, con duraciones entre 0,57 y 6 milisegundos.

Las características de la irradiación que puede recibir un individuo difieren según la fuente de la señal sea una antena de una estación fija o un teléfono móvil. En el caso de la antena de la estación base, la distancia a la que el sujeto se encuentra habitualmente de la antena es mucho mayor que la longitud de onda de la señal. Por consiguiente, la radiación se recibe en forma de onda electromagnética plana transversal. Esta situación corresponde a la denominada exposición en “campo lejano”, en la cual el CEM queda perfectamente caracterizado por su densidad de potencia. Por el contrario, en el caso de los teléfonos, la distancia de exposición es muy corta, comparable a la longitud de onda de la señal. Se trata entonces de una exposición en “campo próximo”; una situación en la que el CEM presenta una distribución muy heterogénea que se ve drásticamente influida por la naturaleza y dimensiones de materiales cercanos (gafas metálicas u otros).

**Las antenas de estaciones base de telefonía móvil.** Las antenas de telefonía móvil son elementos necesarios para el establecimiento de la comunicación entre los usuarios de teléfonos móviles, y entre éstos y los usuarios de teléfonos convencionales. Dichas antenas se encuentran formando grupos instalados en azoteas o partes altas de edificios (en áreas urbanas), o en torres o mástiles sobre el suelo (zonas rurales), a una altura comprendida entre los 15 m y 50 m. El conjunto formado por las antenas, cableado y equipos accesorios, constituye lo que se denomina una "estación de base". Cada estación de base sólo puede dar servicio a un número limitado de usuarios, cubriendo una determinada región geográfica que constituye la "célula". De ahí que el crecimiento del número de usuarios y la necesidad de abarcar cada vez más regiones de difícil acceso, dotándoles de un servicio de mejor calidad, han obligado a incrementar el número de dichas instalaciones.

Las antenas radian haces de ondas muy estrechos en el plano vertical del emisor, y más anchos en el plano horizontal (Ver figura 7). Esto implica que la radiación hacia el interior de los edificios sobre los cuales están instaladas las antenas es muy débil. En cuanto a la radiación en espacios próximos a las estaciones base, la densidad de potencia en un punto situado en el haz de ondas depende de la potencia radiada por la antena y de la distancia del punto a la misma. La densidad de potencia es inversamente proporcional al cuadrado de dicha distancia, lo que significa que, al duplicarse la distancia a la antena, la densidad de potencia se divide por cuatro.

En la figura 6 se describen los niveles teóricos de emisión de una antena sectorial. Es necesario tener en cuenta que los valores representados en la figura pueden incrementarse si se agrupan varias antenas en una misma estación base, o si en las proximidades existieran superficies capaces de provocar reflexiones significativas de la señal.

El Consejo de la Unión Europea recomienda evitar exposiciones a densidades de potencia superiores a  $0,45-0,9 \text{ mW/cm}^2$  (para 900 y 1800 MHz, respectivamente). A partir de estos niveles de referencia, se puede realizar el cálculo de "distancias de seguridad". En condiciones estándar, los niveles máximos recomendados sólo podrían sobrepasarse a distancias inferiores a 6-8 metros (según la frecuencia de la señal emitida) a las antenas. En casos especiales, que no se ajustasen a las condiciones estándar, la valoración de la exposición podría llevarse a cabo a través de cálculos más completos que consideren las peculiaridades del caso, o mediante la toma de medidas *in situ*, siguiendo protocolos internacionales en vigor.

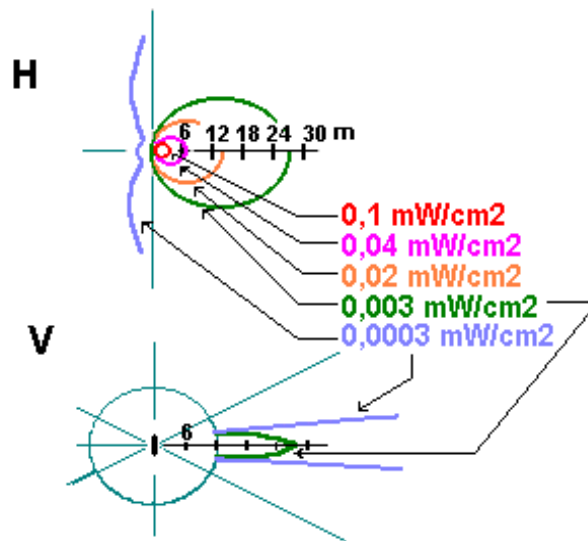


Figura 7. Niveles teóricos de emisión en una antena sectorial para una potencia de 300 W. H: Sección transversal de la emisión (horizontal). V: Sección axial (vertical). En la horizontal de la antena pueden registrarse densidades de potencia de hasta  $0,1 \text{ mW/cm}^2$  a 2 metros de la antena. A 25 metros, también en la horizontal, el valor se reduciría a  $0,003 \text{ mW/cm}^2$ . En la vertical de la antena, los valores son mucho más bajos debido a la estrecha apertura del haz. Así, si la antena está ubicada en un mástil de 15 metros, a los pies del mástil se medirían entre  $0,0001 \text{ mW/cm}^2$  y  $0,00001 \text{ mW/cm}^2$ . El Consejo de la Unión Europea recomienda evitar exposiciones a densidades de potencia superiores a  $0,45\text{-}0,9 \text{ mW/cm}^2$  (para 900 y 1800 MHz, respectivamente)

**Los teléfonos móviles.** Emiten y reciben señales a las mismas frecuencias que las antenas de las estaciones. Aunque los teléfonos emiten CEM de potencias muy inferiores a las transmitidas por las estaciones base, el cuerpo del usuario recibe, comparativamente, mucha más potencia de la antena de su teléfono móvil a causa de la proximidad de la fuente. Por ese mismo motivo, si el usuario se separa de su teléfono una distancia de 30 centímetros, absorberá 100 veces menos energía que si tuviese el teléfono aplicado a la cabeza. En efecto, la cabeza del usuario recibe los niveles más altos de exposición localizada a CEM. Los niveles para este tipo de exposiciones localizadas están limitados por los estándares internacionales y no deben superar los valores recomendados por el Consejo de la UE. Así, estudios recientes han mostrado que, en las peores condiciones de empleo y con un modelo de teléfono cuya potencia de emisión fuese tal que la SAR máxima en la cabeza tuviese un valor de  $1,6 \text{ W/kg}$ , podrían darse, en zonas intracraneales inmediatas a la antena del teléfono, microincrementos de temperatura inferiores o iguales a  $0,1^\circ\text{C}$ . Teniendo en cuenta que el tejido nervioso del cerebro, por su necesidad de equilibrio térmico, está muy fuertemente vascularizado,

se calcula que los hipotéticos microincrementos de temperatura serían disipados inmediatamente por la sangre circulante. Por otro lado, para que se produjesen daños oculares, el aumento de temperatura debería ser superior a 1° C, lo que se produciría con valores de SAR máxima en el ojo superiores a 10 W/kg (P.J. Dimbylow, 1993). Estudios recientes han mostrado que, ni en las peores condiciones de utilización de los teléfonos móviles, se superan los niveles de referencia de los estándares de seguridad en ninguna parte de la cabeza, incluido el caso de exposición directa de los ojos (M. Martínez-Búrdalo y col., 1999-2001). Por tanto, no cabe esperar efectos térmicos duraderos derivados de la exposición a CEM durante el uso del teléfono móvil.

**Los escasos estudios epidemiológicos realizados sobre usuarios de teléfonos móviles o sobre personas que habitan cerca de estaciones base, no han aportado evidencia de incrementos de riesgos de enfermedades como el cáncer entre estos sujetos.**

#### **D. OTRAS FUENTES CEM DE ESPECIAL INTERÉS**

En lo relativo a sistemas de seguridad mencionaremos básicamente dos tipos: Los sistemas antirrobo, utilizados en los comercios, y los sistemas de detección de metales, existentes, por ejemplo, en los aeropuertos, con el objeto de identificar a sujetos portadores de armas. Los fundamentos de cada uno de estos sistemas son distintos, por lo que los posibles efectos biológicos que pueden derivarse de su uso tendrán que ser estudiados también por separado.

**Sistemas antirrobo.** Están formados por una o varias antenas de RF, que habitualmente se sitúan a las salidas de los comercios, y que reciben la señal emitida por las etiquetas que no han sido desactivadas previamente, en la caja. La señal de alarma se activaría, por tanto, cuando alguien tratara de extraer algún producto marcado con etiqueta sin haberlo pagado.

