

**Informes Sanitarios Siglo XXI**

- 1 -

**ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS**  
**Y SALUD**

**Editores**

**Pablo E. Gil-Loyzaga**

**Alejandro Úbeda Maeso**

**Secretaría de Coordinación**

**Francisco Carricondo Orejana**

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

**Nota de los Editores:** Las opiniones expresadas en este libro pertenecen estrictamente a los autores de los distintos capítulos y no son necesariamente asumidas por los Editores de esta obra, quienes expresan sus propias opiniones en sus respectivos capítulos.

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

## **Índice**

### **Prólogo**

*Prof. Hipólito Durán Sacristán. Presidente de la Real Academia Nacional de Medicina.*

### **Introducción**

Efecto de las Ondas y Campos Electromagnéticos sobre la Salud: Una Línea de Investigación en Pleno Desarrollo. *Pablo E. Gil-Loyzaga*

### **Conceptos Generales. Legislación sobre Campos Electromagnéticos**

1. Conceptos Físicos de las Ondas y los Campos Electromagnéticos. *Antonio Hernando Grande.*
2. Medida de Campos Electromagnéticos Próximos a Líneas Eléctricas de Alta Tensión. *Carlos Llanos Lecumberri.*
3. Legislación Nacional e Internacional sobre Campos Electromagnéticos de Frecuencia Extremadamente Baja (50-60 Hz). *Juan Bernar Solano.*
4. Normativas de Protección frente a los Campos Electromagnéticos. *Pere Riu i Costa.*
5. Las Ondas y los Campos Electromagnéticos: Importancia en la Medicina y Relación con la Salud. *Gloria Ruiz Hernández y José Luis Carreras Delgado.*

### **Efectos Biológicos de los Campos Electromagnéticos**

6. Campos Eléctricos y Magnéticos ELF: Efectos Biológicos y Posibles Mecanismos. *Carl F. Blackman.*
7. Acciones de los Campos Electromagnéticos sobre las Células Vivas. *Javier García Sancho.*
8. La Aproximación Experimental para Determinar los Efectos Biológicos de los Campos Electromagnéticos: Estudios de Laboratorio. *Roberto Cabo y Juan Represa de la Guerra.*
9. Los Campos Electromagnéticos y la Fisiología del Sistema Nervioso. *Pablo E. Gil-Loyzaga.*

10. Ondas Electromagnéticas y Enfermos del Corazón. *Oscar Bernal, Ricardo Morales y José Zamorano.*
  11. Ondas Electromagnéticas y Cáncer. *Enrique Espinosa, Pilar Zamora y Manuel González Barón.*
  12. Evaluación del Riesgo para la Salud de los Campos Electromagnéticos. *Francisco Vargas Marcos.*
- Apéndice al Apartado.** Revisión de Datos Epidemiológicos en Grupos Expuestos a Campos Electromagnéticos de Frecuencia Industrial (50/60 Hz). Texto extraído del Informe Técnico del Comité de Expertos Independientes (Ministerio de Sanidad y Consumo). *Francisco Vargas y Alejandro Úbeda (Coordinadores)*

### **Telefonía Móvil y Salud**

13. Telefonía Móvil y Salud Pública. *Alejandro Úbeda Maeso.*
14. Radiaciones de Radiofrecuencias y Cáncer. *John E. Moulder.*
15. Telefonía Móvil y Salud: La Perspectiva del Reino Unido. *Sir William Stewart.*

### **Telefonía Móvil, Ondas Electromagnéticas y Sociedad**

16. Normas sobre Autorización e Inspección de las Antenas de Telefonía Móvil. *Jesús Cañadas.*
17. La Percepción y Comunicación del Riesgo de las Ondas Electromagnéticas. *Elena Ordaz Castillo y Francisco Marqués Marqués.*

### **Conclusiones**

*Alejandro Úbeda Maeso*

## **Prólogo**

**Prof. Hipólito Durán Sacristán.**

Presidente de la Real Academia Nacional de Medicina.

He sido invitado por el Prof. Pablo E. Gil-Loyzaga, amablemente, para que leyera este Libro y emitiera un juicio sobre el mismo, a modo de Prólogo.

El Libro está formando parte de lo que titulan "Informes Sanitarios Siglo XXI, I. Ondas Electromagnéticas y Salud".

El primer aval que acredita la buena condición de esta Publicación es que sus coordinadores son gente de total solvencia y de muy acreditada categoría intelectual y universitaria. En efecto, el Prof. Pablo Gil-Loyzaga es Catedrático de Neurobiología de la Audición en la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense; hombre de gran actividad; de intranquilidad intelectual; de compromiso con los problemas de la enseñanza y de la investigación; de mentalidad académica y de honestidad y ética impecables.

El Dr. Alejandro Úbeda Maeso, trabaja en el Hospital Ramón y Cajal, en el Servicio de Investigación de Bioelectromagnética y reúne las mismas condiciones apuntadas anteriormente, por lo que ambos han determinado la coordinación de esta obra de manera armónica.

Otra circunstancia que acredita la buena ley de este trabajo es su absoluta actualidad que ha exigido participaciones de gentes muy cualificadas en materias difíciles,

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

agrupados en dieciocho equipos de trabajo, que han aportado sus experiencias, conocimientos y excelentes resúmenes bibliográficos de la literatura más moderna.

Lo más importante, con todo, es que se trata de una Obra que se refiere a una línea de Investigación nueva y en pleno desarrollo ya que hay muchas cosas por aclarar todavía para poderse dictar normas concretas y aportar consejos que disipen las precauciones existentes en el momento actual.

Nadie ignora la intranquilidad que existe en la Sociedad sobre los posibles efectos nocivos de las ondas electromagnéticas sobre la salud, ya que estamos rodeados de aparatos eléctricos, equipos musicales, lámparas, ordenadores y teléfonos. No digamos el miedo que imponen los cables de alta tensión, que cruzan por las ciudades y el campo. Es fácil escuchar comentarios alarmantes de los microondas y de los teléfonos móviles, que creo que alcanzan cifras de 200 millones.

Desde hace más de un siglo, la Sociedad ha evolucionado accionada por la energía eléctrica. Esta energía genera un campo magnético que se estudia en este Libro (Prof. Hernando) que crea una alarma generalizada, objeto de estudio fundamental. Los efectos biológicos de los campos electromagnéticos se estudian desde límites amplios que pueden oscilar entre 0.5 hasta 300 GHz. La realidad es que los seres vivos nos vamos adaptando a las ondas electromagnéticas, pero éstas van avanzando y de momento, no sabemos cómo será nuestra adaptación en el futuro. Es evidente que los seres vivos dependemos en gran medida de las características físicas de nuestro mundo (gravedad, humedad, grado de temperatura y regulación de la misma, clima, efectos del Sol, de la presión atmosférica, así como de las radiaciones y campos electromagnéticos). Todos estos factores y otros no aludidos son potencialmente productores de disturbios sobre la salud y afortunadamente en esta Obra se estudian los dependientes de las ondas y campos electromagnéticos, que agobian mucho actualmente por la proliferación de utensilios generadores de este presunto riesgo.

En muchos Estados y en la propia Organización Mundial de la Salud hay un gran interés en aclarar los efectos electromagnéticos sobre la salud.

Los dos editores de esta Obra, de manera acertada y oportuna, han estudiado estos efectos, disponiendo de opiniones de expertos españoles y de tres relevantes autores extranjeros con gran predicamento en estas materias (Prof. Stewart de Edimburgo, Prof. Moulder de Wisconsin, EEUU y Prof. Blackman de Carolina del Norte, también de EEUU).

En la interesantísima aportación del Prof. Hernando se estudia la energía electromagnética como base de la materia y la vida y como herramienta del desarrollo y bienestar, exponiendo las normas cautelares de la Unión Europea en las que se admiten que las corrientes naturales dentro de un organismo oscilan entre 1 y 10 mA/m<sup>2</sup>. El umbral de efecto nocivo es de 100 mA/m<sup>2</sup>, aunque en este margen puede haber alteraciones biológicas. También aduce que los efectos dependen de la conductividad del medio y del campo eléctrico que actúa sobre él. Siempre se ha supuesto que las corrientes eléctricas a su paso por el cuerpo pueden producir daños en el sistema cardiovascular y en el sistema nervioso central (SNC).

De la lectura del libro se saca una conclusión provisional: que no hay una evidente amenaza de las ondas electromagnéticas si se consideran y respetan los límites que el organismo puede recibir de radiaciones.

Otras conclusiones se pueden deducir, también provisionales, de este interesantísimo Libro en el que han puesto tanta pasión Gil-Loyzaga y Úbeda y tanto talento en su coordinación.

No hay evidencia científica certera que asegure el deterioro de la salud por el uso de ondas RF ni por el uso de teléfonos móviles ni antenas o estaciones base, ni datos de laboratorio para limitar la exposición a las ondas RF de tales aparatos (Ruiz Hernández y Carreras). Se pueden utilizar elementos de control para la gente especialmente expuesta por razones de trabajo.

No hay evidencia convincente de la acción nociva de las corrientes electromagnéticas sobre las células vivas, en dosis débiles (0.1 mT). Puede haber efectos adversos con exposiciones altas (>400 mT) que incluyen daños en le material genético (García Sancho).

No hay base suficiente para asegurar que las corrientes electromagnéticas de baja potencia produzcan cáncer (Espinosa, Zamora y González Barón). Sólo un riesgo relativo de leucemia en niños que están cerca de líneas de alta tensión, aunque los estudios tienen controversias, igualmente en relación con cáncer infantil en el SNC (Hernando). Hay una evidencia débil de asociación causal entre las RF y el cáncer. Las RF no son genotóxicas (Moulder).

En relación con el presunto daño sobre el SNC se habla de sensibilización del mismo, de posible regeneración de fibras lesionadas, a través de mediadores o algún incremento de la actividad cerebral, pero no se han visto alteraciones patológicas ni en la fisiología ni en el comportamiento de los individuos estudiados (Gil-Lozaga; Úbeda).

Otras de las conclusiones que se deducen de la lectura de esta Obra son las referentes a los estudios técnicos, de protección y a las legislaciones al respecto. En este sentido, destacan las medidas de las corrientes ELM junto a las líneas de alta tensión de la red española (Llanos Lecumberri); también normas sobre la instalación e inspección de las antenas de teléfonos móviles (Cañadas); sobre controles del presunto daño sobre todo por el desarrollo de la telefonía móvil y sus infraestructuras de comunicación (antenas y estaciones base) impantados en la mayoría de los municipios de este país (Ordaz Castillo y Marqués Marqués); normas sobre protección ambiental de los campos eléctricos y magnéticos (Blackman) y posibles mecanismos de influencia sobre la salud. Aunque estas opiniones las emitía de forma personal y no oficial.

También en este interesante Libro de Gil-Lozaga y Úbeda se hacen referencias a la legislación existente al respecto, particularmente en relación con las normas que rigen en la

legislación nacional e internacional sobre campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (50-60 Hz) (Bernar Solano).

También esta Obra, bien programada en materias tan novedosas e inciertas, se adentra en los consejos y precauciones que se deben mantener a la vista de lo que se va sabiendo relativo a riesgos de la energía electromagnética sobre la salud. Así, en relación con pacientes de corazón que dispongan de dispositivos cardíacos, se les aconseja no trabajar en industrias siderometalúrgicas y en centrales de producción y distribución de energía eléctrica; no exponerse largo tiempo a sistemas antirrobo o detectores de metales; desactivar dispositivos que puedan ser alterados desde corrientes de fuera; no parecen tener riesgos los electrodomésticos (Bernal, Morales y Zamorano).

En algún trabajo se propone abundante información respecto a estos problemas; consejos sobre blindajes en teléfonos móviles; el dispositivo de "manos libres" y el teléfono a distancia, aunque no hay clara evidencia de su necesidad (Stewart); evitar exposiciones no controladas e innecesarias (Úbeda); normativas de protección a los campos electromagnéticos, estudiando los tipos de instalación (alta tensión, estaciones transformadoras, ferrocarriles, estaciones base de móviles, estaciones de radiodifusión (AM, FM, TV) (Riu). En otro trabajo se dan instrucciones del Ministerio de Sanidad a través del Subdirector General de Sanidad Ambiental (Vargas Marcos) estudiadas por grupos de expertos.

Como epílogo de este Prólogo, que he redactado gustoso de haberme informado de muchas cosas interesantes y actualísimas y de complacer a mi buen amigo Gil-Loyzaga y a su compañero de coordinación, Úbeda, he de decir que es positiva la intranquilidad de la Sociedad por el presunto riesgo sobre la salud de las ondas electromagnéticas ya que ello ha impulsado a que se trabaje mucho en la observación, experimentación y profilaxis de tales riesgos.

Es también útil saber que no hay una evidente amenaza de la salud con el uso desmedido de tantos instrumentos de uso habitual, siendo paradigmático el teléfono móvil, siempre que no se desborden los límites de radiación que puede resistir el organismo.

La lectura de este Libro induce a felicitar a los autores, Gil-Loyzaga y Úbeda, que han hecho una publicación de interés público, de alto nivel científico / práctico. Que han sabido seleccionar colaboradores expertos nacionales y extranjeros en el campo de las radiaciones y la salud; también porque todos ellos han incorporado las publicaciones de una bibliografía actual, que hacen del Libro un referente para el futuro de estos temas. Encuentro muy interesante su lectura.

Hipólito Durán Sacristán

## **Introducción**

### **Efecto de las Ondas y Campos Electromagnéticos sobre la Salud: Una línea de investigación en pleno desarrollo.**

**Pablo E. Gil-Loyzaga**

Catedrático de Neurobiología de la Audición. Dpto. de Cirugía II. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid. Apartado de Correos 60075, 28080 Madrid

Resulta indiscutible que la sociedad moderna, durante algo más de un siglo, ha evolucionado gracias a la energía eléctrica. Así, las llamadas sociedades industrial y post-industrial encontraron su base motriz en la electricidad, sin cuya existencia hubiera sido impensable el desarrollo de la sociedad de la información y, más recientemente, la del conocimiento y del bienestar.

Sin embargo, toda corriente eléctrica genera un campo magnético cuyas características y propiedades son analizadas en varios capítulos de esta publicación (Prof. Antonio Hernando, Prof. Carl Blackman entre otros). Los equipos y aparatos eléctricos, incluido el ordenador desde el que preparo estas líneas, la lámpara que me ilumina y el equipo de música que me acompaña mientras escribo, forman ya parte indisoluble de nuestra vida en el siglo XXI. No obstante, siempre han existido comentarios, más o menos informados, sobre el peligro de la exposición continuada a equipos eléctricos, sobre todo por su capacidad de emisión de ondas electromagnéticas. La presencia de líneas de alta tensión atravesando las poblaciones urbanas y la reciente introducción masiva en nuestro mundo de los teléfonos móviles, y de sus correspondientes antenas, han sido causa de una

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

notable preocupación social. Una estimación del año 1999 indicaba que para el año 2000 (Moulder y cols., 1999) podrían utilizarse más de doscientos millones de teléfonos móviles en el mundo (cuatro veces más que en 1998). Aunque no dispongo de datos al respecto creo, sinceramente, que ese número ha debido de quedar muy por debajo de la cifra real. Es necesario reseñar que las ondas y campos electromagnéticos que hoy se generan artificialmente como producto de los avances tecnológicos humanos son de un amplísimo rango, lo que ha llevado a los investigadores especializados a analizar, con muchos modelos experimentales y desde distintos puntos de vista, los efectos biológicos de los campos electromagnéticos desde 0.5 Hz hasta 300GHz (Scardino y cols., 1998; Repacholi, 1998).

Por fortuna la sociedad actual analiza minuciosamente cada mejora socioeconómica, cada avance industrial, o cada impulso de las comunicaciones, etc., tratando de prever siempre los posibles efectos adversos que puede conllevar un avance concreto. De hecho, hoy se considera más importante que el desarrollo humano y social sea, tal vez, más lento pero sostenible en vez de que sea muy rápido, pero conllevando efectos adversos e irreversibles para la Naturaleza y/o el ser humano. En este sentido, la reciente introducción masiva de telecomunicaciones inalámbricas, con el consiguiente incremento de la exposición a ondas y campos electromagnéticos, ha llevado a numerosos estamentos sociales a solicitar que se estudien en profundidad los efectos sobre la salud que se puedan derivar de esta nueva situación (Burkhardt y cols., 1997).

Los seres vivos formamos un todo integrado con el Universo físico que nos envuelve (Lovelock, 1989) y dependemos de numerosos procesos químicos y bioquímicos que constituyen la compleja ciencia llamada Biología. Así, podemos afirmar que todos los seres vivos somos absolutamente dependientes de las características físicas concretas de nuestro planeta madre: la Tierra (Lovelock, 1989), como la gravedad, la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, la iluminación-irradiación solares, las radiaciones atómicas de minerales terrestres, las ondas y campos electromagnéticos, etc., etc. Analizando brevemente algunos sencillos ejemplos, válidos entre otros muchos, podemos entender mejor esta dependencia y adaptación entre los seres vivos y el planeta Tierra.

Como primer ejemplo consideremos la estrecha relación que existe entre los seres vivos, y muy especialmente los pluricelulares, y la gravedad terrestre como elemento imprescindible para el equilibrio orgánico. Esto se demuestra de muchas formas como, por ejemplo, el hecho de que los astronautas que han permanecido largos periodos de tiempo en el espacio sufren problemas de atrofas musculares y desmineralización ósea debidos, entre otros factores, a la reducción de la gravedad en su entorno.

Los seres vivos estamos tan perfectamente adaptados a las condiciones físicas concretas de la Tierra que cualquier variación puede tener resultados negativos. En este sentido, por ejemplo, es bien conocido que los seres vivos, tanto plantas como animales, requerimos la luz solar en numerosos procesos funcionales orgánicos. Sin embargo, la exposición a radiaciones ultravioletas excesivas puede ser también perjudicial para los seres vivos que, para evitarlo, han desarrollado sistemas de filtros, como es el caso de la melanina cutánea. Ahora bien, cuando se altera el nivel de irradiación ultravioleta que recibe la Tierra, como ha sucedido con la reducción de la capa de ozono, elemento que ha existido durante millones de años en nuestra atmósfera y que filtra las radiaciones ultravioletas, se ha detectado el incremento de lesiones oculares, cánceres cutáneos, etc., tanto en seres humanos como en animales.

La capacidad de adaptación de los seres vivos depende del tipo de agresión que reciben y de su capacidad de respuesta intrínseca a ese tipo de agresión; por tanto no todas las modificaciones del mundo físico tienen los mismos efectos sobre los seres vivos que, además, han utilizado en el pasado muchas de estas modificaciones para evolucionar. Un ejemplo claro de este aspecto lo aportan los antropólogos cuando opinan que un grave cambio climático acaecido hace unos cuatro millones de años, y que convirtió progresivamente el bosque tropical en sabana, hizo que los primates se acomodaran a vivir en el suelo y a caminar erguidos (Arsuaga, 1999).

Durante millones de años los seres vivos han evolucionado en un planeta con un campo magnético relativamente pequeño y con muy escasas fuentes de emisores electromagnéticos que sin embargo han participado, sin lugar a dudas, en la evolución,

como también lo han hecho las fuerzas gravitacionales y otros muchos elementos físicos y químicos (Jacobson, 1989; Frey, 1993). Los seres vivos han establecido una relación de equilibrio y se han adaptado a las ondas y campos electromagnéticos en los que se han desarrollado (Frey, 1993); ahora bien el problema es que, como indicábamos antes, las modificaciones de esas condiciones iniciales en nuestro entorno pueden conllevar efectos biológicos indeseables hasta que se alcance una adaptación biológica a la nueva situación.

Las células vivas realizan numerosos y complejos procesos electroquímicos, muchos de los cuales son hoy bien conocidos, que constituyen la base de la fisiología celular. Estos procesos, extraordinariamente sensibles a los cambios externos, se han adaptado y especializado en un tipo de ambiente concreto en el que el entorno contiene sus propias ondas y campos eléctricos y magnéticos (Frey, 1993; Behari, 1999). De hecho estos procesos son tan finos y sensibles que es difícil que no presenten algún tipo de alteración cuando se expongan de forma mantenida a ondas y campos electromagnéticos de intensidad suficiente (Frey, 1993). Algunos datos permiten constatar que las células y los tejidos son sensibles a los campos electromagnéticos pulsátiles. Por ejemplo, hace ya más de 10 años que se utilizan campos electromagnéticos de ultrabaja frecuencia (0.5 a 18 Hz) con fines terapéuticos, ya que parecen favorecer la regeneración de las fibras nerviosas amputadas, estimulando la cicatrización de heridas y de injertos, incluso en el caso de heridas infectadas, y en general aceleran los procesos de curación de heridas cutáneas, óseas, etc. (ver breve revisión en Scardino y cols., 1998). Lo que no excluye que también puedan tener efectos indeseables cuando se utilicen otras frecuencias, otras intensidades u otras situaciones. Lo importante es, por tanto, determinar con precisión cuáles pueden ser exactamente las alteraciones que las ondas y campos electromagnéticos inducen sobre los tejidos, y si de estas alteraciones pueden derivar o no lesiones patológicas. Todos estos aspectos hacen muy necesario conocer en profundidad todo lo relativo a los efectos biológicos de las ondas y campos electromagnéticos generados artificialmente e implantados bruscamente en la sociedad moderna.

Por todo esto, es necesario evaluar con mucho cuidado todo tipo de alteración de nuestro entorno, que pudiera provocar alteraciones en el delicado equilibrio biológico del planeta o que, incluso, conlleve el desarrollo o incremento de patologías de los seres vivos y, especialmente, de los humanos. Un incremento de la presencia de campos electromagnéticos en nuestro entorno debe ser motivo de estudio y análisis científico profundo, utilizando todos los recursos a nuestro alcance para evidenciar todas las alteraciones que se detecten; sobre todo cuando la sociedad se pregunta con insistencia si las ondas electromagnéticas pueden ser responsables de graves patologías como el cáncer u otras (Moulder y cols., 1999).

La publicación de Repacholi y colaboradores (1997) que encuentra un incremento en la presencia de linfomas en ratones transgénicos (los cuales tienen una alta tendencia espontánea a producir estos tumores) expuestos a campos electromagnéticos de 900 MHz, despertó una gran inquietud en los científicos de todo el mundo que rápidamente iniciaron numerosas investigaciones para ampliar estos conocimientos. Estos estudios están siendo analizados en profundidad por otros muchos investigadores, existiendo en la actualidad una importante controversia sobre el tipo de animales utilizados, etc. (ver revisiones en: Moulder y cols., 1999 y Capítulo 16 del presente informe). De hecho el propio Repacholi (1998) indica que es muy importante seguir investigando los efectos de las ondas y campos electromagnéticos sobre la salud hasta llegar a conclusiones definitivas.

Todas estas controversias han llevado a la Organización Mundial de la Salud, a algunas agencias estatales y a otras muchas entidades y sociedades, a organizar y financiar diversos Seminarios de estudio y análisis de los resultados sobre los efectos sobre la salud de las ondas y campos electromagnéticos. En este sentido se ha creado en Inglaterra el Independent Expert Group on Mobile Phones, apoyado por el Gobierno Británico, que en un reciente informe sobre los efectos biológicos de las ondas y campos electromagnéticos proponen profundizar en las investigaciones sobre el tema hasta poder llegar a una conclusión que sea científicamente válida (citado por Huber y cols., 2000; ver también el Capítulo 15, por W. Stewart). En el mismo sentido se ha pronunciado en su Informe Técnico

para el Ministerio de Sanidad y Consumo, un Comité español de Expertos Independientes (citado por F. Vargas en el Capítulo 12, entre otros).

Siguiendo esta misma línea, la presente publicación se ha marcado como objetivo el de analizar las controversias antes expuestas, y otras muchas que ha suscitado este tema, desde un enfoque multidisciplinar que recoja la opinión de un grupo de científicos y expertos nacionales e internacionales. Así, además de relevantes expertos e investigadores nacionales, participan en este libro tres figuras internacionales de gran prestigio y solvencia como son: el Prof. Sir William Stewart, Presidente de la Royal Society of Edimburg, que ha sido uno de los primeros científicos europeos en emitir un Informe de difusión internacional sobre este tema; el Prof. John E. Moulder, Professor of Radiation Oncology Medical College of Wisconsin (USA), notable científico internacional responsable de otros de los informes actualizados más difundidos a nivel internacional y el Prof. Carl F. Blackman prestigioso investigador de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos.

Esta publicación pretende ser una aportación científica equilibrada y sin sesgos, en la que todos los trabajos se apoyan en la bibliografía mundial existente, que intenta abrir un foro de debate en nuestro medio sobre los posibles efectos de las ondas electromagnéticas sobre los seres vivos. Se trata de evaluar si estos campos son capaces, por sí mismos, de generar o incrementar patologías de diversos tipos y también de evaluar sus interacciones con otras situaciones (tratamientos médicos, prótesis, etc.). Otro de los objetivos de esta publicación es el de conocer los rangos y márgenes de seguridad que permitan afirmar que determinadas exposiciones son inocuas o cuándo pueden ser motivo de alteraciones. En fin se trata de vivir en un mundo que se desarrolle con paso firme hacia un futuro mejor y, por tanto, en el que cada nuevo avance sea analizado con mesura y cuidado, con las técnicas y métodos que la propia evolución tecnológica pone a nuestra disposición, a fin de detectar, lo más precozmente posible, los efectos indeseables y sus características.

## Bibliografía

- Arsuaga JL. El collar del neandertal. Nuevas Ediciones de Bolsillo (2000). págs. 1-405.
- Behari J. Issues in electromagnetic field-biointeractions. Indian J. Biochem. Biophys. 36/5 (1999) 352-60.
- Burkhardt M, Spinelli Y, Kuster N. Exposure setup to test effects of wireless communications systems on the CNS. Health Phys. 73/5 (1997) 770-8.
- Frey AH. Electromagnetic field interactions with biological systems. FASEB Journal 7/2 (1993) 272-81.
- Huber R, Graf T, Cote KA, Wittman L, Gallmann, Matter D, Schuderer J, Kuster N, Borbély AA, Achermann P. Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. Neuroreport 11/15 (2000) 3321-5.
- Jacobson JI. On the electromagnetic nature of life. Panminerva Medica 31/4 (1989) 151-65.
- Lovelock JE. Gaia. A new look at life on earth. Oxford University Press (1989). págs. 1-156.
- Moulder JE, Erdreich LS, Malyapa RS, Merritt J, Pickard WF, Vijayalaxmi. Cell phones and cancer: What is the evidence for a connection?. Radiation Research, 151 (1999) 513-31.
- Repacholi MH. Low-level exposure radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs. Bioelectromagnetics 19/1 (1998) 1-19.
- Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, Noonan D, Finnie J, Harris AW. Lymphomas in  $\mu$ -Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. Radiation Research 147 (1997) 631-40.
- Scardino MS, Swaim SF, Sartin EA, Steiss JE, Spano JS, Hoffman ChE, Coolman SL, Peppin BL. Evaluation of treatment with a pulsed electromagnetic field on wound healing clinicopathologic variables, and central nervous system activity of dogs. Am J Veterinary Research 59 (1998) 1177-81.



## Conceptos Físicos de las Ondas y los Campos Electromagnéticos.

### Antonio Hernando Grande.

Catedrático de Magnetismo de la Universidad Complutense de Madrid. Director del Instituto de Magnetismo Aplicado. Apdo. de Correos 155. 28230 Las Rozas, Madrid.

### Resumen y Conclusiones

El presente trabajo pretende, en primer lugar, explicar, en un lenguaje inteligible para el profano a la Física, el contexto en el que el Consejo de la Comunidad Europea ha elaborado una Recomendación con fecha 12 de Julio de 1999 relativa a la exposición del público a radiaciones no ionizante o de frecuencia comprendida entre 0 y 300 GHz. Se pretende también, en segundo lugar, establecer con la máxima claridad y en diferentes unidades los valores límites de exposición que el Consejo recomienda, con un amplio margen de seguridad, para que los campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial (50 Hz), no produzcan efectos nocivos sobre la salud del público en general.

La normativa dictada en el documento del Consejo "Recomendación de 12 de Julio de 1999 relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz) " al estar elaborada a partir de los datos más fiables e *interpretada posteriormente* por los científicos especialistas de mayor crédito constituye una pieza única para regular las dosis de campos electromagnéticos y evitar posibles riesgos a los ciudadanos. En el documento se diferencian efectos comprobados y efectos no comprobados sobre la salud y se delimitan con un margen extremo de seguridad los valores límites recomendados. En lo concerniente a los campos de 50 Hz se señalan como límite de campo magnético **100 microteslas** y como límite de campo eléctrico **5000 V/m**. **Cualquier valor de intensidad de campo o ligeramente superior es dentro del marco de las observaciones actuales inocuo para la salud.**

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

Quizás el aspecto más didáctico del Documento sea el énfasis con que se subraya la importancia de la dosis de riesgo para cada frecuencia del campo electromagnético en función de los daños comprobados generados por cada intervalo de frecuencias. La medida precisa y rigurosa de los campos electromagnéticos y el incremento de la cultura media ciudadana acerca de los umbrales de riesgo es el mejor remedio contra los efectos nocivos de los campos.

#### 1. La interacción electromagnética como base de la materia y la vida.

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

La vida puede existir exclusivamente en un medio electromagnético adecuado que gobierne los ritmos de radiación manteniendo los márgenes requeridos de temperatura. También la radiación electromagnética formada por fotones es componente indispensable de la función clorofílica responsable de la existencia de vida en su forma actual. La síntesis de agua y anhídrido carbónico genera azúcar que constituye un almacén de energía. El

exceso de energía potencial que la molécula de azúcar tiene respecto a las moléculas iniciales se obtiene de la energía electromagnética, o luz del Sol, que es absorbida durante la síntesis sólo si está presente la clorofila que actúa como catalizador. La formación de azúcar es la base de toda la síntesis de alimentos para las diversas formas de vida organizada.

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

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

## **2. Radiaciones ionizantes y no ionizantes.**

El Sol, como fuente de energía, es responsable directo de la vida sobre la Tierra en todas sus formas. La transmisión de la energía desde el Sol, donde se produce continuamente por fusión nuclear, hasta la Tierra se realiza mediante fotones o radiación. La atmósfera amortigua la radiación ultravioleta que correspondiendo a la banda más energética del entorno del espectro visible produciría quemaduras si actuara con mayor intensidad. Este es un primer ejemplo del equilibrio requerido para el desarrollo de la vida. Si

bien necesitamos la radiación del Sol su exceso nos desintegraría. La dosis crítica de radiación ultravioleta la fija la capa de ozono atmosférica cuyo estado con tanta razón preocupa a una sociedad cada vez más consciente de este equilibrio frágil sobre el que descansa la posibilidad de vivir. Al encontrarse las moléculas que forman el organismo enlazadas por fuerzas electromagnéticas son susceptibles de romperse por fuerzas externas de la misma magnitud. Los fotones de alta energía, comprendida en el rango de órdenes de magnitud de 0.1 a 1 eV, son capaces de romper las moléculas ya que la energía del enlace químico está comprendida en el mismo intervalo<sup>1</sup>. La energía cinética con que se mueve una molécula de nitrógeno que forma parte del aire de nuestra habitación a 20 grados centígrados de temperatura es 0.026 eV. Los fotones con energía inferior a 0.1 eV no son capaces de romper los enlaces químicos y se denominan no ionizantes, ya que de la ruptura de los enlaces se deriva la formación de iones que son los átomos inicialmente enlazados tras separarse violentamente. Si uno considera que la constante de Planck es  $h = 6.6 \cdot 10^{-34}$  Julio segundo ó  $6.6 \cdot 10^{-15}$  eV segundo todos los fotones con frecuencias  $f$  inferiores a  $10^{13}$   $\text{seg}^{-1}$  ó  $10^{13}$  Hz (la unidad Hz significa herzio o uno dividido por segundo; el número de herzios es el número de veces que en un segundo se invierte el sentido del campo eléctrico del fotón;  $10^{13}$  significa diez billones ya que indica que es una cantidad de trece cifras) tienen energías inferiores a 0.01 eV y pueden considerarse como radiaciones no ionizantes o no rompedoras de moléculas. Por esta razón las denominadas radiaciones no ionizantes abarcan el espectro de frecuencias que se extiende entre los campos estáticos - o no variables con el tiempo - para los que  $f=0$  y los de frecuencia 300 GHz ó 300 gigaherzios =  $3 \cdot 10^{11}$  Hz (1 GHz son mil millones de herzios o  $10^9$  Hz).

Todos sabemos que la radiación gamma o los rayos x al ser ionizantes pueden producir efectos nocivos sobre los tejidos. Pero debe considerarse que no basta la incidencia de fotones de alta energía para derivarse daños, es también preciso que el número de fotones sea suficientemente elevado. La dependencia del daño con el número

---

<sup>1</sup> 1 electrón-voltio, eV, es la energía que adquiere un electrón en un potencial de 1 voltio.

de fotones o *intensidad* de la radiación permite hablar de **dosis de tolerancia y dosis de seguridad** incluso para las radiaciones altamente energéticas o ionizantes.

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

### 3. El electromagnetismo como ciencia.

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

El último aserto del párrafo anterior es especialmente importante para centrar con claridad el problema que representa la interacción de los campos electromagnéticos con la materia viva. Cualquiera que sea el efecto producido por un campo de una cierta

intensidad y frecuencia debe poderse explicar como una consecuencia de las fuerzas electromagnéticas que son perfectamente conocidas. La dificultad para explicar sus efectos sobre la salud proviene de la falta de conocimiento suficientemente detallado sobre todos los mecanismos físico-químicos que constituyen la vida. Por supuesto que esta falta de conocimiento está originada por la enorme complejidad en detalle de los fenómenos biológicos. Pero son estos los que deben investigarse. En otras palabras, es un error considerar que los campos electromagnéticos pueden producir efectos sobre la vida diferentes a los que producen sobre partículas cargadas. **No hay que inventar nuevas propiedades de los campos electromagnéticos para justificar su acción sobre lo vivo, mas bien hay que profundizar en los mecanismos que gobiernan la marcha de las partículas cargadas, presentes en la célula, para partiendo de las fuerzas bien conocidas de los campos electromagnéticos sobre dichas cargas explicar su efecto sobre los mecanismos biológicos.**

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

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

El disco duro del ordenador, el vídeo, la cinta magnetofónica, la banda de las tarjetas de crédito, códigos de seguridad, los núcleos de los motores, transformadores y generadores, la televisión, los equipos de telecomunicaciones, todos estos elementos tan familiares en el año 2000 están basados en efectos de los campos eléctricos y magnéticos. Estos sistemas a diferencia de toda la química de la Naturaleza que es también esencialmente resultado de las leyes del Electromagnetismo no existen espontáneamente,

han sido frutos del trabajo de investigación del hombre. Se puede afirmar que desde comienzos del siglo XX los campos magnéticos creados artificialmente por la humanidad se superponen a los campos electromagnéticos que naturalmente existen desde hace millones de años sobre la superficie de la Tierra.

La aplicación más revolucionaria de los campos electromagnéticos fue sin duda la llevada a cabo este siglo gracias al descubrimiento de Faraday hacia la mitad del siglo XIX. Este genial físico experimental inglés descubrió en su laboratorio que los campos eléctricos, de los que hasta entonces se sabía que eran creados por cargas eléctricas, también se creaban, sin necesidad de contar con carga eléctrica, con campos magnéticos variables en el tiempo. La posibilidad de crear campos magnéticos variables mediante artilugios mecánicos que hagan girar, por ejemplo, imanes, es inmediata. De este modo se podrían construir "*fábricas*" de campo eléctrico y mediante conductores transportar la electricidad a distancias alejadas de ellas. Este transporte era en realidad un transporte de energía que, por su principio de conservación, consistía en la energía que gastaba el artilugio mecánico para hacer girar el campo magnético. La energía se podía almacenar como energía química, o mecánica, convertir en campo eléctrico, transmitir a distancia -análogamente a como la energía nuclear del Sol se transmite a la Tierra mediante fotones- y entonces volver a reconvertir en energía utilizable en los lugares de consumo, viviendas, oficinas y fábricas. La posibilidad de utilizar la energía en cualquier parte sin necesidad de aproximación a la fuente constituye el resultado científico que más ha contribuido a alcanzar el nivel de bienestar, cultura, seguridad sanitaria y capacidad industrial de los pueblos más desarrollados. Da vértigo comenzar a vislumbrar como cambiaría el mundo si no hubiera suministro de energía en las viviendas, en los hospitales o en las fábricas. Este ejemplo ilustra perfectamente como el descubrimiento de las leyes que rigen los fenómenos electromagnéticos inherentes a la materia desde que el Universo es Universo, permite a la sociedad utilizar dichos fenómenos para mejorar su cultura y su estilo de vida. **Es fácil comprobar que todo avance positivo contiene contraindicaciones en su propia esencia.** Si utilizamos energía hay que pagar un coste. Este coste es la estética del campo y la ciudad

dañada por las torres que sustentan los conductores de suministro, la perturbación ecológica del lugar en que se almacena la energía (presa hidráulica, central térmica o nuclear), el aumento de la intensidad ambiental de campos electromagnéticos de 50 Hz, la posibilidad de electrocutarse etc. Afortunadamente muchos de estos factores pueden evaluarse con precisión de modo riguroso. Otros no, como, por ejemplo los estéticos. A la hora de enmarcar la envergadura de la dialéctica que conduce a esa cuestión radical: ¿Merece la pena el progreso? Sería bueno tener presente que los daños derivados de una tecnología, por ejemplo la de los campos electromagnéticos, no pueden nunca ser mayores *en media* que aquellos a los que estamos expuestos por la existencia natural de los campos electromagnéticos. La cuestión pues sólo admite una respuesta tras un balance riguroso. La razón beneficio/riesgo debe analizarse desapasionadamente y con perspectiva. **Como en el caso de la radiación ultravioleta solar debemos buscar la condición crítica de equilibrio en la limitación de intensidades que dependerá de cada rango de frecuencias.**

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

##### 5. El efecto de la falta de información sobre el tratamiento social del problema

Los ciudadanos que se agrupan en mayoría en la denominada cultura media de cualquier país desarrollado suelen carecer de información científica suficiente. En España, la escasa protesta social por los escasos porcentajes del PIB dedicados a la investigación

científica, es a su vez, un índice de esta falta de información. La repercusión que en el futuro próximo puedan tener estos hechos es preocupante. Una de las posibles causas de este panorama es la incapacidad de los científicos para encontrar el lenguaje apropiado que les permita comunicarse con el resto de los estamentos culturales de la sociedad. El resultado de semejante pecado de omisión permite que personas no suficientemente informadas sean las encargadas de transmitir el conocimiento, lo que hace que, en ocasiones, no llegue información adecuada al público en general.

Para mostrar esta realidad valgan tres ejemplos que han sido, desgraciadamente, frecuentes en nuestros medios informativos. Hemos vivido el episodio publicitario del “agua imantada” como curativo milagroso de mil enfermedades y hemos escuchado a algún “ecologista” decir que el viento del Estrecho iba a llevar de aquí para allá el campo magnético producido por un cable submarino, como si el campo tuviera masa para ser zarandeado por el vendaval. Peor aún es la solución de enterrar los cables de conducción de las líneas de alta tensión, sin modificar su configuración, si se pretende sea remedio a los posibles efectos perniciosos del campo magnético. Sin embargo, el campo producido por los cables decrece para una intensidad dada con la distancia a ellos. El campo se propaga exactamente igual por la tierra y por el aire. Como en la tierra los cables se entierran a una profundidad inferior a la altura a la que se tienden en el aire el campo magnético producido a nivel del suelo será mayor a menos que se aproximen mucho más entre ellos. Más grave aún es la situación que se origina cuando en el terreno del enterramiento se encuentran materiales ferromagnéticos que, en algunos puntos, amplifican cientos de veces el campo magnético. En conclusión, si el campo magnético creado por las líneas fuera nocivo el enterramiento de los cables agravaría notablemente el efecto. Si el enterramiento es motivado por razones estéticas ó psicológicas bienvenido sea si es económicamente justificable.

Lamentablemente, conceptos e ideas inadecuadas llegan con mayor abundancia y con más facilidad que la divulgación científica rigurosa. **Como esta información afecta a muchos se crea una opinión social que contiene junto a elementos positivos de madurez**

ciudadana una enorme cantidad de confusión y falta de información científica. Dicha opinión presiona a políticos y legisladores y ha llevado al Consejo de la Unión Europea a dictar la normativa cautelar objeto de este Informe. El efecto de esta presión social, como el de las propias Recomendaciones del Consejo, es tanto más preocupante cuánto mayor sea la falta de información general, contribuyendo positivamente al aumento de esa presión que en la mayoría de los casos es al menos parcialmente injustificada. Los científicos deberían colaborar más estrechamente con la sociedad, sobre todo, en lo que concierne a “distinguir las voces de los ecos”. Es verdad que los científicos por oficio suelen ser muy respetuosos con lo desconocido y muy críticos con lo conocido, pero determinadas ideas como las mencionadas antes deberían ser refutadas inmediatamente y sin paliativos con los conocimientos científicos actuales.

**Ante:** 1) la existencia de una presión social auténtica que exige, con todo derecho, información fiable y que está basada en una hipersensibilidad hacia los efectos de los campos electromagnéticos, 2) la falta de información generalizada sobre algunos temas científicos, 3) la realidad del problema, desde el lado de la biología, debido a que no se conocen en detalle todos los mecanismos físico-químicos que constituyen la vida, 4) la también evidente realidad de que muchos de los ingredientes del problema, concretamente los relacionados con la física de los campos electromagnéticos son científicamente conocidos de forma rigurosa y bien establecida. Así son, por ejemplo, las fuerzas que los campos eléctricos y magnéticos producen sobre partículas cargadas.

**Urge:** un esfuerzo de los poderes públicos por escuchar a los científicos de prestigio internacional, atendiendo a separar lo que es conocimiento científicamente incontestable de lo que es materia de opinión o de investigación, ayudando a determinar cuales pueden ser las mejores decisiones en estas materias para nuestro entorno y nuestra sociedad.

En definitiva estas consideraciones precedentes son las que han motivado la actuación del Consejo de la Unión Europea. Los especialistas han reaccionado ante la problemática planteada con el rigor requerido. 1) Han reconocido el derecho de la población a la información rigurosa e inteligible y a la salvaguarda de su salud, 2) han

separado lo científicamente comprobado de lo científicamente incierto y 3) han recomendado a la sociedad, legisladora indiscutible representada por la clase política, la adopción de medidas razonables cautelares con amplios márgenes de seguridad orientadas a evitar efectos sobre los aspectos desconocidos.

#### **6. Los campos electromagnéticos asociados a las líneas de alta tensión (LAT) comparados con los campos naturales**

Actualmente existen en España treinta mil kilómetros de LAT repartidos entre 14000 Km de 400 kV (kV o kilovoltio corresponde a mil voltios, el voltio mide el voltaje o tensión) y 16000 Km de 220 kV. A escala mundial la LAT de tensión más elevada es de 765 kV. Las de corriente trifásica constan al menos de tres cables colocados a una determinada altura del suelo (líneas aéreas) o bajo el mismo (líneas subterráneas). Los cables conductores se agrupan según diversas configuraciones en delta, en horizontal, etc. Las diferentes configuraciones provocan diferentes campos electromagnéticos. El **campo eléctrico que produce una LAT depende del voltaje** y de la carga que a su vez para un voltaje dado depende de la capacitancia de la línea que está condicionada por su configuración geométrica. El campo eléctrico fluctúa poco en cada línea, en torno a un 10% siguiendo las fluctuaciones de tensión. Los valores típicos del campo electromagnético bajo una LAT de 400 kV a nivel del suelo son de 510 kV/m para el campo eléctrico. **El campo magnético depende de la intensidad y no directamente del voltaje** por lo que fluctúa con el consumo y varía generalmente al nivel del suelo bajo la línea entre 1 y 20 microteslas. Ambos campos, eléctrico y magnético, disminuyen a medida que aumenta la distancia a la línea.