Los sistemas pasivos de RF están formados por tres componentes:

- Una antena que interroga y que es a su vez lectora
- Una etiqueta pasiva interrogada y que responde
- Un ordenador central.

La etiqueta está formada por una bobina y un chip de silicio que incluye una circuitería electrónica básica de modulación y memoria ROM. La etiqueta es excitada por una señal electromagnética de RF que es transmitida por la antena lectora. Cuando la señal de RF pasa a través de la bobina, genera en esta un voltaje que, una vez rectificado, alimenta la etiqueta. La etiqueta emite entonces una señal que será recibida por la antena.

Las emisiones RF de las antenas lectoras y las etiquetas comprenden el espectro que va desde 125 kHz a 13,56 MHz. Habitualmente, en los comercios operan a 8,2 MHz. Las etiquetas emisoras, que normalmente están adheridas a los productos comprados por el cliente, pueden ser de varios tipos, siendo las más usuales las etiquetas rígidas, las flexibles o las adhesivas.

Como referencia, indicar que la normativa vigente en los Estados Unidos limita a 10 mV/m el máximo valor de campo de estos dispositivos en un radio de 30 m para la frecuencia fundamental.

**Sistemas de detección de metales.** Están basados en la generación-transmisión-recepción de campos magnéticos de baja intensidad que "interrogan" al objeto que pasa a su través. Existen dos tipos de detectores:

- Inducción de pulsos convencional. Generan repetidamente pulsos de energía magnética que pasan a través de la persona que está siendo examinada.
- Configurados con múltiples sensores de onda continua.

Funcionan de forma ligeramente distinta, generándose campos magnéticos que oscilan continuamente.

Los elementos transmisores y receptores están situados a ambos lados de los paneles. En ambos tipos de detectores, cuando el metal es introducido en el campo magnético de baja intensidad, se inducen corrientes eléctricas en los objetos metálicos que lleva la persona examinada. Las corrientes inducidas, mayores o menores en función del tamaño del objeto y del tipo de metales que lo componen, reaccionan contra el campo magnético primario (Ley de Faraday-Lenz). El campo magnético resultante es captado en un receptor, una bobina que convierte la energía magnética en energía eléctrica, que posteriormente se analizará y procesará para estudiar la variación introducida e identificar así la presencia del objeto metálico.

Los valores típicos de intensidad de inducción magnética en la región del transmisor no son uniformes, variando entre los 0,5 gauss (50  $\mu$ T) en la zona central y 2,5 gauss (250  $\mu$ T) en los extremos. Esta falta de uniformidad es normal, puesto que el campo magnético de una espira se cierra en sus extremos. Para estos valores los umbrales de detección de materiales son de 330 gramos para el aluminio (material no magnético) y 480 gramos para el hierro (material magnético) aproximadamente.

Los citados niveles no se consideran peligrosos para el público expuesto a ellos, ya que las exposiciones son poco frecuentes y de muy corta duración. Aunque no se han reportado en la literatura científica casos de disfunción en implantes activos, tales como los marcapasos, como consecuencia de dichas exposiciones, algunos médicos han expresado sospechas de algunos problemas registrados en portadores de marcapasos pudieran haberse desencadenado en las proximidades de sistemas antirrobo o de detección de metales. De hecho, muchos arcos detectores de metales cuentan con carteles que advierten que los portadores de marcapasos deben ser sometidos a pruebas alternativas de detección. Si se confirmasen las sospechas de que algunos modelos de marcapasos pudieran verse afectados por las emisiones de sistemas antirrobo, sería conveniente tomar medidas de seguridad similares a las adoptadas para arcos detectores de metales.

## **MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA**

Este Comité recomienda adoptar las siguientes medidas de protección:

### **A. MEDIDAS GENERALES**

- Las normativas internacionales, entre las que se encuentra la Recomendación del Consejo Europeo vigente en España, establecen niveles de seguridad por debajo de los cuales los CEM no provocan efectos nocivos a corto plazo para la salud humana. Dichos niveles han sido fijados sobre la premisa de que en la actualidad no existe evidencia firme sobre supuestos efectos nocivos derivados de exposiciones crónicas a CEM de niveles inferiores a los recomendados. Sin embargo, los expertos en bioelectromagnetismo admiten que los conocimientos actuales en la materia no son completos, y que es necesario investigar más profundamente sobre los supuestos bioefectos de los CEM débiles. Entre tanto, es razonable diseñar estrategias que eviten a los ciudadanos exposiciones innecesarias a estos campos.
- Como regla general, las autoridades competentes y las empresas deben procurar que los ciudadanos no se vean sometidos a exposiciones a CEM que rebasen los límites recomendados. Se aconseja que las áreas en que exista riesgo de exposición a niveles elevados sean localizadas y delimitadas y, en su caso, marcadas o aisladas mediante barreras que restrinjan el acceso.

## **B. EN EL TRABAJO**

- Las exposiciones ocupacionales a CEM intensos están reguladas por normas nacionales e internacionales. Los trabajadores deberán conocer la naturaleza de los CEM a los que pudieran estar expuestos en su ambiente ocupacional y, en su caso, recibir información o entrenamiento para evitar sobreexposiciones innecesarias.

## **C. LAS LÍNEAS DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

- Estructuras conductoras grandes tales como vallas o algunas construcciones metálicas prefabricadas, situadas en las proximidades de estas líneas, deben estar conectadas a tierra con el fin de evitar posibles descargas eléctricas al entrar en contacto con estos objetos.
- Aunque los CEM en las proximidades de las líneas no se consideren peligrosos, recientemente han sido publicados datos epidemiológicos con indicios de incrementos modestos en el riesgo relativo de leucemia en niños que han vivido muy cerca de líneas de alta tensión. Estos datos, sin constituir prueba directa de una asociación entre exposición a CEM y cáncer, ha dado lugar a una sensibilización, entre algunos grupos de ciudadanos, que es forzoso tomar en consideración. Por ello, a la hora de decidir sobre el trazado de nuevas líneas, sería conveniente tener en cuenta, además de consideraciones paisajísticas, de impacto visual y de respeto al entorno natural, la citada sensibilidad de algunos sectores de opinión. Para ello deben articularse los sistemas que permitan a los representantes de los ciudadanos participar en las decisiones sobre determinados tramos del trazado (proximidad de escuelas, áreas de recreo, hospitales, etc.). Algunas comunidades, atendiendo a los citados criterios, han establecido pasillos de terreno no edificable reservados para el tendido de futuras líneas eléctricas.
- El simple enterramiento de las líneas a poca profundidad no reduce las emisiones a no ser que el enterramiento incluya sistemas de apantallamiento de los CEM. Estos sistemas son muy costosos y su utilización no está recomendada si no es en tramos muy cortos.

## **D. LAS ANTENAS DE LAS ESTACIONES BASE PARA TELEFONÍA MÓVIL**

- Las estaciones bases instaladas en azoteas o en puntos donde puedan ser eventualmente accesibles al público deberían contar con barreras o señales que eviten el acceso de personal no autorizado a zonas donde la exposición pueda superar niveles recomendados por el CMSUE. Estas medidas son particularmente recomendables en azoteas que pudieran ser frecuentadas por vecinos que las utilicen como tendederos o solarios.

Las distancias mínimas de seguridad a las antenas de las estaciones de base, deducidas de los niveles Recomendados por el Consejo de Ministros de la Unión Europea (1999) dependen de las potencias de las mismas. En la Figura 8, se representan dichas distancias en función de la potencia isotrópica radiada equivalente (p.i.r.e.) en el espacio libre, en la dirección y sentido de exposición, para las frecuencias de 900 MHz y 1.800 MHz. Si las antenas están instaladas en azoteas o tejados hay que considerar, además, un factor de seguridad que tenga en cuenta las posibles reflexiones. Como ejemplo, para una estación base que radiase, en una determinada dirección y sentido, con una hipotética p.i.r.e. máxima de 2.500 vatios, a 900 MHz, se calcula que, incluso considerando posibles reflexiones, sería suficiente que las personas o viviendas próximas a la estación de base estuviesen situadas a una distancias de unos 10 metros, en la dirección horizontal, para estar en zona de seguridad en caso peor de exposición.