El campo eléctrico estático presente en la superficie de la Tierra, debido a una acumulación de carga negativa en el suelo de una milésima de culombio por kilómetro cuadrado, es del orden de 150 V/m y alcanza durante las tormentas el valor de 10 kV/m. Las partículas cargadas de la atmósfera disminuyen progresivamente la carga negativa superficial que recupera su valor durante las tormentas que actúan como baterías de

mantenimiento del campo. El campo magnético estático terrestre se cree debido a corrientes eléctricas de convención generadas en el núcleo metálico del Planeta y es máximo en los polos, aproximadamente próximos a los geográficos, con valor 70 microteslas y mínimo en el ecuador, 30 microteslas. En algunos lugares próximos a suelos ferromagnéticos llega a alcanzar valores de 300 microteslas y en España su intensidad media es 45 microteslas. A estos campos naturales estáticos debemos sumar todos los campos de amplio espectro de frecuencias correspondientes a los pulsos de campos electromagnéticos asociados a las descargas eléctricas que continuamente se producen en la troposfera.

Se puede concluir que el campo eléctrico máximo de 50 Hz en las proximidades de una LAT puede ser 50 veces superior al campo terrestre estático habitual y del mismo orden que el generado en las tormentas, mientras que el campo magnético de 50 Hz próximo a la LAT es siempre inferior al campo magnético terrestre.

Los campos magnéticos asociados al suministro de energía se manifiestan no sólo en las proximidades de las LAT sino en todos los electrodomésticos de las viviendas, ordenadores y en los motores, generadores y transformadores de las industrias que utilizan la energía de la red en su proceso productivo. Cerca de los electrodomésticos la intensidad de campo magnético de 50 Hz puede alcanzar valores de miles de microteslas que decrecen rápidamente con la distancia.

La mayoría de los trenes y tranvías funcionan con energía eléctrica, continua o alterna. Los campos magnéticos producidos por trenes del ferrocarril suburbano pueden alcanzar fluctuaciones de 30 microteslas en los momentos de máxima aceleración o absorción de potencia. Estos campos fluctuantes, del orden del campo terrestre y cada vez más abundantes constituyen una perturbación indeseable para el funcionamiento de equipos electrónicos de alta sensibilidad como los microscopios electrónicos de barrido y transmisión.

## **7. Daños conocidos o comprobados de los campos electromagnéticos sobre la salud. Las normas cautelares establecidas por la Unión Europea**

El protocolo de Recomendaciones en su doble aspecto de Restricciones Básicas y Niveles de Referencia **está basado en los datos conocidos o comprobados relativos a los efectos de la corriente eléctrica en el organismo. Su base es limitar el nivel de corriente que se puede inducir en el interior de un organismo por el hecho de estar expuesto a un campo electromagnético. Se sabe que las corrientes naturales dentro de un organismo oscilan entre 1 y 10 mA/m<sup>2</sup>. El umbral para producir claramente efectos nocivos es 100 mA/m<sup>2</sup>, pero en el rango de 10 a 100 pueden producirse alteraciones biológicas no necesariamente nocivas. La Comisión ha establecido por tanto un primer margen de seguridad de 10 al decir que no deben superarse 10 mA/m<sup>2</sup>; más aún aumenta este margen de seguridad hasta 50 al establecer que no deben superarse 2 mA/m<sup>2</sup>. Lo que pretende la Recomendación es proporcionar a todos los ciudadanos de la Comunidad Europea un alto nivel de protección de su salud frente a la exposición a los campos electromagnéticos medioambientales de modo que se evite la inducción de corrientes con intensidad de riesgo**

Las corrientes eléctricas en un medio natural dependen de la conductividad del medio y del campo eléctrico que actúa sobre él. Comenzaremos por estimar los valores del campo eléctrico producido en la membrana de las células por los campos electromagnéticos de 50 Hz de la intensidad máxima producidos por LAT.

El cuerpo humano es conductor eléctrico para campos estáticos y de baja frecuencia cómo son los campos de 50 Hz. Cuando se introduce un conductor en un campo eléctrico las líneas del campo se distorsionan de tal modo que el campo en la superficie del conductor es perpendicular a ella y su valor se reduce varios ordenes de magnitud en el interior del conductor. El campo eléctrico es a su vez perpendicular a las superficies de potencial constante, por tanto estas superficies que eran paralelas a la superficie de la Tierra en ausencia de conductores se deforman en torno a los cuerpos conductores tomando su forma. En un campo eléctrico de 10 kV/m se produce por el cuerpo humano una reducción tal que en su interior la intensidad pasa a ser de 400  $\mu$ V/m (donde  $\mu$ V significa microvoltio o

millonésima parte de voltio. La disminución es de  $10^4$  V a  $10^{-4}$  V o de ocho ordenes de magnitud). Debido a que la membrana de las células tienen una mayor resistividad su valor en esta zona fundamental para los procesos biológicos queda reducida a 1 V/m.

Un campo magnético de 50 Hz y de 100 microteslas de intensidad, produce por inducción electromagnética un campo eléctrico equivalente en promedio a 5mV/m (mV es milivoltio o milésima de voltio), tomando en la superficie celular o membrana un valor de 14 V/m.

**Los dos valores de campo eléctrico producidos en la membrana celular por los campos eléctricos y magnéticos máximos asociado a una LAT son 1 y 14 V/m respectivamente, sin embargo el campo fluctuante que debido al ruido térmico aparece en las membranas celulares es muy superior, del orden de 300 V/m.**

Las corrientes eléctricas pueden producir a su paso por el cuerpo daños en el sistema cardiovascular y en el sistema nervioso central. Según la Recomendación su límite de seguridad, para largas duraciones, es de 8 miliamperios (mA) por metro cuadrado ( $m^2$ ) para frecuencias inferiores a 1 Hz y de 2 mA/ $m^2$  para frecuencias comprendidas entre 4 y 1000 Hz. En el rango de frecuencias de interés la corriente máxima es de 0.5 mA. La corriente de corta duración umbral que detecta un organismo medio como sensación de calambre es de 25 a 40 mA. A 50 mA hay daños graves en el tejido en contacto con el conductor que origina la corriente. Para alcanzar la seguridad de que la intensidad de corriente de larga duración se mantiene inferior a este valor de 0.5 mA la intensidad de campo magnético en el rango comprendido entre 0.025 kilohertzios y 0.8 kilohertzios debe mantenerse inferior a  $5/f$  microteslas donde, como explica el cuadro 2 de la Recomendación,  $f$  es la frecuencia del campo en kilohertzios. **Al ser 50 herzios =0.05 kilohertzios,  $5/f$  resulta ser  $5/0.05$  igual a 100 microteslas.**

Otro efecto comprobado de los campos electromagnéticos es el calentamiento que producen las microondas de frecuencia coincidente con la de oscilación interna de la molécula de agua en cuerpos que contengan agua. Este efecto de resonancia que permite

absorber la energía de la radiación y transformarla en energía elástica de las moléculas es la base del calentamiento en hornos de microondas. Aunque su frecuencia se encuentra ocho órdenes de magnitud por encima de la frecuencia de la red de suministro industrial constituye un efecto de interés en el caso de la telefonía móvil donde la proliferación de uso podría llegar a plantear este tipo de problemas. En concreto se sabe que un aumento de la temperatura de 1 grado forzado por radiación electromagnética produce daño en los tejidos. Para este incremento de temperatura es preciso que el organismo reciba una dosis de 4 W/kg ó 4 watios por kilogramo. Cuando la energía de la radiación de microondas que alcanza al cuerpo es inferior a 0.4 W/kg no se producen efectos de daño térmico de ningún tipo con un amplio margen de seguridad. Este valor de la densidad de energía por unidad de masa constituye el límite recomendado.

**En resumen, hoy día está comprobado i) que corrientes eléctricas, en el rango de frecuencias comprendido entre 5 Hz y 1 kHz, cuando son superiores en densidad a 10 mA/m<sup>2</sup>, pueden afectar las funciones normales del cuerpo humano (no sólo sistema nervioso central, puesto que pueden producir extrasístoles) ii) el aumento de temperatura por encima de 1 grado puede producir efectos biológicos adversos. El efecto de daño térmico sólo puede ser generado por frecuencias del orden de gigaherzios o microondas y la restricción se define respecto a la potencia absorbida por unidad de masa que debe permanecer por debajo de 0.4 W/kg<sup>2</sup>.**

En resumen la medida de la respuesta biológica en laboratorio y en voluntarios ha mostrado la inexistencia de efectos adversos producidos por campos de baja frecuencia a los niveles de intensidad a los que normalmente se encuentra expuesto el público. Los efectos más consistentes apreciados por los voluntarios son la aparición de imágenes fosforescentes y la reducción temporal del ritmo cardiaco, sin que ambos síntomas parezcan guardar relación con trastornos de salud de largo alcance.

## 8. Daños o efectos a largo plazo no comprobados

El origen de la alarma social creada en torno a la posible acción nociva de los campos electromagnéticos no proviene de los efectos científicamente comprobados y sobre los que reposa el fundamento de la Recomendación del Consejo de la Unión Europea. Antes al contrario se fundamenta históricamente en una serie de experimentos que por su intrincada naturaleza no han podido nunca verse confirmados hasta la actualidad. Desde final de los setenta se han realizado y publicado numerosos estudios sobre una gran variedad de efectos de los campos electromagnéticos sobre la salud que aportan resultados diversos. En cuanto al tema que más preocupa, que es el del cáncer, se puede decir que no existe ninguna evidencia de que los campos de 50 Hz puedan actuar como iniciadores del proceso canceroso. En cuanto a su capacidad promotora, los estudios sobre modelos animales también parecen descartarla; algunos mecanismos supuestamente promotores, como la interacción con la melatonina, están siendo investigados en la actualidad aunque en el caso del hombre no parecen ser demasiado relevantes

La controversia en este momento se centra, por tanto, única y exclusivamente en los resultados de un pequeño número de estudios epidemiológicos. Para analizar estos resultados conviene tener presente un índice denominado riesgo relativo de enfermedad que se define como el cociente obtenido de dividir el riesgo de contraer la enfermedad una persona expuesta y el riesgo de una persona no expuesta. Que el riesgo relativo sea superior a uno indica que es posible la existencia de una relación entre la enfermedad y la exposición. Por ejemplo, si la enfermedad es el cáncer de pulmón y la exposición es fumar el riesgo relativo es de treinta indicando así la existencia de una evidente relación entre la exposición, fumar, y la enfermedad. Se puede considerar que un riesgo relativo superior a 5 indica una fuerte correlación entre la exposición y la enfermedad.

Los estudios que encuentran un riesgo relativo de leucemia aumentado en niños que viven cerca de líneas de alta tensión, encuentran un riesgo relativo ligeramente aumentado de contraer leucemia. Alguno de los primeros estudios encontraron una relación con el tamaño de las líneas y su distancia a las casas, pero cuando realmente se medía el

CEM al que estaban expuestos, ésta relación desaparecía. Esto incluye al famoso estudio del Instituto Karolinska de Suecia. En otros países nórdicos no se encontró relación alguna entre cáncer e instalaciones eléctricas.

En los tres últimos años se han publicado importantes nuevos estudios, financiados y dirigidos por Institutos del Cáncer de países como EE.UU., Canadá e Inglaterra. En ellos, se analizan cientos de casos de leucemias y otros cánceres y se miden las exposiciones de los niños a CEM, con aparatos instalados en sus casas o sus mochilas. Los resultados, son tranquilizadores y se pueden resumir con la conclusión del último y más amplio (más de 2000 casos de cáncer) estudio publicado por el UKCCS (Grupo de Estudio sobre Cáncer Infantil en Gran Bretaña) en Diciembre 1999: ***"el estudio no proporciona evidencia de que la exposición a campos magnéticos asociados con la distribución de electricidad en Gran Bretaña aumente el riesgo de leucemia infantil, cáncer del sistema nervioso central, o cualquier otro tipo de cáncer de la infancia"***.



## **Medida de Campos Electromagnéticos Próximos a Líneas Eléctricas de Alta Tensión.**

**Carlos Llanos Lecumberri**

Técnico del Departamento de Medio Ambiente. Red Eléctrica de España. Paseo Conde de los Gaitanes, 177. 28109 Alcobendas. Madrid.

### **Resumen y Conclusiones**

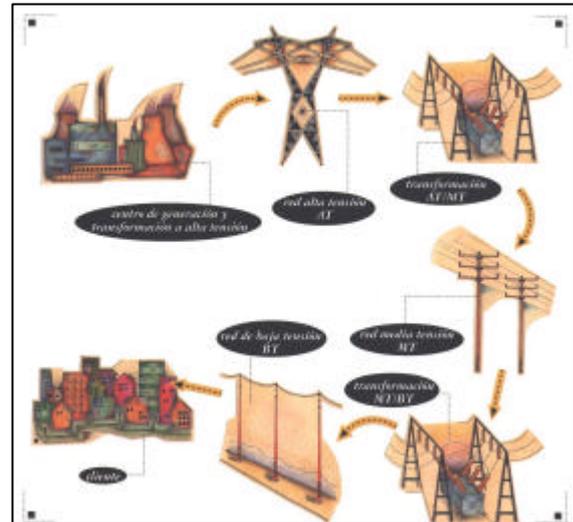
Desde hace más de 30 años se investiga sobre si los campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial (50-60 Hz) que producen las líneas de alta tensión y las instalaciones eléctricas pueden producir efectos nocivos en el medio ambiente y, muy especialmente, en la salud humana. Hoy en día se ha descartado por completo la relación entre estos campos con cualquier tipo de enfermedad en niños o adultos, así lo han expresado numerosos organismos nacionales e internacionales, aunque entre la opinión pública sigue existiendo cierta incertidumbre.

En esta ponencia se hace un repaso de los principales elementos que forman un sistema eléctrico, especialmente las líneas de transporte de energía en alta tensión, unos conceptos básicos de campos electromagnéticos de frecuencia industrial, los distintos métodos que se han empleado a lo largo de estos años para evaluar la exposición a estos campos y unos valores típicos de campos electromagnéticos de frecuencia industrial en ambientes residenciales y laborales, así como un estudio comparativo de los valores de campo que producen diferentes tipos de líneas eléctricas. Por último, se incluye un apartado sobre los efectos de los campos electromagnéticos de frecuencia industrial en la salud y la normativa de exposición.

## 1.- INTRODUCCIÓN

Al contrario de lo que ocurre con otras fuentes de energía (gas, petróleo, carbón...), la energía eléctrica no se puede almacenar en grandes cantidades; únicamente a pequeña escala y con malos rendimientos (en pilas y baterías). Toda la electricidad que se necesita en cada momento en hogares, escuelas, hospitales, industrias, etc. tiene que producirse de forma simultánea en centros de generación. Para ello, es necesario que exista un equilibrio complicado y permanente entre generación y consumo, y una red eléctrica que conecte los centros productores de energía con los puntos de consumo a lo largo de todo el país.

Los principales elementos del sistema eléctrico, según podemos ver en esta gráfica, son:



- **Centros de generación**

Donde se produce la energía eléctrica. Según el recurso energético que utilicen pueden clasificarse en instalaciones de energías renovables (hidráulica, eólica, solar..) y no renovables (carbón, gas, fuel, nuclear...).

- **Líneas de transporte a alta tensión (AT)**

Forman una malla que cubre todo el territorio y permiten el suministro de la energía eléctrica desde los centros de generación que resulten más adecuados en cada momento. Hay en ella distintos escalones de tensión, desde 30 a 400 kV. Las líneas eléctricas de alta tensión son necesarias para:

- Transportar eficientemente la energía eléctrica a largas distancias.
- Satisfacer la demanda creciente de los centros de consumo.
- Incrementar la potencia transportada, disminuyendo el número de líneas necesarias.

- **Estaciones transformadoras**

Los transformadores adecuan la tensión a los distintos escalones de la red de transporte o a la tensión de la red de distribución en media tensión.

- **Líneas de distribución en media tensión (MT)**

Llevar la energía a los centros de transformación. En grandes poblaciones suelen formar mallas, generalmente subterráneas, que unen los distintos centros de transformación. La tensión en estas líneas varía desde 1 a 30 kV.

- **Centros de transformación MT/BT**

Reducen la tensión de forma apropiada para que la corriente pueda ser utilizada por los consumidores.

- **Líneas de distribución en baja tensión (BT)**

Llevar la energía a los centros consumidores. Tienen menos de 1.000 voltios.

- **Aparatos de medida**

Miden la energía consumida y facilitan su comercialización. Se sitúan en las instalaciones que son propiedad del consumidor de la energía.

- **Elementos consumidores**

Son los distintos aparatos y máquinas que utilizan la energía eléctrica para funcionar.

La ley del sector eléctrico (Ley 54/1997 de 27 de noviembre de 1997) define la red de transporte de energía eléctrica como el conjunto de líneas, subestaciones,

transformadores y otros elementos eléctricos con tensiones iguales o superiores a 220 kV. Conectada a esta red de transporte se encuentra la red de distribución a alta tensión, con líneas y transformadores entre 36 y 132 kV.

En España, al igual que en toda Europa occidental la máxima tensión que se emplea en el transporte es 400 kV (400.000 voltios), aunque en otros países como Estados Unidos, Canadá, Rusia o Brasil utilizan 750-765 kV y en Japón existe una línea a 1.000 kV. La primera línea a 400 kV en España data del año 1964, y a fecha 31 de diciembre de 2000 había en España 14.659 km de líneas de esta tensión.

Mediante un adecuado mallado de líneas y subestaciones de alta tensión que cubra todo el territorio se consigue una red de transporte de energía eléctrica segura y fiable, capaz de minimizar las pérdidas y garantizar el suministro a toda la población, aún en el caso de que se produzcan fallos en algún elemento.

## **2.- CONCEPTOS BÁSICOS**

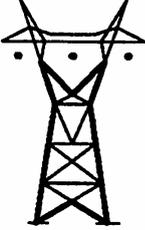
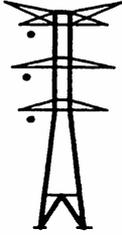
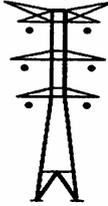
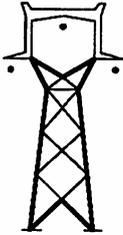
### Características de las líneas eléctricas de alta tensión

Una línea eléctrica aérea de transporte a alta tensión consiste básicamente en una serie de apoyos metálicos que sostienen unos cables conductores por los que fluye la energía eléctrica.

El parámetro fundamental de una línea eléctrica es su tensión, o voltaje al que funciona. La razón de elevar la tensión de las líneas eléctricas es minimizar las pérdidas sufridas durante el transporte, que dependen fundamentalmente del calentamiento por efecto Joule y por lo tanto de la intensidad de corriente que atraviesa el cable en cada momento; al elevar la tensión se reduce la intensidad necesaria para transportar la misma cantidad de energía.

Las líneas eléctricas a alta tensión son trifásicas, es decir, que constan de tres fases o cables; y eso es lo que se denomina un circuito. Normalmente las líneas tienen 1 ó 2 circuitos,

aunque en algunos casos pueden tener más. Los apoyos pueden ser de diferentes tipos, en la tabla siguiente podemos ver algunos ejemplos, aunque los más habituales son horizontales y verticales:

Capa (horizontal)	Bandera (vertical) 1 circuito instalado	Doble Bandera (2 circuitos instalados)	Delta
			

La altura mínima de los cables conductores al suelo viene determinada por el Reglamento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión, a través de la fórmula:

$$5,3 + U/150 \text{ metros, siendo } U \text{ la tensión nominal en kV}$$

(con un mínimo de 6 metros)

Así pues, para 400 kV la altura mínima de los conductores al terreno ha de ser **8 metros**.

### Campos electromagnéticos

En física se denomina 'campo' a la zona del espacio donde se manifiestan fuerzas; por ejemplo, el campo gravitatorio es la zona donde hay una fuerza gravitatoria, responsable de que los cuerpos tengan un determinado peso.

De la misma manera, un campo electromagnético es la zona del espacio donde existen fuerzas eléctricas y magnéticas, creadas por las cargas eléctricas y su movimiento respectivamente.

Las unidades más habituales de medida son:

- Campo eléctrico en V/m (voltios por metro), o su múltiplo kV/m ( $1 \text{ kV/m} = 1.000 \text{ V/m}$ )
- Campo magnético en T (teslas), o su submúltiplo  $\mu\text{T}$  ( $1.000.000 \mu\text{T} = 1 \text{ T}$ )

Los campos electromagnéticos se dan de forma natural en nuestro entorno, y nuestro organismo está habituado a convivir con ellos a lo largo de nuestras vidas. En la Tierra, por ejemplo, existe un campo eléctrico estático producido por la diferencia de tensión entre las capas altas de la atmósfera y el suelo; su valor oscila entre 120 y 150 V/m, aunque puede alcanzar hasta 10 kV/m durante las tormentas.

Existe igualmente un campo magnético estático natural en la Tierra, supuestamente debido a las corrientes que circulan por su núcleo. Su intensidad es mínima en el ecuador ( $30 \mu\text{T}$ ) y máxima en los polos ( $70 \mu\text{T}$ ), en España su valor medio es de  $40 \mu\text{T}$ .

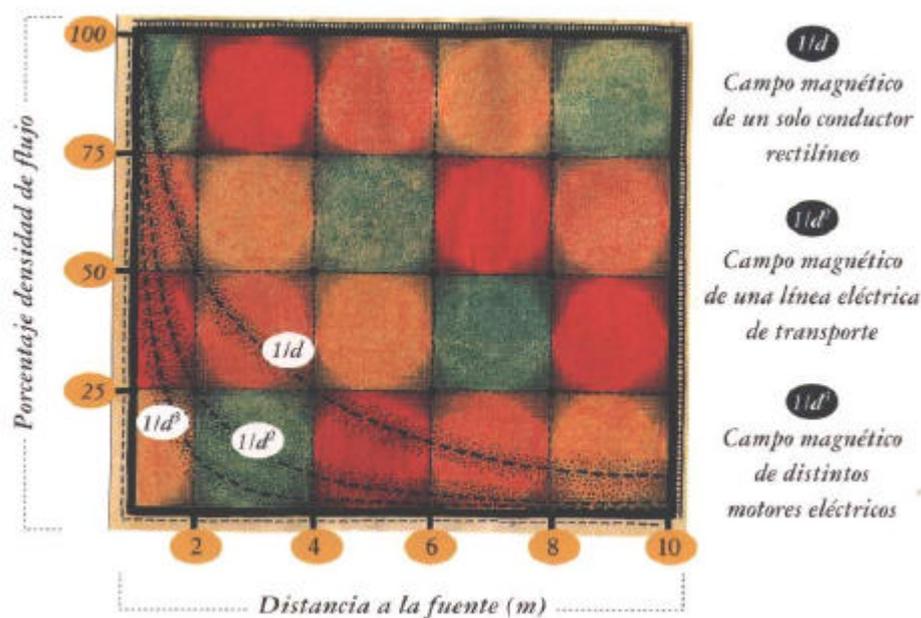
Una fuente muy importante de emisiones electromagnéticas es el Sol, en forma de rayos infrarrojos, ultravioletas y, sobre todo, luz visible. Además también estamos expuestos a los rayos X y gamma procedentes del espacio.

Actualmente también estamos sometidos a numerosos tipos de campos electromagnéticos de origen artificial: radiofrecuencias utilizadas en telefonía móvil, ondas de radio y televisión, sistemas antirrobo, detectores de metales, radares, mandos a distancia, comunicación inalámbrica y un largo etcétera.

Las características particulares de cada tipo de emisión electromagnética vienen determinadas por su 'frecuencia', o número de oscilaciones por unidad de tiempo; así como los efectos que pueden producir en los organismos expuestos.

La energía que porta una emisión electromagnética depende únicamente de su frecuencia; por eso cuando la frecuencia es extremadamente alta (el caso de los rayos X, por ejemplo) tiene suficiente energía como para romper los enlaces moleculares centro de la célula y originar un cáncer. Sin embargo, a 50 Hz (una frecuencia extremadamente baja) la energía es tan reducida que no puede romper los enlaces moleculares, ni tan siquiera calentar los organismos expuestos, como las radiofrecuencias.

Otra consecuencia importante es que a 50 Hz el campo eléctrico y el magnético están desacoplados, y no pueden desplazarse libremente por el espacio como las radiofrecuencias utilizadas en telefonía móvil, desapareciendo a poca distancia de la fuente que los generó:



El sistema eléctrico español, al igual que el europeo, funciona a 50 Hz, una frecuencia extremadamente baja. En Estados Unidos y otros países americanos funciona a 60 Hz, por eso al rango 50-60 Hz se le denomina 'frecuencia industrial'.

Al igual que todo equipo o aparato que funcione con energía eléctrica, las líneas eléctricas de alta tensión generan un campo eléctrico y un campo magnético de frecuencia industrial. Las características más importantes de cada uno son:

- Campo eléctrico:
  - Esta presente siempre que hay tensión
  - Es proporcional a la tensión de funcionamiento de la línea
  - Disminuye muy rápidamente al aumentar la distancia a los conductores
  - Es apantallado casi por cualquier materia (paredes, árboles...)
- Campo magnético
  - Está presente siempre que hay un flujo de corriente eléctrica
  - Es proporcional a la intensidad de corriente que transporta la línea
  - Disminuye muy rápidamente al aumentar la distancia a los conductores
  - Es muy difícil apantallarlo

El hecho de que el campo eléctrico de frecuencia industrial sea apantallado por las paredes y techos de las viviendas hace que haya sido descartado como posible fuente de enfermedades, ya que en el interior de un inmueble su valor será prácticamente nulo aunque esté situado debajo de una línea eléctrica de alta tensión.

### **3.- MÉTODOS DE MEDIDA DE LOS CAMPOS GENERADOS POR LAS LÍNEAS**

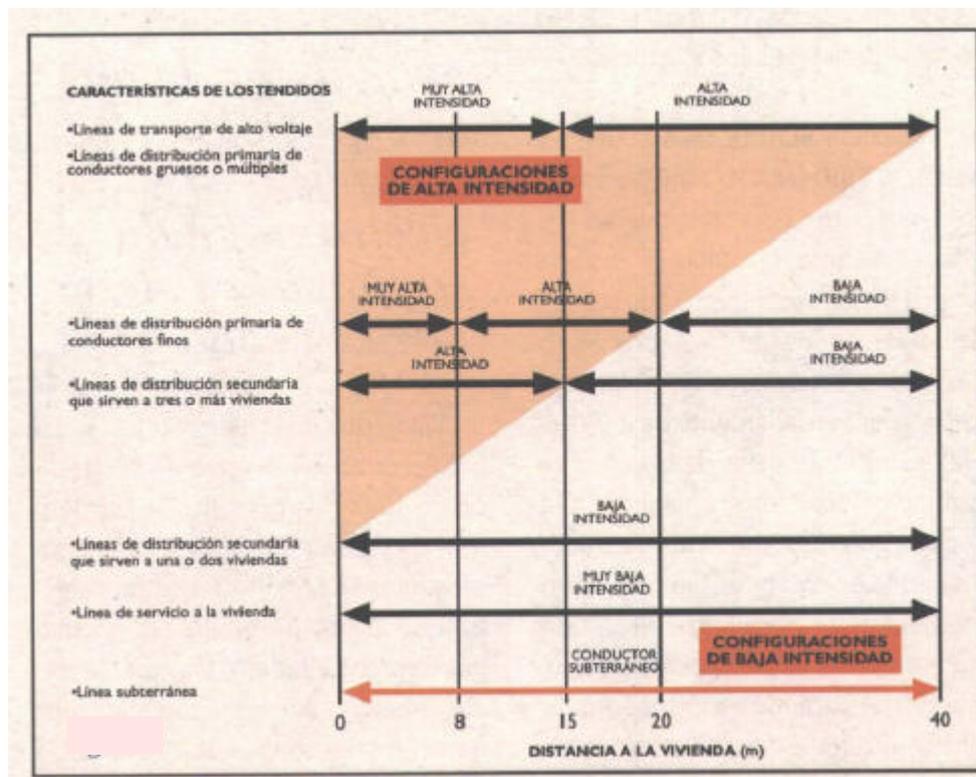
A lo largo de estas últimas dos décadas se han utilizado varios métodos para medir el nivel de campo magnético al que estaba expuesta la gente que reside cerca de líneas eléctricas de alta tensión. Los principales son:

• **Distancia a la línea**

Una medida rápida, pero indirecta, del nivel de campo magnético al que puede estar expuesta una persona por residir cerca de una línea eléctrica es la distancia que separa la vivienda de la línea. Sin embargo este método no da valores muy fiables, porque el campo que genera la línea depende fundamentalmente de la intensidad de corriente transportada en cada momento y es bastante habitual que líneas de menor tensión estén más cargadas (y por lo tanto emitan más campo) que las de alta tensión.

• **Código de cables**

Es un método desarrollado en Estados Unidos para evaluar el nivel de campo magnético al que está expuesta la gente que tiene en cuenta el tipo de línea eléctrica (transporte o distribución, aérea o subterránea,...) y su distancia a la vivienda, según el esquema siguiente.



[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

De esta manera se clasifica a las viviendas como de muy alta, alta, baja o muy baja intensidad de exposición a campos magnéticos. Es un método estimativo muy utilizado en los estudios epidemiológicos llevados a cabo en los Estados Unidos, pero que es difícilmente aplicable en Europa, porque aquí la distribución se hace habitualmente en subterráneo. Además, se ha comprobado de forma experimental que no se correlaciona bien con las medidas, posiblemente por las mismas razones que el método anterior.

- **Campos históricos calculados**

Utilizando los registros de las empresas eléctricas sobre la carga de las líneas y utilizando un programa de cálculo se puede averiguar el nivel de campo al que ha estado expuesta una vivienda a lo largo de los años.

- **Campos medidos**

Consiste en medir el nivel de campo magnético con un gaussímetro. Estas medidas pueden ser puntuales o llevadas a cabo durante 24-48 horas, en el centro de todas las habitaciones o en lugares especiales de la casa. Es el método más exacto para evaluar el nivel de exposición en ese momento, pero no para conocer cuál ha sido la exposición a lo largo de los años.

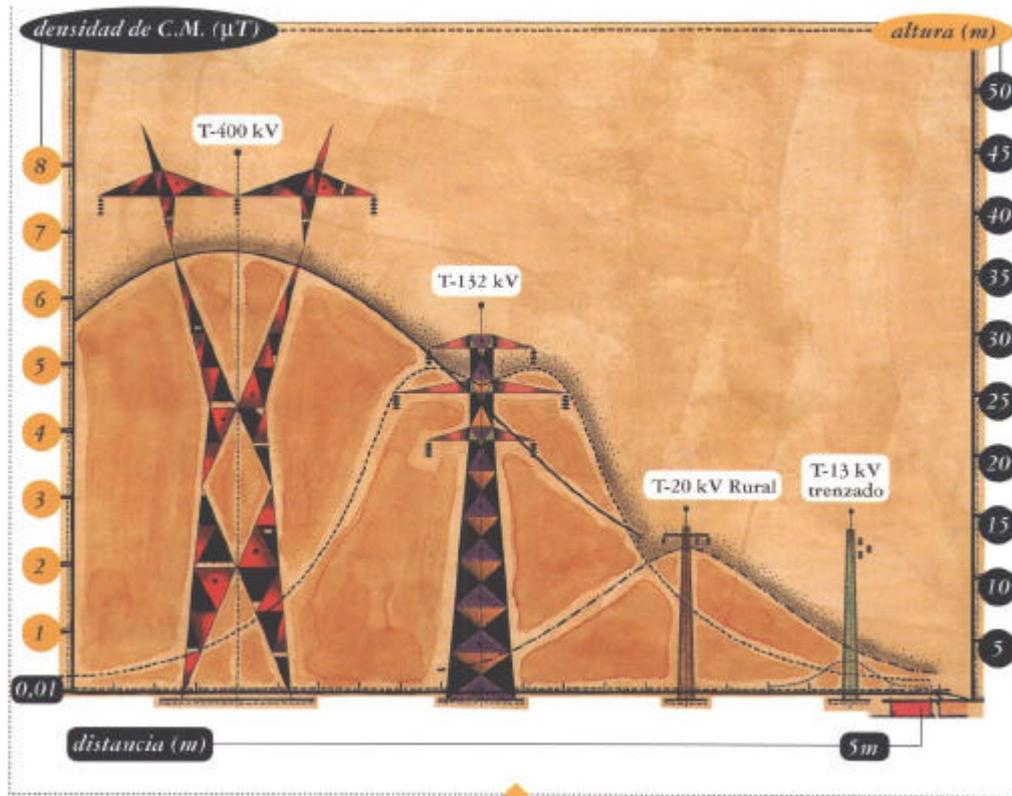
- **Dosimetrías personales**

Un método muy utilizado en los últimos estudios epidemiológicos es que las personas porten un medidor personal que registre su exposición a campos magnéticos a lo largo de todo el día.

Todos estos métodos tienen sus ventajas e inconvenientes, y todos han sido utilizados por los diversos estudios sobre la posible incidencia de estos campos en la salud.

#### 4.- VALORES TÍPICOS DE CAMPOS MAGNÉTICOS

Como ya se ha dicho, los valores típicos de campo electromagnético generados por las líneas eléctricas decrecen rápidamente al aumentar la distancia a la línea eléctrica:



En una campaña de medidas llevada a cabo por Red Eléctrica de España en numerosas líneas a **400 kV** se obtuvieron los siguientes resultados:

Punto de medida	Campo eléctrico (kV/m)	Campo magnético (mT)
Debajo de los conductores	1,20 - 5,20	0,40 - 14,0
A 30 metros de la línea	0,35 - 1,28	0,15 - 2,85
A 100 metros de la línea	0,02 - 0,14	0,01 - 0,29

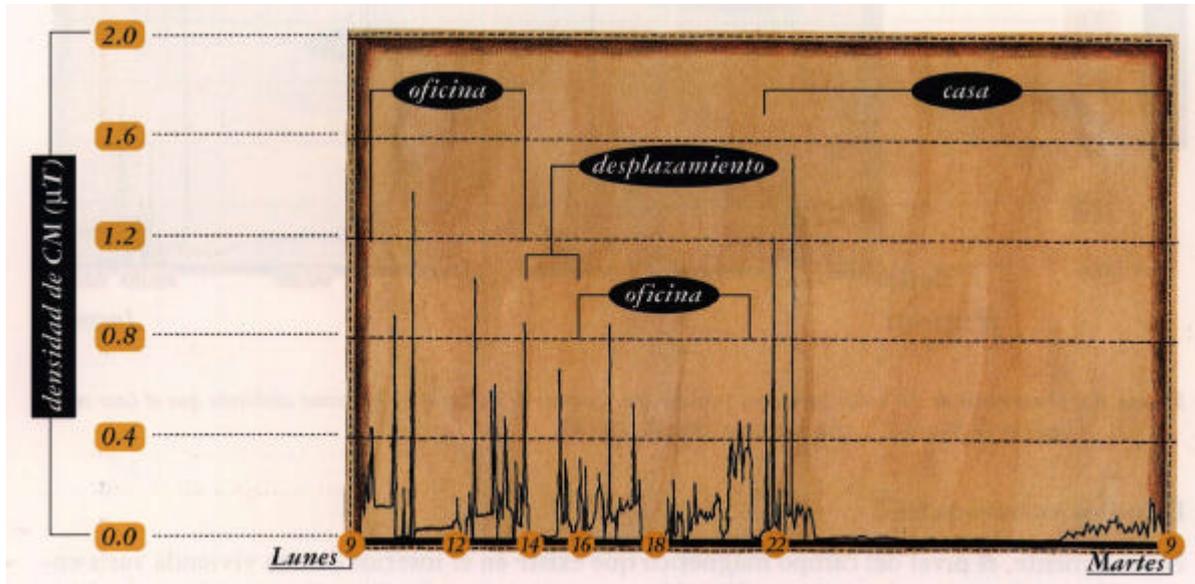
En líneas de menor tensión estos valores son sensiblemente inferiores. De todas maneras, hay que tomarlos como una estimación, pues en algunos casos pueden ser algo superiores.

Como se puede observar en la tabla siguiente, estos valores son del mismo orden que los campos que emiten muchos aparatos y electrodomésticos de uso cotidiano:

APARATO	CAMPO MAGNÉTICO ( $\mu\text{T}$ )		
	a 10 cm	a 30 cm	a 1 m
Frigorífico	0,06	0,05	0,02
Máquina de afeitar	0,24	0,01	0,01
Cocina eléctrica	0,29	0,11	0,03
Reloj despertador	0,59	0,23	0,03
Teléfono portátil	0,80	0,02	0,02
Tostadora	1,14	0,13	0,00
Secador de pelo	1,34	0,20	0,01
Televisor	1,40	0,50	0,09
Freidora	1,70	0,08	0,01
Acondicionador	1,80	0,38	0,12
Picadora	2,84	0,33	0,04
Suelo radiante	3,01	0,38	0,02
Aspiradora	5,16	1,52	0,31
Lámpara halógena	10,64	1,42	0,14
Lavadora	16,14	8,20	2,38
Zona de acometida	16,82	9,52	2,76
Microondas	30,04	6,04	0,61

Como resultado, cualquier persona está expuesta a múltiples fuentes de campo magnéticos de frecuencia industrial como lo muestra la siguiente dosimetría, en la que una persona ha portado un medidor durante 24 horas.

En esta gráfica podemos apreciar como la exposición a campos magnéticos de

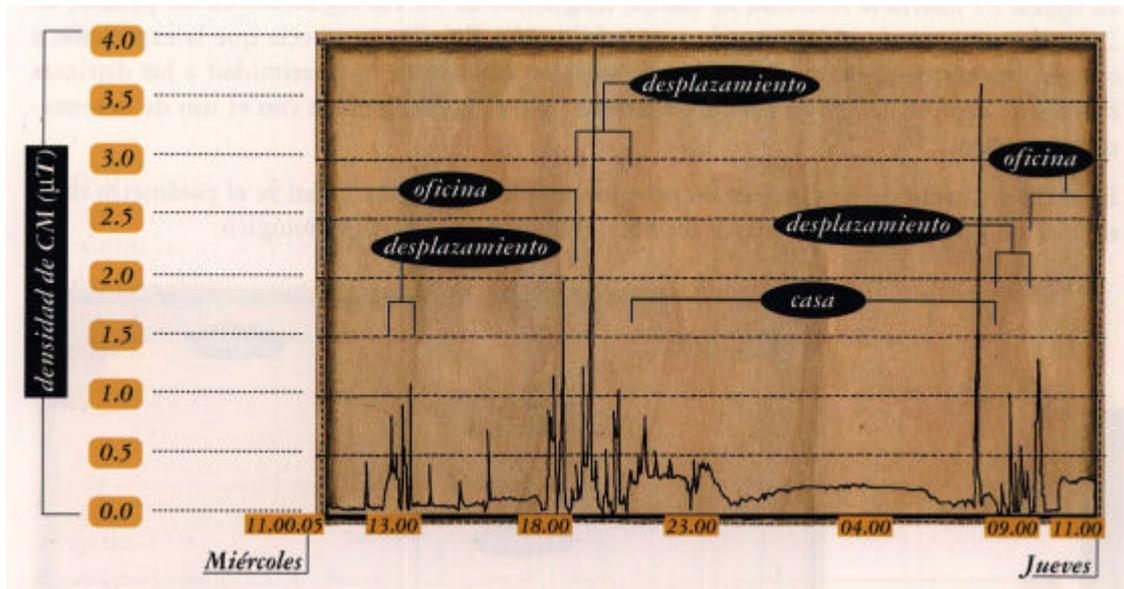


frecuencia industrial es permanente, aunque varía en función de la proximidad a las distintas fuentes; de vez en cuando aparecen "picos", que coinciden con el uso de determinados aparatos.

El análisis de esta gráfica no permite establecer "a priori" cual es el parámetro de la exposición que puede ser de mayor interés desde el punto de vista biológico. Podría ser el nivel medio de exposición diaria, o quizás sólo deban tenerse en cuenta las exposiciones por encima de cierto valor umbral o el número de veces que se entra en un campo magnético.

Podemos comparar esta dosimetría con otra llevada a cabo por otra persona que trabaja en la misma oficina, pero que reside muy cerca de una línea eléctrica a 220 kV.

Como se puede observar la única diferencia importante es la presencia de una línea base durante el tiempo que esta persona estuvo en casa.



En los últimos años se han realizado varios estudios del nivel de campo magnético en diversos ambientes residenciales, podemos resumir algunos de los resultados más sobresalientes en:

- En Estados Unidos la media geométrica de campo magnético en las viviendas, con medidas tomadas alejadas de cualquier línea eléctrica aérea y electrodoméstico, es de  $0,068 \mu\text{T}$ . En el Reino Unido estas mismas medidas dieron un valor de  $0,038 \mu\text{T}$ . La diferencia se explica porque en Europa el suministro doméstico se hace a 220 V frente a los 115 V de Estados Unidos, por lo que hace falta menos corriente (lo que genera menos campo magnético) para conseguir la misma potencia [Swanson y Kaune, 1999].
- El 50% de las viviendas en Francia tienen un nivel medio de campo magnético por debajo de  $0,010 \mu\text{T}$ , y únicamente el 5% está por encima de  $0,12 \mu\text{T}$  [Clinard y col., 1999].

- En las calles de una ciudad típica de Suecia se mide un valor medio de campo magnético de  $0,34 \mu\text{T}$ , debido principalmente a las líneas eléctricas canalizadas en el subsuelo; y el 50% de las mediciones estaban por encima de  $0,2 \mu\text{T}$  [Lindgren y col., 2001].

Pero quizás el resultado más interesante es el de otro estudio británico [Swanson, 1996], en el que se divide la contribución de varias fuentes al promedio de campo magnético registrado en viviendas de ese país:

- $0,045 \mu\text{T}$  provienen del nivel de fondo (cableado doméstico y sistema de distribución)
- $0,020 \mu\text{T}$  provienen de los electrodomésticos
- $0,0034 \mu\text{T}$  provienen de líneas eléctricas de transporte a alta tensión aéreas cercanas
- $0,0008 \mu\text{T}$  provienen de líneas de transporte subterráneas

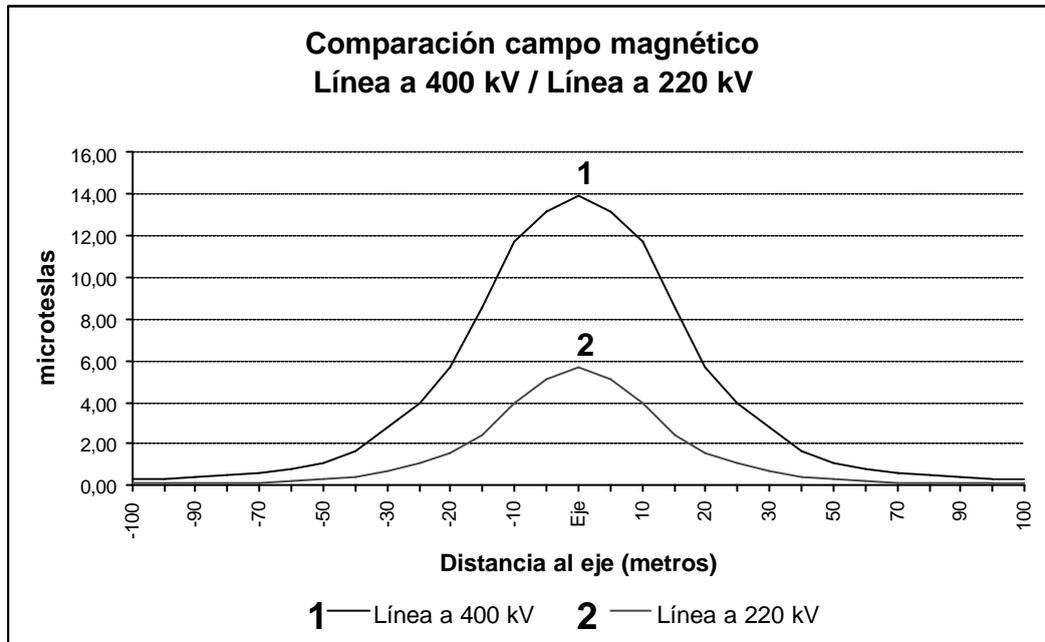
Otra conclusión de este último estudio es que desde 1949 hasta 1989 la exposición a campos magnéticos de frecuencia industrial se ha multiplicado por 4,5.