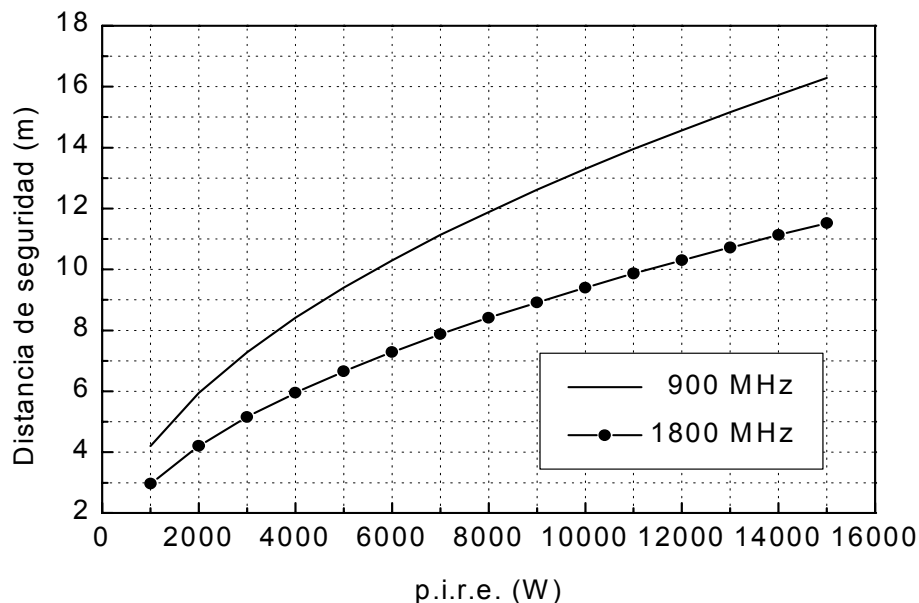


Figura 8. Distancia mínima de seguridad en función de la potencia radiada en el espacio libre

Dado que las potencias que se utilizan en las instalaciones actuales no alcanzan los valores del ejemplo anterior, y teniendo en cuenta que los muros y tejados absorben o reflejan una parte significativa de la radiación electromagnética a estas frecuencias, no existe en el presente necesidad de establecer distancias de seguridad superiores a 20 metros en lo que respecta a la instalación de estaciones de base en las proximidades de las viviendas.

- **Sin embargo, es recomendable evitar la instalación de antenas base cercanas a espacios sensibles, como escuelas, centros de salud o áreas de recreo, con el fin de prevenir en la población vecina percepciones de riesgo no justificadas.**
- En cualquier caso, en la instalación de nuevas estaciones en azoteas deberían tomarse las siguientes precauciones:
  1. La instalación deberá ser diseñada de forma que se eviten posibles daños a la estructura de las viviendas inmediatas, tales como aparición de grietas debidas a tensiones o vibraciones causadas por la estación.
  2. Deberá existir un aislamiento acústico suficiente para evitar a los vecinos molestias causadas por ruidos o vibraciones producidos por la estación. Estas vibraciones han sido asociadas en ocasiones con episodios de insomnio y tensión nerviosa

sufridos por ciudadanos que habitan viviendas situadas inmediatamente debajo de estaciones diseñadas incorrectamente.

3. La compañía instaladora deberá proporcionar a los representantes de los vecinos y a las autoridades competentes un informe en el que consten las potencias media y máxima emitidas por el conjunto de las antenas de la estación. Sería altamente recomendable que el informe incluyera un mapa de potencias en función de la distancia a la base, con información sobre la diferencia entre las potencias calculadas y las recomendadas por la Recomendación del CMSUE. Esta información deberá ser lo más concisa posible y estar presentada en unos términos comprensibles para personas con un nivel de educación medio. Esta medida ayudaría a conseguir una comunicación fluida entre las partes, facilitando la confianza y la negociación en términos justos y de búsqueda de beneficios mutuos. En el caso de que con posterioridad a la instalación se decidiera añadir nuevas antenas a la misma base, la compañía debería emitir un nuevo informe en los mismos términos que el descrito anteriormente. Los citados informes deberían estar a disposición de los representantes de los vecinos de inmuebles colindantes, si estos los solicitasen.
4. Se recomienda realizar inspecciones periódicas, por una entidad reconocida administrativamente, que garanticen el cumplimiento de los requisitos técnicos de autorización y control de los límites de emisión.

## **E. LOS TELÉFONOS MÓVILES**

- Como se dijo anteriormente, la evidencia experimental y epidemiológica no ha proporcionado indicios firmes de posibles efectos nocivos derivados del uso de los teléfonos móviles. Sin embargo, es comprensible que a falta de nuevos datos, que deberán ser proporcionados por estudios en curso, algunos usuarios deseen reducir en la medida de lo posible su exposición a los CEM emitidos por esos teléfonos. Para facilitar a estos ciudadanos la satisfacción de ese deseo, se recomienda que el manual de uso de los teléfonos contenga información clara y concisa sobre la potencia de sus emisiones, incluyendo un mapa de potencias en función de la distancia a la antena y su comparación con los niveles recomendados por el CMSUE.
- La eficacia de cubiertas o fundas para los teléfonos, que supuestamente absorben los CEM emitidos, no ha sido confirmada, por lo que este Comité de Expertos no puede recomendar de forma genérica el empleo de dichos productos.

En su lugar, aquellas personas que hacen un uso prolongado del teléfono móvil podrían optar por un "sistema de manos libres", que les permitirá mantener el teléfono alejado de su cabeza durante la comunicación.

**Con el fin de que el consumidor pueda elegir el teléfono más adecuado a sus necesidades, se recomienda que las compañías fabricantes clasifiquen y etiqueten sus productos en función de sus potencias de emisión. Puesto que el etiquetado debe ser fácilmente comprensible por el usuario, un código de colores, por ejemplo, podría cumplir el objetivo deseado.**

## **F. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA**

El espectacular incremento que ha experimentado en los últimos años el uso de equipos eléctricos y electrónicos, ha hecho que también haya aumentado la posibilidad de que unos equipos puedan interferir con otros debido a sus propiedades electromagnéticas. Surge entonces un problema de compatibilidad electromagnética (CEM). Los diferentes voltajes junto con las corrientes que circulan en un sistema producen campos electromagnéticos, que a su vez dan lugar a voltajes y/o corrientes inducidas no deseadas en otros equipos, es decir, *a ruidos o interferencias*. La compatibilidad electromagnética de un dispositivo electrónico se puede definir como su habilidad para no introducir alteraciones electromagnéticas que pudieran perturbar por accidente el funcionamiento de un sistema remoto distinto. Cuando un dispositivo interacciona o perturba el funcionamiento de otro, se dice que "que existe acoplamiento entre los sistemas". Este acople entre sistemas puede producirse a través de capacidades o inductancias, por radiación (ondas electromagnéticas), por conducción (conexión directa entre ambos equipos), o por combinaciones de conducción y radiación tal y como se indica en la Figura 9.

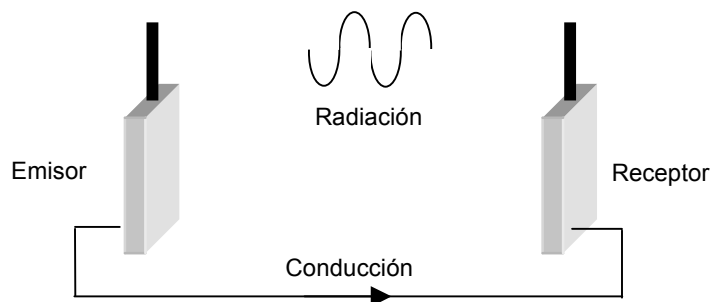


Figura 9. El acople entre el emisor y el receptor se puede producir por ondas (radiación) o través de un cable que una directamente el emisor con el receptor (conducción) o mediante combinaciones de conducción y radiación.

En mayo de 1989 la UE aprobó la directiva 89/336/EEC sobre compatibilidad electromagnética; esto es, la directiva para la operación simultánea y compatible electromagnéticamente de distintos equipos. Esta directiva es de obligado cumplimiento a partir del 1 de enero de 1996 para todos los equipos eléctricos y electrónicos comercializados en cualquiera de los países pertenecientes a la UE. Esta directiva impone el cumplimiento de dos limitaciones esenciales: a) el dispositivo o sistema no puede interferir con el funcionamiento de equipos de radio o telecomunicación (límite de emisión) y b) el propio sistema debe ser inmune a perturbaciones electromagnéticas procedentes de otras fuentes tales como transmisores de RF y otros equipos (límite de inmunidad).