## **5.- COMPARACIÓN DE VALORES DE CAMPO GENERADO POR LÍNEAS**

A continuación exponemos varias gráficas en las que se compara el nivel de campo magnético generado por líneas eléctricas de alta tensión.

**Comparación líneas 400kV / 220 kV**

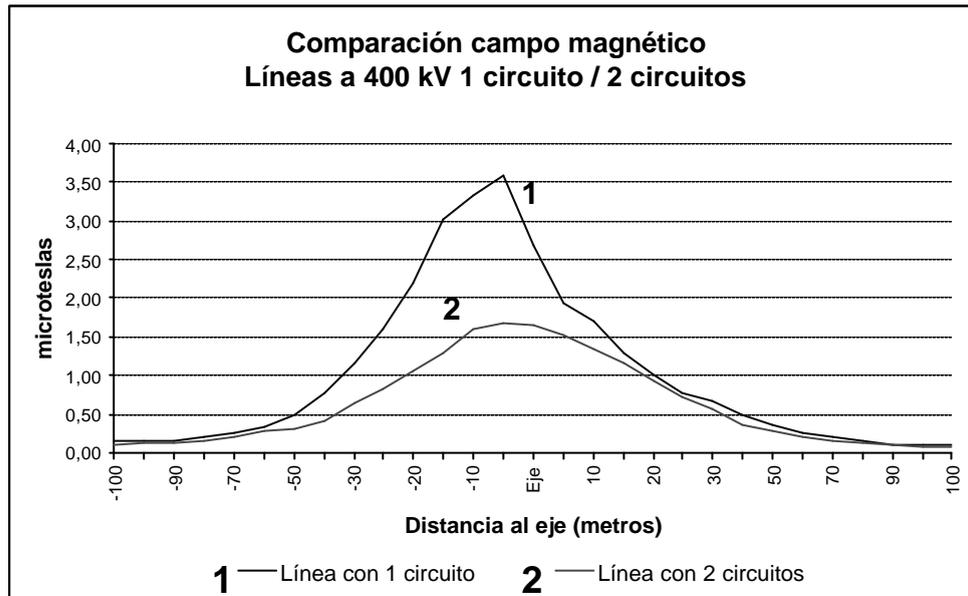
En esta gráfica se aprecian los niveles de campo magnético que generan una línea de 400 kV y otra de 220 kV, ambas de tipo capa (horizontal) y bastante cargadas. Como se puede ver, ambas curvas son muy similares y las diferencias cuantitativas dependen básicamente de la intensidad que transporta la línea.



- Línea a 400 kV:      Capa (horizontal)  
                           Altura del conductor más bajo = 11 m  
                           Intensidad transportada = 725 A
- Línea a 220 kV:     Capa (horizontal)  
                           Altura del conductor más bajo = 9 m  
                           Intensidad transportada = 235 A

### Comparación líneas con 1 circuito / 2 circuitos

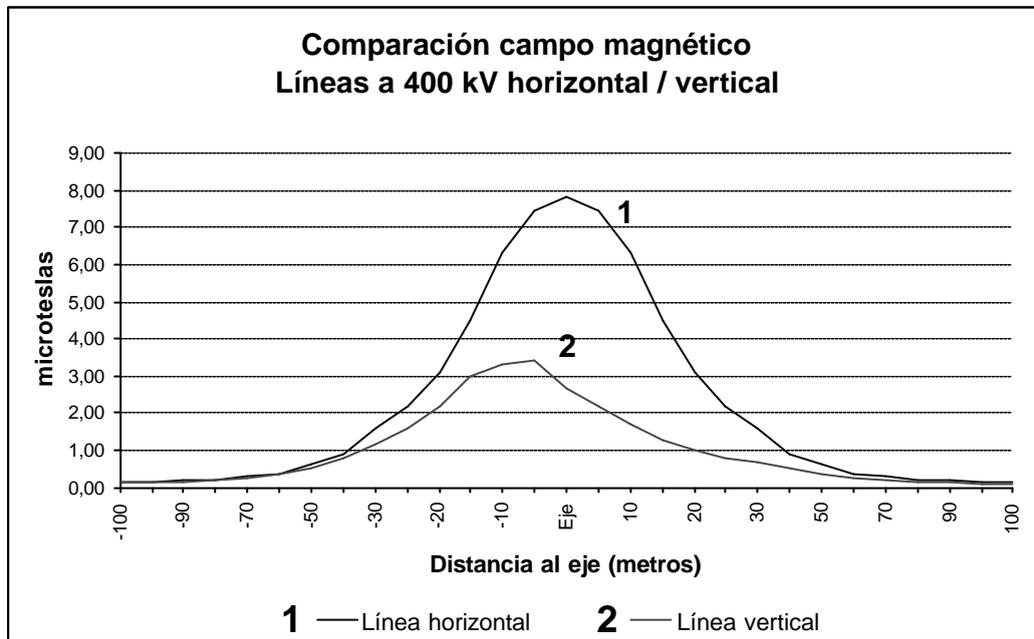
En esta gráfica se comparan los valores de campo magnético generado por una línea a 400 kV con 1 sólo circuito con los de otra línea con 2 circuitos, ambas en bandera (vertical) y transportando una intensidad similar. Como se puede apreciar las curvas son muy distintas, ya que los valores son ligeramente inferiores en el caso de 2 circuitos, esto ilustra que el nivel de campo magnético depende fundamentalmente de la intensidad transportada, no del número de cables.



- Línea de 1 circuito: Bandera (vertical)  
 Altura del conductor más bajo = 14 m  
 Intensidad transportada = 475 A
- Línea de 2 circuitos: Doble Bandera (vertical)  
 Altura del conductor más bajo = 17 m  
 Intensidad transportada = 170+230 A

### Comparación línea horizontal / vertical

Dos líneas similares que transportan una intensidad de corriente equivalente pueden presentar notables diferencias en sus valores de campo magnético en función de parámetros como la geometría (horizontal frente a vertical) y la altura de los cables al suelo.

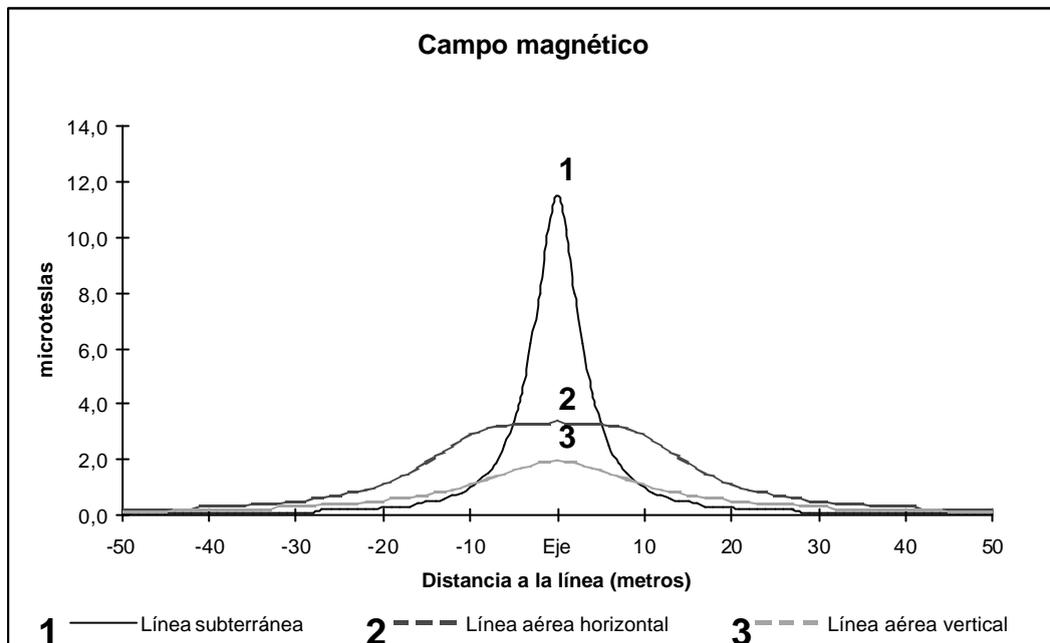


Línea horizontal:      Altura del conductor más bajo = 12 m  
                                 Intensidad transportada = 480 A

Línea vertical:         Altura del conductor más bajo = 14 m  
                                 Intensidad transportada = 470 A

### Comparación línea aérea /subterránea

Por último, enterrar las líneas eléctricas de alta tensión no elimina el campo magnético, como se puede apreciar en la siguiente gráfica, únicamente se produce una redistribución:



Líneas aéreas:            Altura del conductor más bajo = 8,5 m  
                                   Intensidad transportada = 120 A

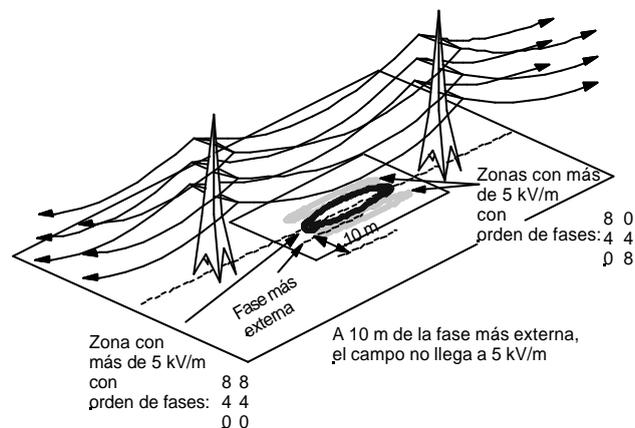
Línea subterránea:      Profundidad = 2,5 m  
                                   Intensidad transportada = 470 A

## 6.- NORMATIVA DE EXPOSICIÓN

La única normativa aplicable en España es la Recomendación del Consejo Europeo relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz), 1999/519/CE<sup>1</sup>. Su objetivo es prevenir los efectos agudos (a corto plazo) producidos por la inducción de corrientes en el interior de los organismos expuestos, puesto que indica explícitamente que no hay evidencias que relacionen este tipo de campos con enfermedad alguna.

En este documento el Consejo Europeo, con el respaldo del Comité Científico Director de la Unión Europea y basándose en la guía de la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), recomienda que el público no esté expuesto a campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz por encima de **5 kV/m** y **100 mT** respectivamente en sitios donde permanezca mucho tiempo.

Como se ha podido apreciar en los apartados anteriores, el campo magnético que genera una línea eléctrica de alta tensión siempre está por debajo de 100  $\mu$ T. Sin embargo en algunas ocasiones, con ciertos tipos de apoyo y cuando los cables conductores están muy cerca del suelo, el campo eléctrico que genera una línea a 400 kV puede superar los 5 kV/m en una pequeña superficie justo debajo de los conductores:



<sup>1</sup> En el presente, se aplica el Real Decreto 1066/2001, del 28 de septiembre de 2001 (Nota del Editor).

Esto no debe constituir ningún problema, pues afecta a un número muy pequeño de vanos en los que no es fácil que el público pueda pasar mucho tiempo, ya que la mayoría de las líneas a 400 kV discurren alejadas de los núcleos habitados, pero ya se están identificando y en un futuro próximo se procederá a corregir esta situación.

## **7.- EFECTOS SOBRE LA SALUD**

Desde 1979 se investiga si la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia industrial puede estar relacionada con alguna enfermedad, en particular cáncer. Sin embargo, las conclusiones alcanzadas por los principales organismos de investigación de todo el mundo indican que no hay evidencias de que estos campos supongan un riesgo para la salud pública.

Así lo han expresado organismos oficiales como la Academia Nacional de las Ciencias de Estados Unidos, el Instituto Francés de Salud e Investigación Médica, el Consejo Nacional de Protección Radiológica del Reino Unido, el Centro de Investigaciones, Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas de España o el Comité Científico Director de la Unión Europea, entre muchos otros.

En España, el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) elaboró en el año 1998 el informe *"Posibles efectos sobre la salud y el medio ambiente de los campos electromagnéticos producidos por las líneas eléctricas de alta tensión"* por encargo del Congreso de los Diputados, y su conclusión es que las líneas eléctricas españolas no suponen un riesgo para la salud.

Otra importante aportación española a la investigación sobre los posibles efectos de los campos electromagnéticos lo constituye un extenso proyecto de investigación llevado a cabo por la Universidad de Valladolid, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Unesa y Red Eléctrica de España durante los años 1995-2000, y cuya conclusión final es que "la relación entre campos electromagnéticos de frecuencia industrial como

cáncer o malformaciones congénitas es altamente improbable a los niveles que se encuentran en las cercanías de las instalaciones eléctricas de alta tensión".

Los resultados y conclusiones de este proyecto han quedado recogidos en la publicación "*Cinco años de investigación sobre los efectos biológicos de los campos electromagnéticos de frecuencia industrial en los seres vivos*", presentada en julio de 2001 en el Consejo General de Colegios de Médicos de España. Esta publicación está disponible en la sección de Medio Ambiente de la página web de Red Eléctrica de España [<http://www.ree.es>].

Por último, hay que destacar que un Comité de Expertos reunidos y coordinados por el Ministerio de Sanidad y Consumo de España ha elaborado un informe recientemente, mayo de 2001, en el que concluyen que la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia industrial por debajo de los niveles recomendados por el Consejo Europeo no ocasiona efectos adversos para la salud.

### **Bibliografía**

- Recomendación del Consejo Europeo relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz). Consejo de la Unión Europea. Diario Oficial de las Comunidades Europeas (1999/519/CE), 1999.
- Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). ICNIRP. Health Physics 74:494-522, 1998.
- EMF in your environment. Magnetic fields measurements of everyday electrical devices. Environmental Protection Agency. US Government Printing Office, ISBN 0-16036282. 1992.
- Long-term variations in the exposure of the population of England and Wales to power-frequency magnetic fields. J. Swanson. Journal of Radiological Protection, Vol 16, No 4, 287-301. 1996.
- Plan de medidas de campos eléctricos y magnéticos. Red Eléctrica de España. 1997.
- Posibles efectos sobre la salud y el medio ambiente de los campos electromagnéticos producidos por las líneas eléctricas de alta tensión. CIEMAT. 1998.
- 'Física y Sociedad', revista del Colegio de Físicos de España, número monográfico dedicado a campos electromagnéticos. 1999.
- Comparison of residential power-frequency magnetic fields away from appliances in different countries. J. Swanson y W.T. Kaune. Bioelectromagnetics 20:244-254. 1999.

- Residential magnetic fields measurements in France: Comparison of indoor and outdoor measurements. F. Clinard y col. *Bioelectromagnetics* 20:319-326. 1999.
- Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz. Análisis del estado actual de conocimientos (1998). Unesa y Red Eléctrica de España. 1998.
- Líneas eléctricas y cáncer. Página web [<http://mcw.edu/gcrc/cop>]. J. Moulder. 2001.
- ELF magnetic fields in a city environment. M Lindgren. *Bioelectromagnetics* 22:87-90. 2001.
- Campos Electromagnéticos y Salud, resumen. Ministerio de Sanidad y Consumo. 2001.
- Cinco años de investigación sobre los efectos biológicos de los campos electromagnéticos de frecuencia industrial en los seres vivos. Universidad de Valladolid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Unesa y Red Eléctrica de España. 2001.



## **Legislación Nacional e Internacional sobre Campos Electromagnéticos de Frecuencia Extremadamente Baja (50-60 Hz).**

**Juan Bernar Solano**

Jefe de División de Investigación de AMYS. UNESA. Asociación Española de la Industria Eléctrica. Francisco Gervás, 3. 28020 Madrid.

### **Resumen y Conclusiones**

En este artículo se presentan las diferentes iniciativas legislativas, tanto a nivel nacional como internacional, acometidas en el ámbito de la protección de la salud frente a los efectos de los campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz. A nivel internacional, un informe de la Comisión Internacional para la Protección frente a las Radiaciones No Ionizantes, avalado por el Comité Director Científico de la Unión Europea, ha servido de base para la elaboración de una Recomendación de la Unión Europea que algunos países han adoptado ya y otros, incluyendo España, podrían adoptar en breve. A nivel nacional, el Ministerio de Sanidad y Consumo de España a través de un informe de un Comité de expertos independientes ha corroborado los límites establecidos en la Recomendación. La existencia de distintos valores límite en algunos países se justifica por el uso de distintos modelos matemáticos utilizados en los cálculos. Por último en algún país se han introducido en su legislación distancias de seguridad entre líneas eléctricas y edificaciones y en otros se proponen "niveles de calidad" hacia los que habrá que tender en un futuro próximo.

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

## **INTRODUCCIÓN.**

Esta sección va a revisar la legislación sobre límites de exposición de las personas a los campos llamados de frecuencia industrial, es decir los de 50 - 60 Hz, también llamados de frecuencia extremadamente baja. Estos son los campos que se relacionan con el uso y distribución de la electricidad, es decir, todo el sistema eléctrico (líneas eléctricas, transformadores, subestaciones) y cualquier aparato que se conecte a la red eléctrica.

Desde que comenzó la controversia sobre los posibles efectos biológicos de los campos electromagnéticos ha existido una gran presión hacia los legisladores para que establezcan cuáles son los niveles máximos permitidos que permitan asegurar la ausencia de efectos nocivos. La gente, genuinamente preocupada por la aparición en la prensa de noticias en general alarmistas, quiere saber si ellos o sus familias están expuestos a unos niveles que pueden considerarse peligrosos para la salud, o si los niveles a los que están expuestos son más elevados de lo que se puede considerar normal o habitual. Esta preocupación ha sido motivada por la aparición de algunos estudios epidemiológicos que asocian el vivir cerca de instalaciones eléctricas con la aparición de determinadas patologías, en concreto, cáncer en niños.

Esta demanda social ha chocado con la postura de todos los organismos científicos nacionales e internacionales consultados por los gobiernos. Efectivamente, ningún organismo científico ha dictaminado que el hecho de vivir cerca de líneas eléctricas, o la exposición a campos electromagnéticos a los niveles comúnmente encontrados en ambientes laborales o domésticos, represente un peligro para la salud.

Cabe destacar en este sentido las conclusiones de dos organismos científicos, uno español (CIEMAT) que emitió un informe en 1998 a petición del Parlamento español, y el del Comité Director Científico de la Comisión Europea un organismo neutral e independiente al que la Comisión Europea pidió una opinión sobre el particular en ése mismo año:

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

- **Informe del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). España, 1998.**

"Este informe presenta la revisión de la información científica y técnica más significativa, actualmente disponible a nivel internacional sobre efectos de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (50-60 Hz). Dicha información no proporciona evidencias de que la exposición a campos electromagnéticos generados por las líneas eléctricas de alta tensión suponga un riesgo para la salud de las personas o el medioambiente.

Los estudios epidemiológicos y experimentales no demuestran que estos campos produzcan cáncer, efectos sobre la reproducción y el desarrollo o alteraciones mentales o del comportamiento. Desde el punto de vista físico y biológico, no se han podido identificar mecanismos que expliquen cómo estos campos podrían producir efectos adversos en el organismo."

- **Comité Director Científico de la Comisión Europea (25-26 Junio 1998)**

"En lo que se refiere a la exposición a CEM, la literatura disponible no proporciona suficiente evidencia para concluir que ocurren efectos a largo plazo como consecuencia de la exposición a CEM."

Por lo tanto, a pesar de que lo que realmente preocupa a la gente son los efectos a largo plazo (efectos sobre la fertilidad, desarrollo y, sobre todo, cáncer), y ello origina una gran presión social sobre los legisladores, la ausencia de pruebas convincentes y concluyentes de que los campos electromagnéticos tengan los efectos que se les atribuyen, ha propiciado a mi entender, una situación de compromiso que se ha resuelto legislando en base a lo único sobre lo que se puede legislar: los efectos agudos o a corto plazo que son los únicos comprobados y para los que existe un mecanismo a nivel biofísico comprobado, como es la inducción de corrientes. Para abarcar esos otros posibles efectos a largo plazo se han introducido en la legislación una serie de factores de seguridad que rebajan en varios órdenes de magnitud los niveles aceptables para los efectos a corto plazo.

## RECUERDO HISTÓRICO.

Históricamente, ¿qué es lo que se ha hecho en materia de legislación? Existen normas en diferentes países establecidas hace muchos años, pero sólo en base a seguridad eléctrica, no en base a efectos para la salud. Por ejemplo, en **España** existe desde los años 60, cuando todavía no se había empezado a hablar de los campos electromagnéticos, un Decreto (Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas de Alta Tensión [**Decreto 3151/68, 28 Noviembre 1968**]) que dice que las líneas eléctricas no pueden construirse a menos de una distancia determinada de las viviendas.

La distancia de un conductor a un área habitada o a la que pueda tener acceso una persona está establecida en él, donde se especifica que la distancia mínima viene dada por la fórmula:

$$D = 3,3 + U / 150$$

Donde U es la tensión nominal de la línea en kV, y D la distancia. En cualquier caso se establece una distancia mínima de 5 metros. Aplicando esta fórmula a una línea de 220 kV, la distancia mínima de seguridad es de unos 5,5 metros, mientras que para una línea de 400 kV sería de unos 7,3 metros

Curiosamente, esa legislación se aplicaba únicamente al sector eléctrico y no al inmobiliario: no se puede construir una línea por encima de una casa, pero sí se puede construir una casa debajo de una línea; recientemente esto ha cambiado y de acuerdo con el **Real Decreto 1955/2000**, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica, en su artículo 162 párrafo 3 dice: "...para las líneas eléctricas aéreas queda limitada la plantación de árboles y prohibida la construcción de edificios e instalaciones industriales en la franja definida por la proyección sobre el terreno de los conductores extremos en las condiciones más desfavorables, incrementada con las distancias reglamentarias a ambos lados de dicha proyección."

En Estados Unidos se optó bien por no superar los valores que ya existían cuando comenzó la controversia sobre campos electromagnéticos, bien por limitar la corriente que fluye por el organismo al tocar un objeto expuesto, es decir, las descargas que producen objetos no bien puestos a tierra. Como ejemplo del primero en el estado de Florida se decidió que las nuevas líneas eléctricas no superaran la intensidad de campo eléctrico y magnético que generan las líneas ya existentes.

A continuación revisamos las distintas normativas, la base científica de las mismas, los criterios empleados para su elaboración y los límites establecidos.

### **TIPOS DE NORMATIVA Y SU APLICACIÓN.**

La palabra normativa se usa en general para referirse a cualquier tipo de texto oficial en el que se incluya alguna forma de limitación de los niveles de campos electromagnéticos, cualquiera que sea su motivación, ámbito de aplicación, "estatus" legal o base para establecer esos límites. Se pueden establecer cuatro grandes categorías de normativa (aunque a veces es difícil distinguirlas):

- Legislación. De obligado cumplimiento.
- Normas. Elaboradas por organismos oficiales de normalización. No son de obligado cumplimiento, a no ser que la legislación de cada país las mencione explícitamente; pero en el caso de normas internacionales, cada país debe trasponerla a su normativa nacional.
- Guías. No son de obligado cumplimiento, ni los países deben trasponerlas a su normativa; puede ser elaboradas por organismos normalizadores o científicos.
- Recomendaciones. Tampoco son de obligado cumplimiento; suelen ser elaboradas por organismos científicos.

Y cada normativa se puede aplicar a:

- Los campos eléctricos y magnéticos de un rango de frecuencias determinado o a todo el espectro electromagnético no ionizante.
- Al público en general (exposición residencial) o sólo a trabajadores (exposición laboral).
- Únicamente a los campos generados por determinadas instalaciones o a la exposición global.
- Exposición constante o durante periodos determinados de tiempo.

#### **CRITERIOS PARA ESTABLECER VALORES LIMITE.**

Un campo electromagnético puede tener un efecto biológico sobre un ser vivo mediante dos tipos de **mecanismos**:

1. Un **efecto directo**, por el cual los campos eléctrico y magnético de 50 Hz inducen corrientes en el organismo.

A frecuencias superiores a 100.000 HZ (100 kHz) otro mecanismo directo es la absorción de energía que puede dar lugar a un aumento en la temperatura corporal. Sin embargo a las frecuencias que aquí se discuten este no es mecanismo a considerar.

2. Un **efecto indirecto**, a través de las corrientes de contacto que se dan como consecuencia de tocar un objeto cargado eléctricamente, y la interferencia con el funcionamiento de aparatos médicos implantados en las personas, como por ejemplo marcapasos. Este último aspecto no se recoge en casi ninguna normativa y lo normal es referir a las personas al fabricante del implante médico que es quien debe saber cuáles son los límites de interferencias para sus aparatos.

Estos efectos indirectos se consideran brevemente al final del documento.

## 1. **EFFECTOS DIRECTOS.**

### 1.1. **La inducción de corrientes.**

La única forma conocida por la que los campos electromagnéticos pueden producir un efecto nocivo es mediante la inducción de corrientes.

Como el cuerpo humano contiene cargas eléctricas libres (sobre todo, en fluidos ricos en iones, como la sangre) la exposición a un campo eléctrico o magnético hace que éstas se muevan. De esta forma, se crean o inducen corrientes eléctricas en el interior del organismo.

Como se ha comentado en otro sitio de este documento, existe un campo magnético terrestre natural, estático, de aproximadamente  $40 \mu\text{T}$  de intensidad. Este campo, incluso siendo estático, induce corrientes en una persona cuando ésta se mueve. Por ejemplo, girar la cabeza hacia un lado lentamente induce corrientes equivalentes a las que se inducirían si se estuviera expuesto a un campo magnético de  $0,2 \mu\text{T}$ . Si se mueve la cabeza hacia abajo rápidamente, en un gesto de asentimiento, se generan corrientes equivalentes a una exposición de  $2 \mu\text{T}$ .

La magnitud de las corrientes inducidas por un campo magnético variable de 50 Hz depende de muchos factores, tales como la intensidad de la corriente aplicada externamente, la distancia del cuerpo al origen de la corriente, la presencia de objetos que puedan apantallar o concentrar el campo, la forma y postura que tenga el cuerpo, etc. Así, la corriente que se induce en una persona bajo una línea no es la misma si está de pie o si está sentada.

Se puede calcular la magnitud de estas corrientes inducidas. Y se sabe que, incluso debajo justo de una línea de alta tensión, los niveles son tan bajos, que las corrientes no pueden penetrar en las células y se quedan fuera de las mismas.

Por otra parte, en el funcionamiento normal de los seres vivos, se generan corrientes (por ejemplo, por el latido del corazón o por la transmisión de señales nerviosas)

que son muy superiores a las que se pueden inducir como consecuencia de la exposición a cualquier electrodoméstico o línea eléctrica. Esta es una de las razones por la que algunos científicos mantienen que los campos electromagnéticos no pueden tener efectos biológicos.

La densidad de corriente natural en el cuerpo humano es aproximadamente de 1 a 10 mA/m<sup>2</sup> (miliamperios por metro cuadrado). Cerca del corazón se pueden alcanzar 1000 mA/m<sup>2</sup>, y un potencial de acción (descarga en un nervio) puede llegar a inducir 10.000 mA/m<sup>2</sup> a través de la membrana de la célula nerviosa.

Para alcanzar los 10 mA/m<sup>2</sup> habría que exponer a un individuo a un campo superior a 500 µT, una intensidad 50 veces superior a la que puede encontrarse bajo una línea de 220 kV (220.000 Voltios).

Existe también un campo eléctrico endógeno en el interior del cuerpo humano, producido por su normal funcionamiento (se genera por el movimiento normal de electrones en su interior, un fenómeno llamado ruido térmico) y que es de unos 20 mV/m. A modo de ilustración, cabe señalar que, cuando se está expuesto a un campo magnético variable de 0,2 - 20 µT, se generan en el cuerpo campos eléctricos de entre 0,004 y 0,4 mV/m (milésima de voltio por metro) muy por debajo de su valor endógeno.

## **1.2. Otros mecanismos investigados.**

Como se ha dicho más arriba, en estos momentos, el único mecanismo conocido por el cual los campos electromagnéticos de frecuencia industrial podrían producir un efecto nocivo es la inducción de corrientes en el interior del cuerpo.

Puesto que las corrientes inducidas por estos campos son muy pequeñas se han buscado otros mecanismos por los cuales los campos electromagnéticos podrían ejercer un efecto biológico.

Los resultados de diferentes experimentos en busca de nuevos mecanismos de acción nos permiten decir que los campos electromagnéticos:

- No alteran la estructura del material genético ni interfieren con su reparación.
- No modifican el ritmo de fabricación de proteínas y otros compuestos químicos (en especial los relacionados con el cáncer).
- No tienen efectos sobre el movimiento de iones como el calcio (de gran importancia en la respuesta celular),
- No modifican la respuesta celular normal a ciertas hormonas,
- No alteran el ritmo de crecimiento y división celular y,
- No parece que alteren la comunicación entre las células (que puede modular el control del crecimiento de las células).
- Actualmente se sigue investigando en otras áreas, por ejemplo sobre un posible efecto en la respuesta inmune de un organismo expuesto a campos electromagnéticos aunque hasta el momento no se ha encontrado ningún efecto biológicamente significativo por debajo de los 200 microteslas; también se investiga la posibilidad de que estos campos pudieran afectar la velocidad a la que se producen ciertas reacciones químicas, aunque la evidencia preliminar indica que esta sólo se alteraría en presencia de campos extraordinariamente intensos, imposibles de encontrar en un medio doméstico o laboral normal.

Por tanto el único mecanismo establecido es el de inducción de corrientes y en base a ello se han establecido las diferentes normas.

## **NORMATIVA INTERNACIONAL.**

A continuación revisamos los razonamientos invocados por la **Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP**, un organismo dependiente de la Organización Mundial de la Salud) y aceptados por el Comité Director Científico de la Unión Europea previamente a la redacción de la **Recomendación del Consejo de la Unión Europea**.

La guía del ICNIRP y la Recomendación del Consejo son las dos únicas normas de carácter internacional que existen y a continuación nos referimos a ellas en más detalle.

ICNIRP refiere que, por la experimentación con animales y también con voluntarios, sabemos que una corriente adicional de 1 a 10 mA/m<sup>2</sup> puede tener efectos realmente mínimos, sin ningún tipo de repercusión. Según ICNIRP los estudios de laboratorio sobre células y animales no han encontrado efectos biológicos claros con niveles de corriente inducida de hasta 10 mA/m<sup>2</sup> (Cuadro Resumen).

A 100 mA/m<sup>2</sup> podemos encontrar algunos efectos biológicos, como por ejemplo efectos sobre el sistema visual; es lo que se denominan 'fosfenos' —esos puntos de luz que vemos cuando cerramos los ojos y los frotamos vigorosamente. Eso sería un ejemplo de efecto biológico reversible, cesa al terminar la exposición, y no necesariamente nocivo.

Por encima de 100 mA/m<sup>2</sup>, aunque más bien cercano a 1.000 mA/m<sup>2</sup>, se pueden producir contracciones y excitación de algunos tejidos, como el nervioso y el muscular.

Y por encima de 1.000 mA/m<sup>2</sup>, aunque realmente es por encima de 3.000 mA/m<sup>2</sup>, se pueden inducir contracciones desordenadas del corazón —extrasístoles o fibrilación ventricular— que pueden conducir a la muerte (Cuadro Resumen).

**Cuadro Resumen:**

Densidad de corriente inducida	Efectos biológicos
< 1 mA/m <sup>2</sup>	No hay efectos biológicos.
1-10 mA/m <sup>2</sup>	Efectos biológicos mínimos, no significativos.
10-100 mA/m <sup>2</sup>	Posibles efectos sobre el sistema visual (fosfenos) y el sistema nervioso (pequeñas contracciones musculares), sin riesgos para la salud.
100-1.000 mA/m <sup>2</sup>	Estimulación de tejidos excitables, por ejemplo nervios o músculos (contracciones musculares y arritmias), con posibles riesgos para la salud.
> 1.000 mA/m <sup>2</sup>	Posibles extrasístoles y fibrilación ventricular, con riesgos comprobados para la salud.

De acuerdo con esta clasificación, se ha tomado esa cifra **de 10 mA/m<sup>2</sup> como la densidad de corriente inducida** por debajo de la cual no se producen efectos biológicos o estos no tienen ninguna significación, por lo que **constituye un buen nivel de protección**.

Si bien este valor se considera una adecuada protección **para trabajadores** expuestos profesionalmente a estos campos, tanto el ICNIRP como la Recomendación del Consejo de la Unión Europea opinan que hay que incluir un **factor de seguridad adicional** para la protección del público en general; en este caso se introducen factores de seguridad adicionales para tomar en cuenta la exposición de niños u otras personas que puedan ser especialmente sensibles. Para el **público en general** (ICNIRP y la Unión Europea) recomiendan, **2 mA/m<sup>2</sup>**. **Estos valores se denominan Restricción Básica**, es decir, el nivel de corriente inducida por un campo electromagnético que no debe superarse en ningún caso. Si se cumple esta Restricción Básica, se considera que el nivel de protección frente a efectos nocivos para la salud, está asegurado.

Como no se puede medir la densidad que se induce dentro del cuerpo humano, es preciso aplicar unos modelos matemáticos para calcular qué exposiciones de campo eléctrico o de campo magnético son capaces de inducir esa corriente. La manera de realizar esos cálculos es compleja y no está claramente definida, ya que la corriente inducida va a depender de las propiedades eléctricas del cuerpo (conductividad y permisividad), de las condiciones de exposición (tamaño, forma y posición del cuerpo) y del campo externo (intensidad y frecuencia). Los modelos que se aplican para estos cálculos son los siguientes:

$$J_E = k f E \quad \text{y} \quad J_B = \pi f r \delta B$$

Donde:  $J_E$ , es la densidad de corriente inducida por un campo eléctrico  $E$

$J_B$ , es la densidad de corriente inducida por un campo magnético  $B$

$k$ , es el factor de forma tamaño y orientación del cuerpo

$f$ , es la frecuencia del campo eléctrico y magnético

$r$ , es el radio efectivo del cuerpo

$\delta$ , es la conductividad efectiva de los tejidos

$E$ , es la intensidad del campo eléctrico externo

$B$ , es la intensidad del campo magnético externo

Para este cálculo también se han de tener en cuenta factores como en qué tipos de tejido se realiza el cálculo, sobre qué superficie se promedia el campo incidente, etc.

Usando estos modelos, y extrapolando de los estudios sobre efectos biológicos, ICNIRP establece (y la Recomendación del Consejo de la Unión Europea así lo acepta) lo que llama **Nivel de Referencia**, para asegurar la máxima protección. **El nivel de Referencia lo establece para la frecuencia de 50 Hz en 10 kV/m y 500 microteslas para los trabajadores y en 5 kV/m y 100 microteslas para el público en general.** A 60 Hz los niveles son ligeramente diferentes: para el público en general, 83, 3 microteslas y 4,2 kV/m.

El cumplir con este Nivel asegura la máxima protección, como se ha dicho anteriormente. Tanto es así, que en la Recomendación del Consejo de la Unión Europea en

una "nota" a pie de página en el apartado B. Restricciones Básicas y Niveles de Referencia, se dice que "puesto que existen cerca de 50 factores de seguridad entre los valores límite en relación con los efectos agudos y las restricciones básicas, esta Recomendación abarca implícitamente los posibles efectos a largo plazo en toda la gama de frecuencias".

El cumplir con el Nivel de Referencia asegura que se cumple la Restricción Básica. Si se excede el nivel de referencia, lo que hay que hacer es un cálculo matemático para asegurarse que la densidad de corriente inducida, estipulada como Restricción Básica no se supera. Por ejemplo, un secador de pelo, produce un campo magnético que dependiendo del modelo, puede superar los 100 microteslas; el cálculo de corriente inducida en la parte externa del cerebro muestra que bajo esas condiciones se alcanza un valor de 0,13 mA/m<sup>2</sup>, muy por debajo de la Restricción Básica, asegurando así el cumplimiento de la Recomendación.

#### **NORMATIVAS NACIONALES.**

Las distintas normativas nacionales se ilustran en el Anexo a este artículo.

Como se ve en la tabla existe una enorme disparidad entre las legislaciones y normativas de los distintos países, aunque la mayor parte se basen en el mismo razonamiento: limitar la densidad de corriente inducida en el interior del cuerpo. Algunas no se basan en la densidad de corriente como en algunos estados americanos donde lo que se establece es que no se sobrepasen los niveles ya existentes en otras líneas eléctricas.

Para los países que se basan en limitar la corriente inducida en el cuerpo los valores tan dispares se deben a diferentes modelos de cálculo que varían en la forma (elipsoide o circular) del modelo, la superficie que se representa (todo el cuerpo, cabeza o corazón), las dimensiones del modelo, y en algunos casos el valor de la Restricción Básica designado.

Por ejemplo, el Consejo Nacional de Protección Radiológica (NRPB) del Reino Unido llegó a la conclusión de que una densidad de corriente de 10 mA/m<sup>2</sup> es una adecuada

protección y que no hace introducir ningún factor de seguridad adicional ni para los trabajadores ni para el público en general. Por ello, sus límites de exposición de 12 kV/m y 1.600  $\mu$ T son sustancialmente superiores a los de otros países y organismos internacionales.

En Holanda la restricción Básica se ha situado en 5 mA/m<sup>2</sup> para el público en general y en 25 mA/m<sup>2</sup> para los trabajadores por lo que sus límites también son diferentes de los de ICNIRP y la Unión Europea.

En Italia se ha adoptado una actitud diferente. Aunque se aceptan los niveles de ICNIRP, se han establecido distancias a las que deben situarse los edificios; por ejemplo en el caso de líneas de alta tensión, no se puede construir a menos de 28 metros de una línea de 400 kV, o a 18 metros de una de 220 kV o a 10 metros de una de 132 kV.

En este mismo año 2001, Italia ha promulgado una Ley dirigida a proteger tanto a los trabajadores como al público en general, que define para cumplir con estos objetivos los siguientes parámetros:

- Límite de exposición que no se debe exceder en ninguna circunstancia.
- Valor de atención, que no se debe exceder en lugares de trabajo, escuelas y lugares donde se permanezca mucho tiempo.
- Objetivo de calidad, que es el nivel de campo que deben cumplir las nuevas instalaciones y al que deben tender progresivamente las existentes.

La ley no especifica valores numéricos, sino que se remite a un futuro Decreto del Primer Ministro. Los valores que baraja este Decreto parecen ser muy inferiores a los de la Recomendación del Consejo, y podrían situarse en 100, 3 y 0,5 microteslas para cada uno de estos parámetros (según fuentes de una Comisión de Sanidad), aunque no hay nada decidido todavía.

Fuera del ámbito comunitario, a principio del año 2000 Suiza aprobó una ley en la que, a pesar de aceptar los valores de la Recomendación Europea, y aplicando un principio de cautela, establece unos valores máximos de campo magnético muy restrictivos (1

microtesla) para instalaciones eléctricas nuevas y situadas en zonas donde en público pueda permanecer mucho tiempo.

En **España el Ministerio de Sanidad y Consumo** en respuesta a una pregunta parlamentaria indicó que se va a implementar la **Recomendación del Consejo de la Unión Europea** aprobada el 12 de julio de 1999, limitando la exposición del público en general a campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial de 5 kV/m y 100  $\mu$ T, respectivamente<sup>1</sup>.

Para apoyar la adopción de estos valores, la Dirección General de Salud Pública y Consumo de este Ministerio ha emitido el pasado 10 de Junio de 2001 una nota de prensa, previa a la publicación de un informe, en la que se señala que "la exposición a los campos electromagnéticos (CEM), dentro de los límites recogidos en la Recomendación efectuada por el Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea en julio de 1999, no ocasiona efectos adversos para la salud".

## **2. EFECTOS INDIRECTOS.**

### **2.1. Corrientes de contacto.**

Las cargas que se acumulan en la superficie de objetos conductores (coches, vallas metálicas) expuestos a un campo eléctrico (no a uno magnético) externo pueden producir una descarga eléctrica al tocarlos. En este caso hay que distinguir entre una descarga momentánea (un pequeño chispazo), y una descarga permanente que produce un flujo de corriente eléctrica a través del organismo que puede producir quemaduras.

La magnitud de la corriente de contacto depende de factores como el tamaño y tipo de objeto y de las puestas a tierra del objeto y de la persona que lo toca. A 50 Hz, este fenómeno sólo se da en objetos situados muy cerca de instalaciones de alta tensión, por

---

<sup>1</sup> Así se ha hecho mediante el Real Decreto 1066/2001 (28 de septiembre de 2001) de los Ministerios de Sanidad y Consumo y de Ciencia y Tecnología (Nota del Editor).

ejemplo en vallas metálicas dispuestas en paralelo con una línea eléctrica, pero el problema desaparece con una adecuada puesta a tierra.

En la Recomendación del Consejo mencionada anteriormente la corriente máxima de contacto en el rango de 0 Hz a 2,5 kHz se limita a **0,5 miliamperios (mA)**. Este límite está de acuerdo con la guía de ICNIRP que a 50/60 Hz sitúa el umbral de percepción entre 0,2 y 0,4 mA, y el umbral de dolor cuando un dedo entra en contacto con el objeto cargado, de 0,9 a 1,8 mA. Los umbrales para un efecto biológico importante (shock, dificultades respiratorias) son de 12 a 23 mA.

## 2.2. Interferencias con dispositivos médicos<sup>2</sup>.

Otro mecanismo indirecto es la posibilidad de que los campos eléctricos y magnéticos interfieran en el funcionamiento de marcapasos cardíacos y otros dispositivos médicos implantados en seres humanos

La posible incidencia de los campos electromagnéticos de diferentes frecuencias sobre el funcionamiento de aparatos como los marcapasos y los desfibriladores implantados en personas con problemas cardíacos ha sido ampliamente estudiada en el caso de los 50 Hz.

Los marcapasos unipolares son especialmente sensibles por tener un sólo electrodo aislado eléctricamente. El campo puede inducir una tensión eléctrica entre la punta del electrodo y el marcapasos. Para campos eléctricos de 50 Hz no deberían producirse interferencias por debajo de 2,5 kV/m. Para campos magnéticos la probabilidad de interferencia depende, sobre todo, de la sensibilidad del marcapasos; para una sensibilidad de 0,5 a 2 mV (milivoltios) se calculan intensidades de interferencia de 14 a 55  $\mu\text{T}$ . En los marcapasos bipolares el riesgo de interferencia es mucho menor, puesto que cuentan con dos electrodos. La **ACGIH** (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales) estableció en 1996 límites máximos de **1 kV/m y 100 mT** para la exposición

de trabajadores que lleven marcapasos. En cualquier caso, dada la variabilidad de los marcapasos, es mejor ponerse en contacto con el fabricante quien habrá delimitado el umbral de interferencia de sus dispositivos.

Recientemente se han descrito dos nuevas situaciones que, aunque no afectan a la frecuencia de 50/60 Hz, creo que son de interés por afectar a marcapasos y desfibriladores. En ambos casos la interferencia se produjo al pasar la persona con uno de estos implantes entre las barras de un detector antirrobo. En el caso del marcapasos, al atravesar estas barras el paciente experimentó palpitaciones, náuseas, dificultad para respirar y mareos. En el caso del desfibrilador el paciente recibió descargas anómalas del implante que le provocaron mareos y disminución del estado de conciencia, hasta que fue separado de las barras del dispositivo antirrobo.

Los dispositivos antirrobo son de tres tipos: sistema de frecuencia audiomagnética que funciona entre 218 y 534 Hz; los de barrido de radiofrecuencia, que funcionan en el rango de megahercios; y por último el conocido como sistema magnetoacústico que funciona con un campo pulsado de 58.000 Hz.

Los dos casos referidos en la literatura médica relacionan sólo éste último tipo de detector con las interferencias. En estudios controlados en laboratorio este sistema interfirió con 48 de entre 50 tipos de marcapasos, mientras que sólo dos de cincuenta experimentaron interferencias con el de frecuencia audiomagnética, y ninguno con el de barrido de radiofrecuencias.