Los problemas de compatibilidad electromagnética son muy variados. Así por ejemplo, el ruido eléctrico generado por el sistema de encendido de un automóvil produce interferencias en la radio; un robot puede ejecutar alguna acción fuera de control como consecuencia de la interferencia de un pulso electromagnético, o una interferencia puede perturbar los sistemas de navegación y control de un avión.

Un tipo frecuente de interferencia es el producido por campos magnéticos ambientales de frecuencias bajas y densidades iguales o superiores a  $1 \mu\text{T}$ , que pueden afectar al correcto funcionamiento de terminales de ordenadores. Estos campos, que suelen provenir del cableado eléctrico o de los transformadores para el suministro de energía a los edificios, provocan oscilaciones en la imagen de la pantalla que pueden ocasionar serias molestias al usuario. El problema suele resolverse trasladando el puesto de trabajo a una zona de menor inducción magnética. Cuando esto no es factible, los niveles de exposición pueden ser reducidos notablemente mediante sencillas modificaciones de la instalación eléctrica. En algunos casos, sin embargo, ha sido necesario optar por el apantallamiento de las

unidades mediante cubiertas de materiales con permeabilidad magnética elevada.

En el caso de sujetos portadores de implantes activos, tales como marcapasos o implantes cocleares, un problema de compatibilidad electromagnética puede tener consecuencias particularmente serias. En principio el diseño de estos implantes debería ser inmune a las citadas interferencias, pero la rápida evolución que han conocido algunos sistemas de telecomunicación o determinadas terapias que emplean CEM relativamente intensos, dificulta un avance paralelo en el diseño de estrategias de "inmunidad" electromagnética de los implantes. Por ello, el usuario de sistemas implantados debe, en caso de duda, consultar a su médico sobre la posible susceptibilidad del modelo de implante de que es portador. Asimismo, antes de someterse a terapias o a sistemas de diagnóstico que conlleven una exposición a CEM, estas personas deben informar de su condición de portadoras al personal clínico encargado de suministrar el tratamiento. La siguiente tabla resume algunas condiciones de incompatibilidad que se pueden dar con frecuencia en la vida cotidiana.

## CONDICIONES FRECUENTES DE INCOMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA

	Implantes activos (Marcapasos)	Prótesis Metálicas	Grapas o partículas metálicas	Otras condiciones
Diagnóstico por Resonancia Magnética	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b> <sup>1</sup>
Terapia por Microondas	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b> <sup>1</sup>
Terapia por Onda corta	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b> <sup>1</sup>
Magnetoterapia	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b> <sup>1</sup>
Detectores metales (aeropuertos)	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
Detectores antirrobo (comercios)	<b>NO</b> <sup>2</sup>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
Exposiciones ocupacionales a CEM intensos	<b>SI</b> <sup>3</sup>	<b>SI</b> <sup>3</sup>	<b>NO</b>	<b>SI</b> <sup>1,3</sup>
Hornos microondas domésticos	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
Cocinas inducción domésticas	<b>NO</b> <sup>4</sup>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
Otros electrodomésticos	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
Viviendas próximas a líneas alta tensión	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
Viviendas próximas a estaciones base	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
Usuario de teléfono móvil	<b>NO</b> <sup>5</sup>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>SI</b> <sup>6,7,8</sup>
Proximidad a usuarios de teléfono móvil	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>SI</b> <sup>6,7,8</sup>

### Notas:

SI: Conviene tomar precauciones e informarse de los posibles riesgos. Esto no implica que en ausencia de precauciones la exposición provocaría necesariamente un daño para la salud.

NO: No sería necesario tomar precauciones especiales

1: Las mujeres gestantes deben informar de su condición a la persona responsable del equipo.

- 2: Aunque no existe casuística suficiente, algunos casos de disfunción en determinados modelos de marcapasos han sido achacados a interferencias con sistemas antirrobo instalados en las salidas de los comercios. Los responsables de estas instalaciones deben velar para que la potencia de los CEM en estos sistemas no exceda los niveles mínimos necesarios.
- 3: Dependiendo de la naturaleza de la exposición. Los trabajadores deben informarse sobre las características del ambiente electromagnético en que desempeñan sus tareas.
- 4: No se ha descrito ningún caso de disfunción en marcapasos achacado al uso de cocinas de inducción. Sin embargo, estudios de laboratorio indican que, en condiciones adversas extremas y haciendo un uso inapropiado del sistema, algunos modelos de marcapasos podrían ser susceptibles a los CEM. Los portadores de marcapasos que sean usuarios de estas cocinas deberán poner atención al correcto manejo de dicho electrodoméstico.
- 5: Un análisis de riesgos revela que podrían darse problemas de mal funcionamiento del implante en 1/100000 portadores de marcapasos (Irnich y col. 1996). Estos autores recomiendan el uso de marcapasos compatibles y la adopción de medidas de precaución tales como evitar portar el teléfono en el bolsillo de la chaqueta o camisa próximo al implante. Asimismo, por un principio de cautela se recomienda mantener el teléfono a una distancia superior a 20 cm del cuerpo de las personas portadoras de marcapasos.
- 6: El funcionamiento de algunos equipos médicos del tipo de los que se emplean en zonas hospitalarias de cuidados intensivos, puede ser afectado por los CEM emitidos por un teléfono móvil que se encuentre en sus proximidades. El empleo de estos teléfonos está restringido, o completamente prohibido, en los hospitales.
- 7: Los fabricantes de algunos modelos de automóviles advierten que los CEM de teléfonos móviles pueden afectar al funcionamiento de sistemas de seguridad como los "air bags." El propietario debe leer con atención el manual de uso de su automóvil. En todo caso, es necesario recordar que el **uso del teléfono móvil por parte del conductor de un vehículo en movimiento** es causa de numerosos accidentes y **está terminantemente prohibido**.
- 8: El uso de teléfonos móviles está prohibido en muchas estaciones de gasolina y cerca de depósitos de combustible. La justificación se encuentra en presuntos antecedentes de incendios provocados por descargas cuya fuente ha sido un teléfono móvil. La existencia de accidentes de esa naturaleza es cuestionable.

## **CONCLUSIONES**

- Una vez revisada la abundante información científica publicada este Comité de Expertos considera que no puede afirmarse que la exposición a CEM (campos electromagnéticos) dentro de los límites establecidos en la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea relativa a la exposición del público en general a CEM de 0 Hz a 300 GHz produzca efectos adversos para la salud humana. Por tanto, el Comité concluye que el cumplimiento de la citada Recomendación es suficiente para garantizar la protección de la población.
- La exposición a CEM por debajo de los niveles de la Recomendación del CMSUE, aunque pudiera inducir alguna respuesta biológica en condiciones experimentales, no está demostrado que pueda implicar efectos nocivos para la salud. Sin embargo, no disponemos de estudios epidemiológicos que evalúen los efectos nocivos a largo plazo derivados de la exposición a radiofrecuencias.
- Hasta el presente no se ha llegado a determinar un mecanismo biológico que explique una posible relación causal entre exposición a CEM y un riesgo incrementado de padecer alguna enfermedad.
- A pesar de que la mayoría de los estudios indican la ausencia de efectos nocivos para la salud, por un principio de precaución conviene fomentar el control sanitario y la vigilancia epidemiológica de la exposición con el fin de evaluar posibles efectos a medio y largo plazo de los CEM.
- De acuerdo con las conclusiones anteriores, este Comité considera que, a los valores de potencias de emisión actuales, a las distancias calculadas en función de los criterios de la RCMSUE y sobre la base de las evidencias científicas disponibles, las antenas de telefonía móvil no parecen representar un peligro para la salud pública. Igualmente, las evidencias actuales no indican asociación entre el uso de los teléfonos móviles y efectos nocivos para la salud.