Por lo tanto debe advertirse a las personas que lleven este tipo de implantes que intenten evitar este tipo de dispositivos antirrobo, que estén expuestos a ellos el menor tiempo posible, y que en el caso de que los dispositivos no estén a la vista, los establecimientos adviertan de ello a los posibles portadores.

---

<sup>2</sup> Véase también el capítulo de O. Bernal y col. en este mismo libro (Nota del Editor).

**ANEXO:** RESUMEN DE NORMATIVAS NACIONALES E INTERNACIONALES SOBRE EXPOSICIÓN CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS DE 50/60 Hz.

ORGANISMO	Trabajadores	Público	Estatus	Base
ICNIRP (para 50 Hz) (Niveles de Referencia)	10 kV/m 500 $\mu$ T	5 kV/m 100 $\mu$ T	A	Z

PAÍS	Trabajadores	Público	Estatus	Base
UNIÓN EUROPEA <sup>(a)</sup> (Niveles de Referencia)	-	5 kV/m 100 $\mu$ T	A	Z
Alemania <sup>(b)</sup>	10 - 5 kV/m <sup>(a)</sup> 100 $\mu$ T <sup>(a)</sup>		B	Z
Australia	30 - 10 kV/m <sup>(b)</sup> 5.000 - 500 $\mu$ T <sup>(c)</sup>	10 <sup>(d)</sup> - 5 <sup>(e)</sup> kV/m 1.000 <sup>(f)</sup> - 100 <sup>(e)</sup> $\mu$ T	A	Z
Austria	30 - 10 kV/m <sup>(b)</sup> 5.000 - 500 $\mu$ T <sup>(c)</sup>	10 <sup>(d)</sup> - 5 kV/m 1.000 <sup>(f)</sup> - 100 $\mu$ T	C	Z
Bélgica <sup>(b)</sup>	10 <sup>(g)</sup> - 7 <sup>(h)</sup> - 5 <sup>(i)</sup> kV/m		B	Y
Bulgaria	25 kV/m 1.200 $\mu$ T	-	C	-
<sup>(*)</sup> Checoslovaquia <sup>(b)</sup>	15 <sup>(g)</sup> - 10 <sup>(h)</sup> - 1 <sup>(i)</sup> kV/m		C	Y, X
Estados Unidos	25 kV/m <sup>(o)</sup> 1.000 $\mu$ T <sup>(p)</sup>	-	A	Z
Florida <sup>(b)</sup>	10 <sup>(j)</sup> - 8 <sup>(k)</sup> - 2 <sup>(l)</sup> kV/m 20 - 15 $\mu$ T <sup>(r)</sup>		C	X, W
Minnesota <sup>(b)</sup>	8 kV/m <sup>(g)</sup>		D	Y
Montana <sup>(b)</sup>	7 <sup>(h)</sup> - 1 <sup>(l)</sup> kV/m		B	Y, X
New Jersey <sup>(b)</sup>	3 kV/m <sup>(l)</sup>		A	X
Nueva York <sup>(b)</sup>	11,8 <sup>(g)</sup> - 11 <sup>(m)</sup> - 7 <sup>(n)</sup> - 1,6 <sup>(l)</sup> kV/m 20 $\mu$ T		D	W
Oregón <sup>(b)</sup>	9 kV/m <sup>(i)</sup>		B	X
Holanda	250 - 62,5 - 40 kV/m <sup>(q)</sup> 600 $\mu$ T	8 kV/m 120 $\mu$ T	A	Z

<b>Hungría</b>	-	5 kV/m	-	-
<b>Italia</b> <sup>(c)</sup>	-	10 - 5 kV/m <sup>(s)</sup> 1.000 - 100 $\mu$ T <sup>(s)</sup>	B	Y
<b>Japón</b> <sup>(b)</sup>	3 <sup>(t)</sup>		B	X
<b>Polonia</b>	20 <sup>(u)</sup> - 15 kV/m 5.000 - 500 $\mu$ T <sup>(v)</sup>	10 - 1 <sup>(w)</sup> kV/m -	B	Y, X, Z
<b>Reino Unido</b> <sup>(b)</sup>	12 kV/m 1.600 $\mu$ T		A	Z
<b>Suiza</b> <sup>(d)</sup>	5 kV/m 100 - 1 $\mu$ T <sup>(x)</sup>		B	
<b><sup>(*)</sup> U.R.S.S.</b>	25 - 5 <sup>(y)</sup> kV/m	20 - 15 - 10 - 5 - 1 kV/m <sup>(z)</sup>	B	Y, X

(\*) Actualmente son la República Checa, Eslovaquia y la C.E.I. (ignoramos si estas normativas siguen en vigor)

### **LEYENDA**

#### **ORGANISMO/PAÍS**

- ( $\alpha$ ) Es una recomendación aplicable únicamente en sitios donde el público pase bastante tiempo.
- ( $\beta$ ) Normativa referida al campo eléctrico y magnético generado únicamente por líneas eléctricas aéreas y en la que no se hace distinción entre trabajadores y público.
- ( $\gamma$ ) Italia, además, impone unas distancias mínimas a las líneas eléctricas de muy alta tensión: 10 metros a líneas de 132 kV / 18 metros a líneas de 220 kV / 28 metros a líneas de 400 kV
- ( $\delta$ ) Legislación aplicable a los campos generados por instalaciones estacionarias (no incluye electrodomésticos).

#### **EXPOSICIÓN DE TRABAJADORES Y PÚBLICO**

- (a) Campo eléctrico y magnético generados por líneas eléctricas y transformadores de más de 1 kV. Se aplica en edificios o terrenos con presencia no puntual de personas. Se puede alcanzar valores de 10 kV/m y 200  $\mu$ T durante cortos periodos de tiempo que no excedan el 5% del día.

- (b) El tiempo de exposición, en horas al día, viene dado por:  $t < 80/E$   
(siendo E la intensidad del campo eléctrico externo entre 10 y 30 kV/m).
- (c) Respectivamente: toda la jornada laboral y 2 horas al día. Se puede alcanzar 25.000  $\mu$ T en extremidades.
- (d) Durante unas pocas horas al día. Se puede exceder unos minutos al día (hasta 20 kV/m durante 5 minutos en el caso de Austria) siempre que se tomen precauciones para prevenir efectos indirectos.
- (e) Durante 24 horas al día en espacios abiertos en donde se pueda asumir de forma razonable que el público pueda pasar una parte substancial del día.
- (f) Durante unas pocas horas al día. Se puede exceder unos minutos al día (hasta 2.000  $\mu$ T durante 5 minutos en el caso de Austria) siempre que se tomen precauciones para prevenir efectos indirectos.
- (g, h, i, j, k, l, m, n) Respectivamente: campo generado por líneas eléctricas aéreas en general (g), en el cruce de carreteras (h), en áreas accesibles o habitadas (i), líneas de 500 kV (j), líneas de 69-230 kV (k), en el borde de la calle (l), y en el cruce de carreteras privadas (m) y carreteras públicas (n).
- (o) Recomienda el uso de dispositivos de protección (como trajes aislantes) para campos por encima de 15 kV/m.
- (p) La exposición de las extremidades puede alcanzar 5.000  $\mu$ T. Los trabajadores con marcapasos no deben exponerse a campos por encima de 100  $\mu$ T.
- (q) Respectivamente: exposición del cuerpo, excluyendo la cabeza e incluyendo la cabeza, cuando no sean posibles efectos indirectos, y exposición cuando sean posibles efectos indirectos.
- (r) Respectivamente, campo magnético generado por líneas eléctricas aéreas de 500 y 230 kV.
- (s) Respectivamente, exposición durante unas pocas horas al día y donde se pueda asumir de forma razonable que el público pasa una parte significativa del día.
- (t) No se aplica donde raramente haya personas presentes.
- (u) Durante 2 horas al día como máximo.

- (v) El tiempo de exposición, en horas al día, viene dado por:  $D=H^2t$   
(siendo H la intensidad del campo magnético externo en kA/m y  $D=1,28(kA/m)^2h$ ;  
resultando 8 horas a 500  $\mu T$  y 5 minutos a 5.000  $\mu T$ ).
- (w) En zonas donde haya viviendas, hospitales, escuelas, etc.
- (x) Se aplica a las líneas aéreas y subterráneas de nueva construcción de más de 1 kV y a todas las subestaciones y transformadores. Es posible hacer excepciones si se han tomado medidas adecuadas para reducir el campo.
- (y) Exposición durante un periodo de tiempo (en horas al día) dado por:  $t=50/E-2$   
(siendo E la intensidad de campo eléctrico externo entre 5 y 20 kV/m;  
para valores entre 20-25 kV/m la duración máxima de la exposición será de 10 minutos).
- (z) Respectivamente: campo eléctrico generado por líneas eléctricas aéreas en áreas no accesibles, deshabitadas, cruce de carreteras, áreas habitadas y edificios.

### **ESTATUS**

- A - Guía o Recomendación.
- B - Legislación (de obligado cumplimiento).
- C - Norma (a veces con cierta fuerza legal) [En el caso de Austria es una Norma Experimental o Prenorma].
- D - Valor exigido por la administración para autorizar la construcción de una nueva instalación eléctrica.

### **BASE**

- Z - Limitar la densidad de corriente inducida en el interior del organismo.
- Y - Preocupación por posibles efectos en la salud.
- X - Percepción de hormigueo en la piel o chispazos.
- W - Limitar el campo a los valores que generan las instalaciones ya existentes.

## Bibliografía

1. Recomendación del Consejo de la Unión Europea (1999/519/CE). Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 30, 7, 1999.
2. Bailey WH y cols. Summary and evaluation of guidelines for occupational exposure to power frequency electric and magnetic fields. Health Physics, 73 (3): 433-453; 1997.
3. Baraton P y cols. Magnetically induced currents in the human body. International Electrotechnical Commission, 1995. ISBN-2-8318-0000-5.
4. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for limiting exposure to time varying electric magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz) Health Physics, 74, 495-523, 1998.
5. 2000. Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, OH: ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)
6. National radiological Protection Board. Restriction on human exposures to static and time varying EM fields and radiation. Documents of the NRPB (Gran Bretaña) 4, (5): 1-69, 1993.
7. Austrian Standards Institute and Austrian electrotechnical Association, AS 1119, 1994.
8. Bélgica. Moniteur Belge, F.88-900 (20 Abril 1988)
9. Bulgaria. Bulgarian National Std. 12.1.002-78
10. Alemania. 16 Diciembre 1996, federal Law Gazette (BGBl) I p.1966.
11. Hungría. MSZ 151/5-86 "Overhead lines for power transmission. Approaches and crossing 1986.
12. Italia. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, N.104, 1992. Nuevo borrador de decreto, en Noviembre 1999.
13. Japon. Technical Standards for electrical facilities, Article 112, Ministry of International Trade and Industry, 1973.
14. Holanda. Health Council of the Netherlands 2000, Publicación 2000/6.
15. Nueva Zelanda, Standard NZS2772.1 1999.
16. Polonia. Law Gazzette No. 25 101, 1980 y Orden del Ministerio de Salud 23 Diciembre 1994.
17. Suiza. Bundesrat NISV. 23 Diciembre 1999.

## **Normativas de Protección frente a los Campos Electromagnéticos.\***

### **Pere Riu i Costa.**

Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Electrónica. Universidad Politécnica de Cataluña. 08034 Barcelona.

### **Resumen**

La regulación de los límites para las emisiones electromagnéticas es un tema de actualidad y se están produciendo cambios día a día. Debemos distinguir entre en guías de exposición, redactadas por organismos nacionales o internacionales más o menos independientes, y que son totalmente voluntarias, y reglamentos dictados por las administraciones, cuyo cumplimiento es obligatorio. Las guías de exposición definen límites para los valores del campo eléctrico, magnético, densidad de potencia o potencia depositada en el cuerpo. Las más aceptadas internacionalmente son las dictadas por la ICNIRP y el ANSI/IEEE. Aunque el enfoque es distinto, las bases son parecidas. A bajas frecuencias se limita la densidad de corriente que circula por el cuerpo, para impedir estimulación nerviosa/muscular. En la banda de radiofrecuencias se limita la potencia depositada en el cuerpo para impedir efectos relacionados con el esfuerzo térmico. Para frecuencias más elevadas (> 10 GHz) se limita la densidad de potencia para impedir el calentamiento de la superficie de la piel.

En el estado español el Ministerio de Ciencia y Tecnología ha redactado un reglamento que afecta a las instalaciones radioeléctricas, incluyendo las de telefonía móvil, adoptando los límites de la guía ICNIRP. Otras comunidades autónomas, como Cataluña, han redactado documentos parecidos con valores límite algo inferiores. A nivel Europeo, el CENELEC ha publicado normas que definen los métodos de medida para los teléfonos móviles y se está trabajando en documentos para caracterizar las estaciones base de telefonía móvil.

---

\* Artículo original en Catalán. Traducción al Castellano realizada por D. Joan Sardá.

### **Normativas internacionales**

Hay diversos organismos internacionales o nacionales que publican normativas o recomendaciones sobre los límites de exposición a los campos electromagnéticos, los métodos de medida, etc. La responsabilidad final sobre la adopción de estas normativas o de otros mecanismos de protección del público en general o de trabajadores en ámbitos específicos recae sobre las administraciones públicas estatales, regionales o locales.

La organización internacional por antonomasia que publica límites de exposición y recomendaciones es el ICNIRP (*Internacional Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*), reconocida por la OMS, la Comisión Europea y la Organización Internacional del Trabajo. En un ámbito más restrictivo se puede considerar también como organismo internacional el CENELEC, todo y que su ámbito de actuación es europeo. El CENELEC publicó una norma sobre límites de exposición de la población a los campos electromagnéticos, que fue posteriormente retirada, y actualmente su labor se centra en los procedimientos de medida para la certificación de dispositivos que generan campos electromagnéticos, como los teléfonos móviles, los sistemas de detección de metales en aeropuertos, etc.

Hay dos publicaciones de la ICNIRP que se enmarcan dentro del ámbito de este trabajo. Una guía de los límites de exposición a los campos magnéticos estáticos (ICNIRP, 1994) y una guía de los límites de exposición para los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos hasta 300 GHz (ICNIRP, 1998).

### **Límites de exposición del ICNIRP para campos magnéticos estáticos**

Parte de la base de tres mecanismos conocidos por los cuales un campo magnético estático puede afectar a un sistema biológico: inducción de fuerzas en cargas en movimiento, de acuerdo con la Ley de Lorentz, rotación o traslación en dipolos magnéticos permanentes e interacción electrónica con los radicales libres presentes en algunas reacciones químicas.

Se distinguen dos grupos de personas: el público en general y los trabajadores que están en ambientes de exposición controlada. Los límites sugeridos son:

Trabajadores:

Valor medio durante un día            200 mT

Valor máximo                                2 T

Valor máximo en las piernas            5 T

Público :

Exposición continua                        40 mT

Se permite que el público pueda acceder a instalaciones que superen los 40 mT por periodos limitados de tiempo, siempre que no superen los límites para trabajadores. También se indica que los usuarios con marcapasos pueden no estar suficientemente protegidos con estos límites y que algunos objetos electromagnéticos o magnéticos, como relojes o tarjetas de crédito se pueden ver afectadas adversamente con valores del campo magnético muy inferiores a los establecidos.

### **Límites de exposición del ICNIRP para campos de hasta 300 GHz**

Define unas restricciones básicas, que se derivan de mecanismos conocidos y aceptados de interacción de los campos con sistemas biológicos, fundamentalmente la excitación celular y el calentamiento. Por este motivo define como magnitudes básicas (que limitan la dosis) para establecer límites de densidad de corriente (J) y la tasa de absorción específica (SAR). Se añade la densidad de potencia (S) a frecuencias muy altas, por encima de 10 GHz. Como las magnitudes básicas son difíciles, si no imposibles, de medir, se definen como magnitud de referencia (que limitan la exposición) el campo eléctrico, el campo

magnético, la densidad del flujo magnético y la densidad de potencia. Para casos especiales se añade la corriente que circula por las piernas, la absorción específica y la corriente de contacto.

Las bases para establecer los límites se han extraído de estudios epidemiológicos, de laboratorios y teóricos publicados en revistas especializadas. Para campos de baja frecuencia (hasta 10 MHz) se utiliza la densidad de corriente como unidad de dosimetría. Para campos de entre 100 kHz y 10 GHz se utiliza el SAR y para campos de entre 10 GHz y 300 GHz se utiliza la densidad de potencia, ya que la profundidad de penetración es de décima de milímetro y el concepto SAR, aunque sea local, pierde significado. Los límites establecidos, entonces, pretenden proteger contra efectos adversos de origen térmico a corto plazo y contra derivados de la excitación celular que podrían provocar fibrilaciones ventriculares o paradas respiratorias. La revisión de la literatura que hace referencia a efectos de exposiciones crónicas o de muy bajo nivel no se han encontrado suficientemente concluyente y en ningún caso permite el establecimiento de límites normativos.

Al igual que en la norma anterior, se distingue entre el público en general y trabajadores, partiendo de la base que estos últimos son conscientes de estar sometidos a la acción de los campos, pueden identificar un posible efecto adverso y pueden tomar medidas para minimizar esta exposición.

Las restricciones básicas se presentan en la siguiente tabla.

Tipos de exposición	Frecuencia (Hz)	Densidad de corriente para cabeza y tronco (mA/m <sup>2</sup> )	SAR media para todo el cuerpo (W/kg)	SAR local, cabeza y tronco (W/kg)	SAR local, extremidades (W/kg)	Densidad de potencia (W/m <sup>2</sup> )
Trabajadores	0 – 1 Hz	40				
	1-4 Hz	40/f				
	4 Hz –1 kHz	10				
	1 –100 kHz	f/100				
	100 kHz-10 MHz	f/100	0.4	10	20	
	10 MHz-10 GHz		0.4	10	20	
	10 -300 GHz					50
Público	0 – 1 Hz	8				
	1-4 Hz	8/f				
	4 Hz –1 kHz	2				
	1 –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

Se calculará el promedio de los valores de las magnitudes durante un periodo de 6 minutos y el promedio del SAR local por cada 10 g de tejido. Para campos pulsados con frecuencia de entre 0.3 y 10 GHz y para evitar el efecto acústico de las microondas, se recomienda limitar la SA a 10mJ/Kg para trabajadores y 2mJ/Kg para el público en general.

La derivación de los valores de las magnitudes de referencia se ha realizado teniendo en cuenta los modelos de acoplamiento de la energía electromagnética en el cuerpo humano, que pueden ser muy complejos, por los diferentes márgenes frecuenciales. Reproducimos la tabla correspondiente a los límites de exposición al público en general. Las limitaciones para trabajadores tienen un factor inverso de seguridad que varía entre 2 y 3 para los campos de corriente y vale 5 para las densidades de potencia.

Frecuencia	Campo eléctrico (V/m)	Campo magnético (A/m)	Densidad de flujo magnético (mT)	Densidad de potencia (W/m <sup>2</sup> )
0 –1 Hz		$3.2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	
1- 8 Hz	10.000	$3.2 \cdot 10^4 / f^2$	$4 \cdot 10^4 / f^2$	
8-25 Hz	10.000	$4 \cdot 10^3 / f$	$5 \cdot 10^3 / f$	
25 - 800 Hz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	
0.8 - 3 Hz	$250/f$	5	6.25	
3 - 150 kHz	87	5	6.25	
150 kHz - 1 MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$	
1 -10 MHz	$87/f$	$0.73/f$	$0.92/f$	
10 - 400 MHz	28	0.073	0.092	2
400 MHz - 2 GHz	$1.375f^{1/2}$	$0.003 f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$	$f/200$
2 – 300 GHz	61	0.16	0.2	10

Para campos pulsados se permite un cierto relax a partir de 1 MHz y se establece que estos valores pueden ser excedidos siempre que no se supere el valor de las restricciones básicas. La norma establece también límites para corrientes de contacto y define los procedimientos de cálculo que hay que utilizar cuando la exposición esta compuesta de señales de frecuencia diferentes.

Para la derivación de los valores concretos de los límites se ha tomado como referencia el valor para el que se observaba un efecto adverso. Así por ejemplo, en el caso de radiofrecuencias, se observaron disfunciones de comportamiento (de claro origen térmico) en ratas y primates con valores de SAR entre los 3 y los 6 W/kg. Las condiciones de exposición entre las situaciones de laboratorio controladas y la vida real, y la variabilidad entre distintas especies animales indujo a introducir un factor de seguridad de 10. Así el límite establecido para trabajadores es de 0.4 W/kg. Para la exposición del público se introdujo un factor adicional de 5.

En julio de 1999 (DOCE de 30/7/1999) el Consejo de Ministros de la UE adoptó una recomendación sobre la política que habrían de adoptar los países miembros con referencia a los límites de exposición para los campos electromagnéticos. En esencia adopta los límites del ICNIRP e insta a los países miembros a adoptar una política de protección basada en estos límites u otros escogidos de forma razonable y a establecer

---

programas de investigación en este ámbito o como mínimo a seguir de cerca la actividad científica internacional.

### **Otras normativas internacionales**

Hay otras normativas, básicamente del CENELEC y la IEC que definen métodos de medida o procedimientos para garantizar el cumplimiento de los límites establecidos en las guías.

Así el IEC tiene un estudio comparativo de diferentes normas nacionales (IEC, 1979) aun cuando su validez actual puede ser escasa. También ha desarrollado diversas normas de seguridad para ser aplicadas a equipos específicos, como por ejemplo hornos microondas. Recientemente (IEC, 1997) ha publicado una guía para la medida de la intensidad de los campos eléctricos generados por equipos de telecomunicación, con ampliación a la protección de los humanos. Esta norma especifica métodos, tipo de instrumento e incertidumbres aceptables en los diferentes subsistemas. La IEC ha creado un nuevo comité técnico (TC106: Testing instrumentation and methods for measuring electric and magnetic fields associated with human exposure) que definirá los métodos de medida de exposición de la población a los campos electromagnéticos.