## **RECOMENDACIONES**

- 1 Por un principio de precaución conviene que el Ministerio de Sanidad y Consumo establezca una normativa que regule la aplicación de los principios recogidos en la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea, incluyendo los aspectos relacionados con productos sanitarios tales como prótesis metálicas, marcapasos, desfibriladores cardíacos e implantes cocleares.
- 2 Existe una evidente preocupación social por los efectos de los CEM sobre la salud pública. Ello se debe al rápido crecimiento de las tecnologías, la falta de información rigurosa y por una percepción del riesgo distorsionada. Para evitar estos problemas el Ministerio de Sanidad y Consumo debería elaborar y difundir información, en un formato fácilmente comprensible, destinada a explicar a los ciudadanos los conocimientos actuales acerca de los efectos de los CEM sobre la salud pública
- 3 Las autoridades sanitarias de la Administración Central y Autonómica deberían fomentar la investigación clínica, experimental y epidemiológica sobre los efectos de la exposición a CEM procedentes de cualquier fuente emisora. En este sentido se recomienda que el Fondo de Investigaciones Sanitarias (FIS) y otros programas de investigación establezcan líneas prioritarias de financiación para el estudio de los citados efectos.
- 4 En relación con los CEM de FEB(frecuencia extremadamente baja) deben fomentarse estudios epidemiológicos en poblaciones expuestas por encima de 0,4  $\mu$ T. No se recomiendan estudios sobre población general porque no aportarían nueva información relevante como se ha demostrado en estudios epidemiológicos previos.
- 5 La evaluación, gestión y comunicación del riesgo derivados de las exposiciones a los CEM exige una dotación adecuada de medios técnicos y profesionales de la administración sanitaria del Estado y de las Consejerías de Sanidad de las Comunidades Autónomas. Las Unidades de Sanidad Ambiental ubicadas en las Direcciones Generales de Salud Pública deben abordar la gestión de nuevos riesgos ambientales que tienen una repercusión directa en la salud pública. Para afrontar con eficacia estos riesgos es necesaria la reorganización y fortalecimiento de dichas Unidades.
- 6 Las autoridades sanitarias deberían realizar campañas informativas entre los ciudadanos para promover un uso racional del teléfono móvil, con objeto de reducir exposiciones excesivas

e innecesarias, especialmente en niños, adolescentes, mujeres gestantes, portadores de implantes activos, etc. Asimismo, deberá ponerse especial interés en la realización de campañas contra el uso de teléfonos móviles mientras se conduce, o en áreas particularmente sensibles en el interior de hospitales.

- 7 El procedimiento para la solicitud, autorización, instalación e inspección de antenas de telefonía debería clarificarse con el fin de garantizar que los ciudadanos estén correctamente informados a la hora de adoptar decisiones sobre la instalación de estos equipos en sus propiedades.
- 8 Las compañías fabricantes de teléfonos móviles deberían clasificar y etiquetar sus productos en función de sus potencias de emisión. El etiquetado debe ser fácilmente comprensible para el usuario.
- 9 Por un principio de precaución debería evitarse que el haz de emisión directa de las antenas de telefonía afecte a espacios sensibles como escuelas, centros de salud, hospitales o parques públicos. En zonas donde sea posible deben arbitrarse medidas más eficaces para promover entre las compañías operadoras el uso compartido de las estaciones base para minimizar o reducir el impacto visual de las antenas.
- 10 Como establece la Recomendación del Consejo de Ministros de la Unión Europea, deberían realizarse estudios de evaluación del riesgo que permitan identificar las fuentes o prácticas que dan lugar a exposición electromagnética de los individuos, a fin de adoptar medidas adecuadas de protección sanitaria.
- 11 Por un principio de precaución el Comité recomienda regular la instalación de nuevas líneas de alta tensión con el fin evitar percepciones del riesgo no justificadas y exposiciones innecesarias.

El Comité propone que se actualice el artículo 25 del Reglamento de Líneas de Alta Tensión con el objeto de redefinir unas distancias mínimas de seguridad desde las líneas de alta tensión a edificios, viviendas o instalaciones de uso público o privado.

## **ANEXO I**

### **NOTAS AL APARTADO SOBRE EPIDEMIOLOGÍA**

---

<sup>1</sup> En los estudios epidemiológicos caso y control se comparan los casos (personas con la enfermedad diagnosticada, leucemia en el estudio de Denver) con controles (personas sin la enfermedad) en relación a su exposición al factor de interés. La evaluación de la exposición, en este caso a CEM, se hace de una manera retrospectiva, utilizando principalmente cuestionarios, medidas físicas u otros medios.

<sup>2</sup> En los estudios epidemiológicos de tipo caso y control se calculan los "odds ratios" (frecuentemente indicados también como riesgos relativos), que proporcionan estimaciones de la probabilidad de desarrollar cáncer entre los sujetos expuestos en comparación con los no expuestos. Un ratio mayor que 1 significa un aumento del riesgo, mientras ratio negativos iguales o menores que 1 significan que el factor no está asociado con un riesgo. Aparte de los odds ratio, tienen que considerarse los intervalos de confianza, normalmente de 95% (IC 95%) que dan una estimación del error aleatorio del estudio. Los IC95% dan una aproximación de los límites dentro de los cuales se puede encontrar el odds ratio con una probabilidad del 95%. Por ejemplo:, un odds ratio de 1,65 con IC95% de 1,12 hasta 2,05, indicaría un aumento del riesgo de aproximadamente el 65%. Aunque esta estimación es la más probable en base a los resultados del estudio, podríamos decir con una seguridad del 95% que el riesgo real en la población de base donde se hizo el estudio podría ser entre 1,12 y 2,05. En este caso, dado que los IC95% no engloban la unidad, los resultados se calificarían como estadísticamente significativos en el nivel convencional de 5% (indicado como valor  $p < 0,05$ ).

<sup>3</sup> Los estudios de cohorte identifican dos poblaciones, los expuestos (en este caso a los CEM) y los no expuestos (en este caso, los que están expuestos a bajos niveles de CEM). Estos dos grupos se sigue y se evalúa la aparición de enfermedad en relación con la exposición. Este diseño, aunque observacional, es el más próximo a un experimento. Dichos estudios se pueden hacer también de manera retrospectiva si se consiguen registros válidos de la exposición en el pasado.

<sup>4</sup> En España la incidencia habitual de leucemia en niños menores de 14 años es de 4 casos por cada 100.000 niños, y aproximadamente otros 4 serán diagnosticados de un tumor del sistema nervioso. Estos dos tipos de cáncer son los más frecuentes entre niños.

---

<sup>5</sup> Meta-análisis se refiere a un análisis conjunto de los resultados publicados en estudios individuales. El meta-análisis se utiliza para presentar de una manera resumida y con alto poder estadístico los resultados de varios estudios conjuntamente. En contraste, en el análisis conjunto (pooled análisis), se recogen y reanalizan los datos crudos. Los dos métodos son válidos, aunque en principio el análisis conjunto se puede considerar más eficaz, pues los datos se reevalúan y se reanalizan utilizando métodos exactamente iguales.

#### NOTAS AL APARTADO QUÉ SON LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

<sup>1</sup> A la inducción magnética  $B$  también se le denomina *densidad de flujo magnético*. Conviene también indicar que en el ámbito del Bioelectromagnetismo es muy común utilizar el término "*intensidad de campo magnético*" para referirse al valor de la inducción magnética.

---

## **ANEXO 2**

### **Criterios de ICNIRP Y CMSUE para el establecimiento de Factores de Seguridad en sus Restricciones Básicas.**

A partir de una revisión exhaustiva de la evidencia científica disponible, el comité ICNIRP llegó a establecer, para los distintos rangos de frecuencia del espectro no ionizante, los niveles mínimos de exposición por encima de los cuales cabría esperar efectos adversos para la salud. Una vez determinados estos valores, se llegó a la conclusión de que niveles 50 veces más bajos (2%) que los citados mínimos eran capaces de garantizar un grado suficiente de seguridad en caso de exposiciones del público general. Estos valores fueron los establecidos por ICNIRP y CMSUE como Restricciones Básicas recomendadas para las exposiciones a las respectivas frecuencias.

Un ejemplo que ilustra con claridad el criterio del 2% como factor de seguridad lo constituyen las restricciones ante efectos térmicos de las exposiciones a CEM RF. La evidencia experimental indica que exposiciones de 30 minutos a CEM con SAR de aproximadamente 4 W/kg de tejido expuesto, pueden provocar en humanos en reposo incrementos de temperatura iguales o inferiores a 1 °C. Diversos estudios experimentales han mostrado indicios de la existencia de un umbral, a los mismos niveles de SAR, para respuestas conductuales en mamíferos de laboratorio. Se asume, entonces, que la exposición a SAR más intensos podría superar la capacidad termorreguladora de algunos sujetos y provocar niveles nocivos de hipertermia. Tomando estos datos como base, ICNIRP y CMSUE establecieron un SAR de 4W/kg como el umbral de nocividad para una exposición, y el 2% de ese umbral (0,08 W/kg) fue designado como valor máximo de SAR, por encima del cual la exposición del público está desaconsejada.

---

### **ANEXO 3**

#### **Resumen de Restricciones Básicas y Niveles de Referencia Establecidos en la Recomendación del CMSUE Relativa a la Exposición del Público en General a Campos Electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz)**

**Fuente: Diario Oficial de las Comunidades Europeas del 12 de julio de 1999**

#### **I: Definiciones**

A los fines de esta Recomendación, el término campos electromagnéticos (CEM) comprende los campos estáticos, los campos de frecuencia extraordinariamente baja (ELF) y los campos de radiofrecuencia (RF), incluidas las microondas, abarcando la gama de frecuencia de 0 Hz a 300 GHz.

#### **A. CANTIDADES FÍSICAS**

En el contexto de la exposición a los CEM, se emplean habitualmente ocho cantidades físicas:

- La *corriente de contacto* ( $I_c$ ) entre una persona y un objeto se expresa en amperios (A). Un objeto conductor en un campo eléctrico puede ser cargado por el campo.
- La *densidad de corriente* (J) se define como la corriente que fluye por una unidad de sección transversal perpendicular a la dirección de la corriente, en un conductor volumétrico como puede ser el cuerpo humano o parte de éste, expresada en amperios por metro cuadrado ( $A/m^2$ ).
- La *intensidad de campo eléctrico* es una cantidad vectorial (E) que corresponde a la fuerza ejercida sobre una partícula cargada independientemente de su movimiento en el espacio. Se expresa en voltios por metro (V/m).
- La *intensidad de campo magnético* es una cantidad vectorial (H) que, junto con la inducción magnética, determina un campo magnético en cualquier punto del espacio. Se expresa en amperios por metro (A/m).
- La *densidad de flujo magnético o inducción magnética* es una cantidad vectorial (B) que da lugar a una fuerza que actúa sobre cargas en movimiento, y se expresa en teslas (T). En el espacio libre y en materiales biológicos, la densidad de flujo o inducción magnética y la intensidad de campo magnético se pueden intercambiar utilizando la equivalencia  $1 A m^{-1} = 4\pi 10^{-7} T$ .
- La *densidad de potencia* (S) es la cantidad apropiada para frecuencias muy altas, cuya profundidad de penetración en el cuerpo es baja. Es la potencia radiante que incide perpendicular a

---

una superficie, dividida por el área de la superficie, y se expresa en vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ).

- La *absorción específica de energía* (SA, specific energy absorption) se define como la energía absorbida por unidad de masa de tejido biológico, expresada en julios por kilogramo (J/kg). En esta recomendación se utiliza para limitar los efectos no térmicos de la radiación de microondas pulsátil.
  - El *índice de absorción específica de energía* (SAR, specific energy absorption rate), cuyo promedio se calcula en la totalidad del cuerpo o en partes de éste, se define como el índice en que la energía es absorbida por unidad de masa de tejido corporal, y se expresa en vatios por kilogramo ( $W/kg$ ). El SAR de cuerpo entero es una medida ampliamente aceptada para relacionar los efectos térmicos adversos con la exposición a la RF. Junto al SAR medio de cuerpo entero, los valores SAR locales son necesarios para evaluar y limitar una deposición excesiva de energía en pequeñas partes del cuerpo como consecuencia de unas condiciones especiales de exposición, como por ejemplo: la exposición a la RF en la gama baja de MHz de una persona en contacto con la tierra, o las personas expuestas en el espacio adyacente a una antena.

De entre estas cantidades, las que pueden medirse directamente son la densidad de flujo magnético, la corriente de contacto, las intensidades de campo eléctrico y de campo magnético y la densidad de potencia.

## **II: Restricciones básicas**

Dependiendo de la frecuencia, para especificar las restricciones básicas sobre los campos electromagnéticos se emplean las siguientes cantidades físicas (cantidades dosimétricas o exposimétricas):

- entre 0 y 1 Hz se proporcionan restricciones básicas de la inducción magnética para campos magnéticos estáticos (0 Hz) y de la densidad de corriente para campos variables en el tiempo de 1 Hz, con el fin de prevenir los efectos sobre el sistema cardiovascular y el sistema nervioso central,
- entre 1 Hz y 10 MHz se proporcionan restricciones básicas de la densidad de corriente para prevenir los efectos sobre las funciones del sistema nervioso,
- entre 100 kHz y 10 GHz se proporcionan restricciones básicas del SAR para prevenir la fatiga calorífica de cuerpo entero y un calentamiento local excesivo de los tejidos. En la gama de 100 kHz a 10 MHz se ofrecen restricciones de la densidad de corriente y del SAR,
- entre 10 GHz y 300 GHz se proporcionan restricciones básicas de la densidad de potencia, con el fin de prevenir el calentamiento de los tejidos en la superficie corporal o cerca de ella.

---

Las restricciones básicas expuestas en el cuadro 1 se han establecido teniendo en cuenta las variaciones que puedan introducir las sensibilidades individuales y las condiciones medioambientales, así como el hecho de que la edad y el estado de salud de los ciudadanos varían.

**Cuadro 1**

**Restricciones básicas para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (0 Hz-300 GHz)**

Gama de frecuencia	Inducción magnética (mT)	Densidad corriente (mA/m <sup>2</sup> ) (rms)	SAR medio de cuerpo entero (W/kg)	SAR localizado (cabeza y tronco) (W/kg)	SAR localizado (miembros) (W/kg)	Densidad de potencia S (W/m <sup>2</sup> )
0 Hz	40	-	-	-	-	-
>0-1 Hz	-	8	-	-	-	-
1-4 Hz	-	8/f	-	-	-	-
4-1000 Hz	-	2	-	-	-	-
1000Hz-100 kHz	-	f/500	-	-	-	-
100 kHz-10 MHz	-	f/500	0,08	2	4	-
10 MHz-10 GHz	-	-	0,08	2	4	-
10-300 GHz	-	-	-	-	-	10

**Notas al cuadro 1:**

1. *f* es la frecuencia en Hz.
2. El objetivo de la restricción básica de la densidad de corriente es proteger contra los graves efectos de la exposición sobre los tejidos del sistema nervioso central en la cabeza y en el tronco, e incluye un factor de seguridad. Las restricciones básicas para los campos ELF se basan en los efectos negativos establecidos en el sistema nervioso central. Estos efectos agudos son esencialmente instantáneos y no existe justificación científica para modificar las restricciones básicas en relación con las exposiciones de corta duración. Sin embargo, puesto que las restricciones básicas se refieren a los efectos negativos en el sistema nervioso central, estas restricciones básicas pueden permitir densidades más altas en los tejidos del cuerpo distintos de los del sistema nervioso central en iguales condiciones de exposición.
3. Dada la falta de homogeneidad eléctrica del cuerpo, debe calcularse el promedio de las densidades de corriente en una sección transversal de 1 cm<sup>2</sup> perpendicular a la dirección de la corriente.
4. Para frecuencias de hasta 100 kHz, los valores máximos de densidad de corriente pueden obtenerse multiplicando el valor rms por  $\sqrt{2}$  (~1,414). Para pulsos de duración  $t_p$ , la frecuencia equivalente que ha de aplicarse en las restricciones básicas debe calcularse como  $f = 1/(2t_p)$ .
5. Para frecuencias de hasta 100 kHz y para campos magnéticos pulsátiles, la densidad de corriente máxima asociada con los pulsos puede calcularse a partir de los tiempos de subida/caída y del índice máximo de cambio de la inducción magnética. La densidad de corriente inducida puede entonces compararse con la restricción básica adecuada.
6. Todos los valores SAR deben ser promediados a lo largo de un periodo cualquiera de 6 minutos.
7. La masa promedial de SAR localizado la constituye una porción cualquiera de 10 g de tejido contiguo; el SAR máximo obtenido de esta forma debe ser el valor que se utilice para evaluar la exposición. Estos 10 g de tejido se consideran como una masa de tejidos contiguos con propiedades eléctricas casi homogéneas. Se especifica que se trata de una masa de tejidos contiguos, se reconoce que este concepto puede utilizarse en la dosimetría automatizada, aunque puede presentar dificultades a la hora de efectuar mediciones físicas directas. Puede utilizarse una geometría

---

*simple, como una masa de tejidos cúbica, siempre que las cantidades dosimétricas calculadas tengan valores de prudencia en relación con las directrices de exposición.*

- 8 *Para los pulsos de duración  $t_p$ , la frecuencia equivalente que ha de aplicarse en las restricciones básicas debe calcularse como  $f = 1/(2t_p)$ . Además, en lo que se refiere a las exposiciones pulsátiles, en la gama de frecuencia de 0,3 a 10 GHz y en relación con la exposición localizada de la cabeza, se recomienda una restricción básica adicional para limitar y evitar los efectos auditivos causados por la extensión termoelástica. Esto quiere decir, que la SA no debe sobrepasar los  $2 \text{ mJ kg}^{-1}$  como promedio calculado en 10 g de tejido.*

### **III: Niveles de Referencia**

Los niveles de referencia de la exposición sirven para ser comparados con los valores de las cantidades medidas. El respeto de todos los niveles de referencia recomendados asegurará el respeto de las restricciones básicas.

Si las cantidades de los valores medidos son mayores que los niveles de referencia, eso no quiere decir necesariamente que se hayan sobrepasado las restricciones básicas. En este caso, debe efectuarse una evaluación para comprobar si los niveles de exposición son inferiores a las restricciones básicas.

Los niveles de referencia para limitar la exposición se obtienen a partir de las restricciones básicas presuponiendo un acoplamiento máximo del campo con el individuo expuesto, con lo que se obtiene un máximo de protección. En los cuadros 2 y 3 figura un resumen de los niveles de referencia. Por lo general, éstos están pensados como valores promedio calculados espacialmente sobre toda la extensión del cuerpo del individuo expuesto, pero teniendo muy en cuenta que no deben sobrepasarse las restricciones básicas de exposición localizada.

En determinadas situaciones en las que la exposición está muy localizada, como ocurre con los teléfonos móviles y la cabeza del individuo, no es apropiado emplear los niveles de referencia. En estos casos debe evaluarse directamente si se respeta la restricción básica localizada.

## Cuadro 2

### Niveles de referencia para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (0 Hz-300 GHz, valores rms imperturbados)

Gama de frecuencia	Intensidad de campo E (v/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo B ( $\mu$ T)	Densidad de potencia equivalente de onda plana (W/m <sup>2</sup> )
0,1 Hz	—	$3,2 \times 10^4$	$4 \times 10^4$	-
1-8 Hz	10000	$4 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	-
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	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	f/200
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

#### Notas al cuadro 2:

1.  $f$  según se indica en la columna de gama de frecuencia.
2. Para frecuencias de 100 kHz a 10 GHz, el promedio de  $S_{cq}$ ,  $E^2$ ,  $H^2$  y  $B^2$  ha de calcularse a lo largo de un período cualquiera de 6 minutos.
3. Para frecuencias superiores a 10 GHz, el promedio de  $S_{cq}$ ,  $E^2$ ,  $H^2$  y  $B^2$  ha de calcularse a lo largo de un período cualquiera de  $68/f^{0.05}$  minutos ( $f$  en GHz).
4. No se ofrece ningún valor de campo E para frecuencias < 1 Hz, que son efectivamente campos eléctricos estáticos. La mayor parte de la gente no percibirá las molestas cargas eléctricas superficiales con intensidades de campo inferiores a 24 kV/m. Deben evitarse las descargas de chispas que causan estrés o molestias.

### Corrientes de contacto y corrientes en extremidades

Para frecuencias de hasta 110 MHz se recomiendan niveles de referencia adicionales para evitar los peligros debidos a las corrientes de contacto. En el cuadro 3 figuran los niveles de referencia de corriente de contacto. Éstos se han establecido para tomar en consideración el hecho de que las corrientes de contacto umbral que provocan reacciones biológicas en mujeres adultas y niños vienen a equivaler aproximadamente a dos tercios y la mitad, respectivamente, de las que corresponden a hombres adultos.

---

**Cuadro 3**

**Niveles de referencia para corrientes de contacto procedentes de objetos conductores. (f en kHz)**

Gama de frecuencia	Corriente máxima de contacto (mA)
0 Hz - 2,5 kHz	0,5
2,5 kHz - 100 kHz	0,2 f
100 kHz - 110 MHz	20

Para la gama de frecuencia de 10 MHz a 110 MHz se recomienda un nivel de referencia de 45 mA en términos de corriente a través de cualquier extremidad. Con ello se pretende limitar el SAR localizado a lo largo de un período cualquiera de 6 minutos.

---

## **Bibliografía**

Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, Linet M, McBride M, Michaelis M, Olsen JH, Tynes T, Verkasalo PK. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer* 2000; 83(5):692-8.

Azanza M.J., del Moral A. Cell membrane biochemistry and neurobiological approach to biomagnetism, *Prog. Neurobiol.* 44: 517-601 (1994) (Review).

Bergqvist U and Vogel E (Ed). Possible health implications of subjective symptoms and electromagnetic fields. European Commission. DG V Employment, Industrial Relations and Social Affairs. Public health and safety at work. 1997: 19.

C. Llanos y J. Represa. Cinco años de investigación científica sobre los efectos biológicos de los campos electromagnéticos de frecuencia industrial en los seres vivos. Ed. Universidad de Valladolid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y Red Eléctrica de España (2001).

Cantor K P, Dosemeci M, Brinton L A and Stewart P A (1995). Re: Breast cancer mortality among female electrical workers in the United States. *J Natl Cancer Inst*, 87, 227.

Cleveland, Jr, Ulcek, JL. Federal Communications Commission Office of Engineering & Technology. Questions and Answer about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetical Fields. OET Bulletin 56 – 4<sup>th</sup> Edition – Agust 1999.

Communication de la Commission sur le recours au principe de précaution. Commission des Communautés Européennes. Bruxelles, 2.2.2000.COM (2000)1 final.

Day N et al. UK Childhood Cancer Study Investigators. *Lancet* 1999; 354:1925-31

Del Moral A., Azana M.J. Model for the effect of static magnetic fields on isolated neurons, *J.Magn.Magn.Mat.* 114: 240-242 (1992).

Elwood J MA critical review of epidemiologic studies of radiofrequency exposure and human cancers. *Environ Health Perspect*, 107, 155. 1999.

---

Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Ed. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). 2001. Disponible en Internet (<http://www.icnirp.de>).

Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). *Health Physics* 74:494-522, 1998.

Gonzalez CA y cols *Arch Environ Health* .1997, 52 (4), 332-5

Hansson Mild K, Oftedal G, Sandström M, Wilén J, Tynes T, Haugsdal B and Hauger E. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. A Swedish–Norwegian epidemiological study. *Arbetslivsrapport* 1998:23. Solna, Sweden, Arbetslivsinstitutet.

Hardell L, Nasman A, Pahlson A, Hallquist A and Hansson Mild K (1999). Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: a case–control study. *Int J Oncol*, 15, 113.

Health effects from exposure to electric and magnetic fields (up to 300 GHz). Ed. Organización Mundial de la Salud (2000). Disponible en Internet [<http://www.who.int/peh-emf/>]

Health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields. Ed. National Institutes of Health, NC, USA, (1999).

Health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields. US National Institutes of Health, NC. (1999). Disponible en Internet [<http://www.niehs.nih.gov/emfrapid>]

ICNIRP. Health issues related to use of hand held radiotelephones and base transmitter. *Health Phys* 1996; 70: 587-593 .

ICNIRP 1998. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields. *Health Phys*, 74(4), 494.

Independent Expert Group on Mobile Phones. *Mobile Phones and Health*. Chairman Sir William Stewart. National Radiological Protection Board, Chilton, UK. May 2000. <http://www.iegmp.org.uk/IEGMPTxt.htm>

J. L. Sebastián, S. Muñoz, M. Sancho and J.M. Miranda, Analysis of the Influence of the Cell Geometry, Orientation and Cell Proximity Effects on the Electric Field Distribution from Direct RF Exposure, *Phys. Med. Biol*, Vol.46, No. 1, pgs. 213-225, 2001.

- 
- J. L. Sebastián, S. Muñoz, M. Sancho, J.M. Miranda and B. Ribas, "Proc. III Int. Conf. On Bioelectromagnetism. ISBN 961-6210-95-5, pags. 59-61, 2000, Bled, Slovenia.
- J. Moulder Antenas de Telefonía Móvil y Salud Humana Ed. Medical College of Wisconsin, USA (2000) Disponible en Internet [<http://www.mcw.edu/gcrc/cop>]
- J. Moulder Cell Phones and Cancer. What Is de Evidence for the Connection? Radiation Research 151(5):513-531, (1999).
- J. Moulder Power-frequency fields and cancer. Critical Reviews in Biomedical Engineering 26:1-116, (1998).
- J. Represa. Low Frequency Electromagnetic Fields and Neural Crest Cells Development In Chick Embryo. Actas del XVIII Congreso Nacional de la Sociedad Anatómica Española. (1999).
- J. Represa.. Estudios experimentales sobre los efectos biológicos de los campos electromagnéticos. Ponencia plenaria, IV Congreso Nacional de Medio Ambiente. (1998).
- J. M. Miranda, J.L. Sebastián, S. Muñoz, M. Sancho, and B. Ribas. Broad Band Measurement of the Dielectric Permittivity of Human Blood with Coaxial Probes and Small Volume Samples, Proc. Of the 26th URSI General Assembly, ISBN 0-19-856571-2, pags. 647-648, Toronto, Canadá.
- Kheifets LI, Afifi AA. Buffeler PA, Zhang ZW, Matkin CC. Occupational electric and magnetic field exposure and leukemia. A meta-analysis. J. Occup. Environ Med. 1997; 39:1074-91.
- Lederer D., Azanza MJ., Calvo A.C, Perez RN , Del Moral A , Vander Vorst A. Effects asociated with the elf of gsm signals on the spontaneous bioelectric activity of neurons. EBEA Congres Sep. 2001.
- Lin-Liu-S., Adey W.R. Low frequency amplitude modulated microwave fields change cancium efflux rates from synaptosomes. Bioelectromagnetics 3: 309-322, 1982.
- Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, et al. Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. N Engl J Med 1997; 337: 1-7.M.
- M. Fernández y J. Represa. Acción de los campos magnéticos en la inflamación. Ed. Universidad de Valladolid. (1998).

---

M. Martínez-Búrdalo, A. Martín, L. Nonídez, J. Abad and R. Villar, Simulation of the S.A.R in eyes tissues in telephone-head interaction. XXI Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society (BEMS' 99), Abstract Book, Long Beach, California, EE.UU. pp. 243-244, Junio 1999.

M. Martínez-Búrdalo, A. Martín, R. Villar. GMT Study of the Telephone-Operator Interaction in Mobile Communications, Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 15, nº 3, pp. 123-127, Junio 1997.

M. Martínez-Búrdalo, L. Nonídez, A. Martín and R. Villar, FDTD Analysis of the Maximum SAR when Operating a Mobile Phone Near a Human Eye and a Wall. Microwave and Optical Technology Letters, vol. 28, nº 2, pp. 83-85, Enero 2001.

M. Martínez-Búrdalo, L. Nonídez, A. Martín and R. Villar "Study of the SAR in certain operating environments when using a cellular phone at 1800 MHz" XXII Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society (BEMS' 00), Abstract Book, Munich, Alemania, pp. 126-127, Junio 2000.

Micro ID (superscript: TM) 13,56 MHz RFID System Design Guid July 1999 /DS2 1299C  
99 Microchip Technology, Inc

Morgan R W, Kelsh M A, Zhao K, Exuzides A, Heringer S and Negrete W. Radiofrequency exposure and mortality from cancer of the brain and lymphatic/hematopoietic systems. *Epidemiology*, 11, 118.

Moulder J E, Erdreich L S, Malyapa R S, Merritt J, Pickard W F and Vijayalaxmi D Z (1999). Cell phones and cancer: what is the evidence for a connection? *Radiat Res*, 151, 513.

Muscat J, Malkin M, Thompson S, Shore R, Stellman S, McRee D, Neugut A, Wynder E. Handheld Cellular Telephone Use and Risk of Brain Cancer *JAMA* 2000; 284: 3001-3007.

NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences) Working Group Report (1998). Assessment of the Health Effects from Exposure to Power-line Frequency Electric and Magnetic Fields (C J Porter and M S Wolfe, Eds). Research Triangle Park, NC, US National Institutes of Health, NIH Publication No. 98-3981, p311.

O. García Arribas, M. Pérez Calvo, J.L. Sebastián, S. Muñoz, J.M. Miranda, M. L. Picazo, J. Fariña, B. Ribas, Efectos de ondas de

---

radiofrecuencia en tejidos de necropsias humanas, Revista Española de Toxicología, Vol.16 No.3, pags.153-154, 1999.

Ouellet-Hellstrom R and Stewart W F (1993). Miscarriages among female physical therapists who report using radio-and microwave-frequency electromagnetic radiation. *Am J Epidemiol*, 138, 775.

P.J. Dimbylow, "FDTD calculations of the SAR for a dipole closely coupled to the head at 900 MHz and 1.9 GHz", *Phys. Med. Biol.* Vol. 38, pp. 361-368, 1993.

Peter Inskip y cols. Uso de telefonos celulares y cancer del cerebro. *NEJM*. 2001; 344: 79-86.

Pollán M. Breast cancer, occupation and exposure to electromagnetical fields among swedish men. *American Journal of Industrial Medicine*. 2001,39-3:276-285.

Preguntas y respuestas sobre los campos eléctricos y magnéticos asociados con el uso de la energía eléctrica. Ed. National Institute of Environmental Health Sciences y U.S. Department of Energy, USA, (1995).

Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields. Ed. National Academy of Sciences. National Academy Press, Washington DC, Estados Unidos, (1996).

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).1999/519/CE. DOCE 30.7.1999. L199/59.

Redelmeir D A and Tibshirani, R J (1997). Association between cellular-telephone calls and motor vehicle collisions. *N Engl J Med*, 336, 453.

Report and opinión adopted at the meeting of the Scientific Steering Committee of 25-26 June 1998.Possible Health Effects from exposure to electromagnetic fields 0 hz-300 Ghz. European Union.

Rothman K J, Loughlin J E, Funch D P and Dreyer N A (1996). Overall mortality of cellular telephone customers. *Epidemiology*, 7, 303.

Rothman K. Epidemiological evidence on health risks of cellular phones. *Lancet* 2000; 356:1837-1840.

S. de la Fuente y J. Represa. Efecto de los campos electromagnéticos (CEM) sobre la proliferación y la diferenciación celular. Estudio experimental de la relación entre los CEM y las malformaciones congénitas Ed. Universidad de Valladolid (1999).

---

S. Muñoz, J. L. Sebastián, M. Sancho, J.M. Miranda and B. Ribas, SAR Distribution in Cylindrical Mammalian Cells, Proc. 30th European Microwave Conf. ISBN 0-86213-212-6, pags. 408-413, 2000. Paris, Francia

Savitz DA, Loomis DP. Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers. Am J Epidemiol 1995, 141: 1-12.

Téléphones mobiles et santé. Direction Général de Santé. Février 2001. [http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/telephon\\_mobil/dos\\_pr.htm](http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/telephon_mobil/dos_pr.htm)

Theriault G y cols. Cancer risk associated with occupational exposure to magnetic fields among utility workers in Ontario and Quebec, Canada, and France: 1970-1989. Am J Epidemiol 1994; 139: 550-572.

Tynes T, Hannevik M, Anderson A, Vistnes A I and Haldorsen T (1996). Incidence of breast cancer in Norwegian female radio and telegraph operators. Cancer Causes Control, 7, 197.

Ubeda A, Trillo MA. Radiaciones Rf de Antenas de Telefonía y Salud Pública: El Estado de la Cuestión. Radioprotección 20: 24-36 (1999; 20 Vol VII. Versión electrónica en: : <http://www.hrc.es/bioelectro.html>

Úbeda, A. Bases Biológicas para Normativas de Protección ante Radiaciones No Ionizantes: Curso Para Especialistas (SEPR 2000). Radioprotección (2000). Texto publicado en formato electrónico en: [www.sepr.es](http://www.sepr.es).

Accesible también desde. <http://www.hrc.es/bioelectro.html>

Úbeda, A.; Cid, M.A.; Martínez, M.A.; Trillo, M.A.; Bayo, M.A. y Leal, J. Exposición Ocupacional a Campos Magnéticos de Frecuencia Industrial en Hospitales. Radioprotección 25: 30-36 (2000). Abstract en: <http://www.hrc.es/bioelectro.html>

Understanding basic metal detection, by Derek R. Barker. March 2000 Ranger Security Detectors: U.S. advanced manufacturer of security screening for weapon detection and asset protection applications.

Universidad Politécnica de Catalunya. Escola Técnica Superior D'Enginyeria de Telecomunicacio. Plan de Comunicación sobre Telefonía Móvil. Barcelona 30 junio 2000. Doc. mimeog.

Vargas, F. Riesgos para la salud humana de las exposiciones ambientales a campos eléctricos y magnéticos. Física y Sociedad. n° 10 Monográfico. 1999.

---

Wertheimer N, Leeper E, Electric wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 1979; 109: 273-84.