El CENELEC, como consecuencia de un mandato de la Comisión Europea ha desarrollado una norma, publicada recientemente en versión definitiva (CENELEC, 1999) para definir los métodos de determinación del SAR producido por equipos móviles de comunicación. Se definen métodos experimentales y numéricos para realizar las medidas y los cálculos, y se describen diversos tipos de instrumentos adientes para hacer las mediciones.

En España, para realizar el seguimiento y organizar las votaciones a nivel nacional de estos organismos internacionales, AENOR ha creado un Comité Técnico Normalizador, el CTN-215 cuyas funciones son "la medida de los campos electromagnéticos en entorno humano".

### **Normativas nacionales genéricas**

Diversos países han desarrollado normativas propias para la protección de la población frente a las radiaciones no-ionizantes. Hace falta destacar que la tendencia histórica es que el establecimiento de límites por parte de los países del bloque occidental y del bloque oriental han sido bastante diferentes. En la actualidad algunos países que habían estado en el área de influencia de la URSS están en fase de renovar sus normativas.

En este apartado no se pretende hacer un análisis exhaustivo de todas las normativas nacionales existentes, sino comentar algunas de las más significativas. La Información se ha extraído de las publicaciones de revisión, fundamentalmente IEC, 1979 y Polk, 1996.

Quizás la norma que más influencia ha tenido en el desarrollo de otras guías y normativas, ha sido desarrollada por el ANSI, en los EUA, actualmente mantenida por el ANSI/IEEE. La primera edición es de 1966 y la última publicada del 1992 (ANSI, 1992). La norma, conocida como ANSI/IEEE C95 consta de diferentes partes. La parte 95.1 establece límites de exposición y puede ser la más conocida, pero hay otras partes que definen métodos de medida, etc.

### **Límites de la exposición a la norma ANSI/IEEE C95.1**

La estructura del ANSI C95.1 es un poco diferente de las normas comentadas hasta ahora. No se definen magnitudes básicas y de referencia sino que se habla siempre de exposición máxima permitida (MPE: *Maximum Permissible Exposure*) y después se definen exclusiones.

Diferencia dos tipos de entorno, controlado e incontrolado, que se pueden asimilar a las condiciones de exposición de trabajadores y público en general. En la siguiente tabla

presentamos los límites que corresponden a los valores de campo eléctrico, magnético o densidad de potencia para condiciones incontrolables.

Frecuencia (MHz)	Campo Eléctrico (V/m)	Campo magnético (A/m)	Densidad de potencia (mW/cm <sup>2</sup> )
0.003 - 0.1	614	163	
0.1 - 1.34	614	16.3/f	
1.34 - 3	823.8/f	16.3/f	
3 - 30	823.8/f	16.3/f	
30 - 100	27.5	158.3/f <sup>1.668</sup>	
100 - 300	27.5	0.0729	0.2
300 - 3000			f/1500
3000 - 15000			f/1500
15000 - 300000			10

Estos valores son muy similares a los del ICNIRP, aunque los márgenes frecuenciales son diferentes. Se establecen también intervalos de media de 6 min, excepto a frecuencias muy altas, y se limita también la máxima corriente de contacto por debajo de 100 MHz.

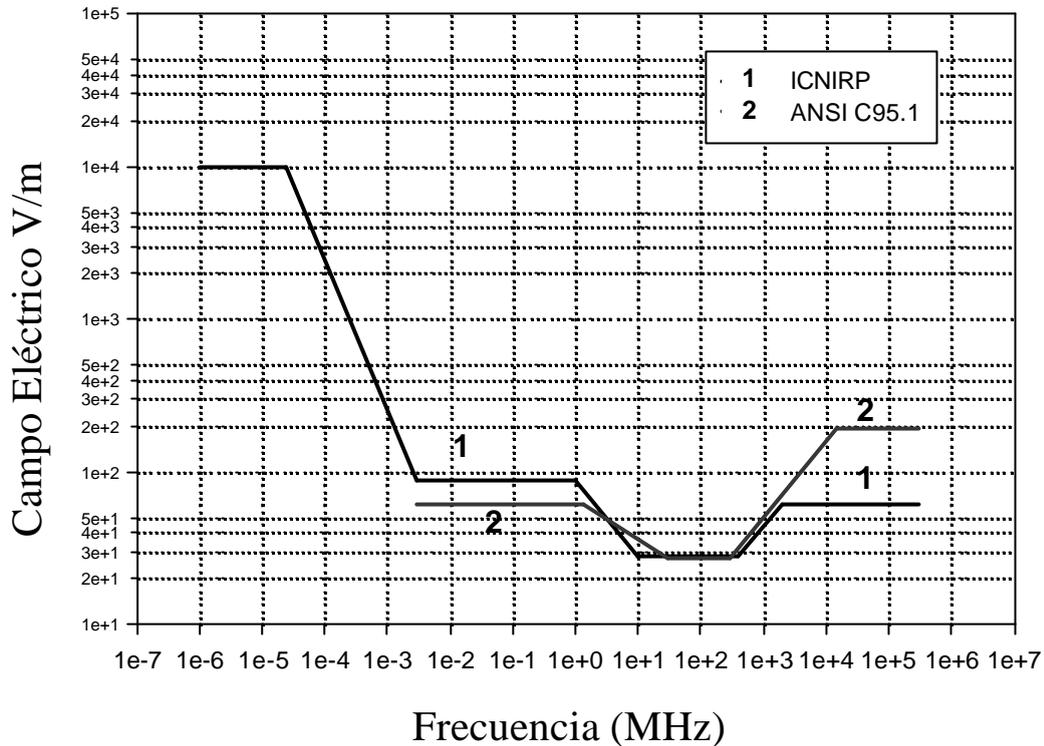
De entre las excepciones más significativas hay que destacar:

- ◆ Por frecuencias de entre 100kHz y 6 GHz las MPE se pueden exceder si se demuestra que el SAR no excede de los límites siguientes (exposición incontrolada)

	SAR global	SAR local (cabeza tronco)	SAR local (extremidades)
<b>SAR (W/kg)</b>	0.08	1.6	4
<b>Media en Tejido</b>	1 g	1 g	10 g

Para la exposición controlada los límites aumentan en un factor de 5. En frecuencias más bajas se pueden sobrepasar las MPE si la densidad de corriente inducido al cuerpo no supera 15.7  $\mu$ A/cm<sup>2</sup>, donde  $f$  es la frecuencia en MHz,

- ◆ Para dispositivos que emiten potencias bajas, las MPE no se tienen en cuenta, siempre que el dispositivo se utilice a más de 2 cm del cuerpo, si las potencias emitidas no superan 1.4 W para frecuencias entre 100 kHz y 450 MHz, y  $1.4 \cdot 450 / f$  W por frecuencias entre 450 MHz y 1.5 GHz.



Comparación de los límites de campo eléctrico en las guías del ICNIRP e ANSI C95.1 para exposición al público. La norma ANSI empieza en 3 kHz.

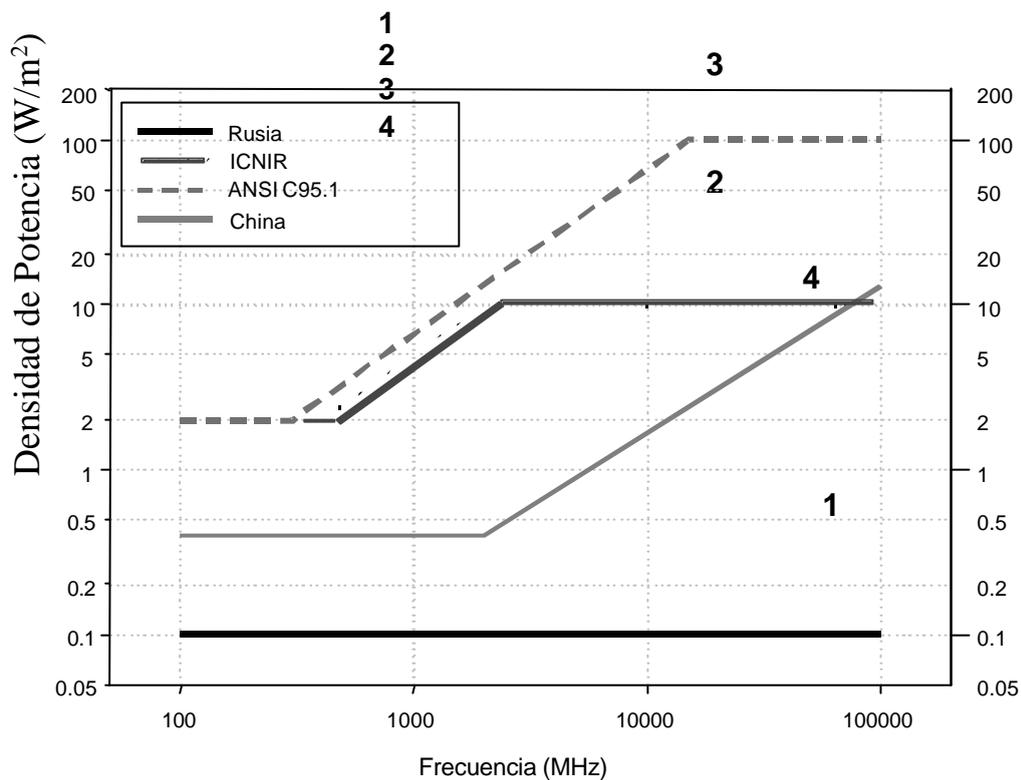
Con la primera de las excepciones, esta norma es muy coherente con la del ICNIRP. La segunda de las excepciones no tiene equivalente con estas normas. También hay previsiones para relajar las MPE en casos de exposición parcial de partes del cuerpo, exceptuando los ojos y los testículos.

Cabe destacar que la norma ANSI C95.1 especifica que para el SAR se ha de calcular el promedio por cada 1 g de tejido, mientras que la norma del ICNIRP especifica

10g. En el caso que las deposiciones de potencia sean poco uniformes, como por ejemplo en la exposición a un teléfono móvil la norma ANSI es más restrictiva.

### Otras normativas nacionales

Algunos países como Canadá, Austria, Gran Bretaña, Alemania o Suecia han desarrollado normativas genéricas parecidas a las descritas en los apartados anteriores (Polk, 1996). La mayor parte de estas normativas centran la atención en las bandas RF, pero alguna también a baja frecuencia y especialmente a las de distribución de energía



Comparación entre las normativas de Rusia y China con las occidentales, en la banda de radiofrecuencias

eléctrica.

Las aproximaciones a la definición de las exposiciones máximas y de los niveles permitidos son similares a los del ICNIRP. Gran Bretaña y Austria por ejemplo Tienen límites más relajados para la densidad de potencia a altas frecuencias, pero están en vías de adoptar el estándar del ICNIRP.

Los países del Este, en concreto la antigua URSS y Polonia, así como China, desarrollaron normativas propias que se apartan de las aproximaciones del ICNIRP (IEC, 1979), aunque últimamente Polonia estaba en proceso de actualización. En concreto, para exposiciones continuadas en campos de RF se establecen límites de  $0.01\text{mW}/\text{cm}^2$ , 100 veces más bajos que los "occidentales" para frecuencia de telefonía móvil. Estos límites se iban aumentando a medida que el tiempo de exposición disminuía. Así se llegaba a  $1\text{mW}/\text{cm}^2$  para exposiciones de menos de 20 min diarios. Este concepto de exposición continua o crónica ha sido substituido por la regulación del Gobierno Federal en Suiza, que se comenta en el apartado siguiente.

La OMS ha realizado durante el último año diversos contactos con Rusia y China para intentar unificar las normativas y poder consensuar una especie de estándar internacional. De momento las gestiones han sido infructuosas.

## **REGLAMENTOS ADMINISTRATIVOS**

Diversos países y entes regionales y locales están en proceso de definición (o lo han finalizado ya), de reglamentos que limitan la exposición de las personas a los campos electromagnéticos. Estos reglamentos pueden afectar a todo el espectro, desde las líneas de distribución de energía eléctrica hasta las ondas milimétricas, o pueden limitarse a una parte del espectro y unas instalaciones específicas, como por ejemplo las estaciones base de telefonía móvil.

Una mención especial merece una ordenanza federal que se aprobó en Suiza en diciembre de 1999 (ORNI: Ordennance sur la protection verles Radiations Non-Ionisants). Este reglamento establece como límites aquellos del ICNIRP, que no se pueden superar en ningún caso. Además define una serie de instalaciones a las que aplica una limitación específica. Este límite de instalación se puede superar si se justifica la inexistencia de alternativas viables. En la siguiente tabla se resumen las instalaciones que considera la ordenanza, con los límites asociados y los del ICNIRP, por comparación.

La ordenanza establece también una política de precaución del tipo “prudent avoidance” para instalaciones eléctricas domesticas (p. ej. Recomendando que el cableado de distribución no se haga pasar cerca de los dormitorios) o para líneas de distribución, recomendando siempre que se utilice una disposición de conductores que minimice el campo magnético.

Otros países, como Italia o el land de Salzburgo, o en Austria han establecido también límites específicos para telefonía móvil. En el caso de Italia el límite se establece en 6V/m para el campo eléctrico medido en el interior de los habitáculos cercanos a la instalación. En el caso de Salzburgo, el límite se ha fijado en 0.6V/m, que corresponde a un 1.5% del que fija el ICNIRP.

<b>Tipo de instalación</b>	<b>Límite</b>	<b><u>Límite ICNIRP</u></b>
Líneas alta tensión (V > 1000 V)	1 $\mu$ T	100 $\mu$ T
Estaciones transformadoras	1 $\mu$ T	100 $\mu$ T
Ferrocarriles	1 $\mu$ T	100 $\mu$ T
Estaciones base telefonía móvil	4 V/m (900 MHz) 6 V/m (1800 MHz) 5 V/m (dual)	40 V/m 60 V/m -----
Estaciones de radiodifusión (AM, FM, TV,...)	8.5 V/m (onda larga y media.) 3 V/m (resto)	87 V/m – 30 V/m 28 V/m – 35 V/m

## REGLAMENTOS ADMINISTRATIVOS EN ESPAÑA

El Ministerio de Ciencia y Tecnología junto con el de Sanidad y Consumo han impulsado un reglamento para limitar la exposición a campos electromagnéticos generados por sistemas de comunicación que usen este tipo de energía. Este reglamento fue aprobado en el consejo de ministros del 28/9/01 (BOE de 29/09/01)<sup>1</sup>.

Aplica a todos los sistemas de comunicación que usen energía electromagnética, excluyendo los ópticos, y por tanto afecta tanto a las estaciones base de telefonía móvil como a las instalaciones de radiodifusión o televisión, por citar algunos ejemplos. Adopta totalmente los límites de la guía de exposición del ICNIRP, pero establece un cierto principio de precaución instando a los instaladores a elegir aquellas localizaciones que minimicen la exposición a las personas y al mismo tiempo garanticen una calidad de servicio adecuada para minimizar también la exposición debida a los equipos terminales.

Desde un punto de vista administrativo, se exige un estudio de la exposición en el momento de presentar la solicitud para la instalación. También se establece una inspección previa a la puesta en funcionamiento y a la necesidad de que los operadores de las instalaciones redacten un informe anual certificando que no han superado los límites de exposición. Estos datos serán analizados por el Ministerio de Sanidad para elaborar estudios de exposición y epidemiológicos a nivel estatal.

Dentro del ámbito territorial de Cataluña, se ha aprobado un decreto impulsado por el Departamento de Medio Ambiente que afecta a las estaciones repetidoras de telefonía móvil, las redes de acceso al bucle del abonado vía radio y otros servicios móviles y terrestres. Se adoptan los niveles de la guía de exposición del ICNIRP con un factor adicional de protección del 1.5 para el campo (2.25 para la potencia) y que no pueden superarse en ningún sitio donde pueda haber personas. Adicionalmente se establecen unos volúmenes de protección que se aplican a las zonas abiertas donde puede haber presencia continuada de personas. Estos volúmenes son de forma paralelepípeda para estaciones de

---

<sup>1</sup> Véase también el capítulo escrito por J. Cañadas (Nota del Editor).

---

telefonía móvil de baja potencia y esférica para otras instalaciones, con dimensiones que dependen de la PIRE de la instalación, de manera que los niveles de campo fuera de los volúmenes de protección son siempre inferiores a los niveles límites fijados por decreto.

Los operadores de telecomunicación tendrán que incluir un estudio de exposición en su propuesta, que puede ser individual para una instalación o para toda la red. La asociación de municipios Localred ha impulsado un modelo de ordenanza municipal en la que los ayuntamientos recogen los límites del Decreto de la Generalitat para aplicarlo dentro del ámbito Local. Hasta antes de la aprobación del Decreto se habían firmado acuerdos entre el Departamento de Medio Ambiente, Localred y la mayoría de operadores de telefonía móvil donde estas se comprometían a cumplir de forma voluntaria con el Decreto.

Otras comunidades autónomas del Estado español están trabajando en reglamentos de contenido parecido al de Cataluña.

### **Normativas específicas**

Las normativas específicas aplicadas a familias de productos, como los hornos microondas o en frecuencias específicas, como la de las líneas de distribución han estado emitidas por diferentes organismos desde hace años.

Así, por ejemplo hay normativas que limitan los campos máximos en las proximidades de líneas de distribución de energía eléctrica, además de los países enumerados antes, en varios estados de los EUA. Los límites para la intensidad del campo eléctrico, p. ej. pueden variar en un orden de magnitud de una norma o de la otra.

El CENELEC, como resultado del mandato de la Comisión Europea, está a punto de publicar 4 normas referentes a los métodos de medida de campos electromagnéticos en entornos humanos. Hay dos normas genéricas que especifican los métodos de medida de SAR y los métodos de medida de campo eléctrico y magnético debido a sistemas de

vigilancia e identificación para radiofrecuencias. Las otras dos normas, específicas de producto, definen los parámetros de cumplimiento para teléfonos móviles y para dispositivos de identificación/vigilancia para RF. Los límites que aparecen en estas normas son los publicados en la recomendación de Consejo de Ministros de la UE de julio de 1.999. También se están desarrollando normas para determinar el cumplimiento de equipos de baja potencia, teléfonos usados con sistema de manos libres y estaciones base, pero su publicación no está prevista hasta el año 2003.

El TC85 (metrología) de la IC está trabajando en una norma que define métodos de medida e instrumentos para campos electromagnéticos, en todo el espectro, en relación con la exposición humana.

En los EEUU la CTI (Cellular Telecommunications Industry Association) ha puesto en marcha un programa de certificación para teléfonos móviles. Uno de los requisitos de la certificación es la publicación de los valores de SAR asociados al modelo de teléfono en cuestión. Aún así muchos fabricantes se han adherido al programa, aunque no parece que los valores de SAR vayan a estar disponibles para todos los modelos de teléfono hasta el año 2002. El valor de SAR estará en el interior de la caja y no en el exterior, donde sólo habrá información de que el teléfono cumple los requisitos de la FCC.

El sindicato sueco TCO ha publicado una propuesta de normativa que regula la deposición de potencia, la eficiencia, la ergonomía y otros aspectos de los teléfonos móviles. En concreto el límite para el SAR que propone TCO es de 0.8 W/Kg como promedio para 10 g de tejido, unas 3 veces inferior a la propuesta del ICNIRP.

### **Bibliografía**

- EN 50360:2001 Product standard to demonstrate the compliance of mobile phones with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (300 MHz - 3 GHz)
- ES 59005:1998 Considerations for the evaluation of human exposure to Electromagnetic Fields (EMFs) from Mobile Telecommunication Equipment (MTE) in the frequency range 30 MHz - 6 GHz

- EN 50357:200X Evaluation of human exposure to electromagnetic fields from devices used in Electronic Article Surveillance (EAS), Radio Frequency Identification (RFID) and similar applications
- EN 50361:2001 Basic standard for the measurement of Specific Absorption Rate related to human exposure to electromagnetic fields from mobile phones (300 MHz - 3 GHz)
- EN 50364:200X Limitation of human exposure to electromagnetic fields from devices operating in the frequency range 0 Hz to 10 GHz, used in Electronic Article Surveillance (EAS), Radio Frequency Identification (RFID) and similar applications



## **Las Ondas y los Campos Electromagnéticos: Importancia en la Medicina y Relación con la Salud**

**Gloria Ruiz Hernández\*, José Luis Carreras Delgado\*\***

\*Servicio de Medicina Nuclear. Hospital Clínico San Carlos.

\*\*Director del Departamento de Radiología y Medicina Física.

Departamento de Radiología y Medicina Física. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid. Avda. Complutense s/n. 28040 Madrid.

### **Resumen y Conclusiones**

La radiación electromagnética (REM) comprende las radiaciones no ionizantes (sistemas de resonancia magnética nuclear, tostadoras, cámaras, lasers, microondas y teléfonos móviles) y las radiaciones ionizantes (rayos X y rayos gamma). El sistema de telefonía móvil consta de antenas que actúan de estación basal que permiten la comunicación con los teléfonos móviles mediante ondas de radiofrecuencia. El efecto térmico de las radiaciones de radiofrecuencia deriva de su interacción con la materia. La interacción es más efectiva para moléculas polares como el agua, que pierden su energía rotacional por fricción con otras moléculas causando un aumento de temperatura. Según la literatura existe un efecto no relacionado con la temperatura de la radiación de radiofrecuencia.

No hay evidencia científica de la interferencia en la salud de los sistemas de comunicación de móviles o de los auriculares, ni por su efecto térmico ni atérmico. El efecto atérmico de las radiaciones RF no tiene un patrón de curva dosis-respuesta, es decir, niveles de exposición mayores no se asocian con un incremento en los efectos nocivos para la salud y no se conoce ningún mecanismo por el cual estos efectos atérmicos de las ondas RF produzcan cáncer u otro tipo de enfermedades.

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

### Generalidades.

Como radiación electromagnética (REM) comprendemos las radiaciones no ionizantes originadas de sistemas de resonancia magnética nuclear, tostadoras, cámaras, lasers, microondas y teléfonos móviles y las radiaciones ionizantes, como los rayos X, rayos gamma, etc. <sup>(1,2)</sup>.

La radiación electromagnética tiene un componente de campo eléctrico y uno magnético, transmitiéndose por el espacio a la velocidad de la luz (300.000 kilómetros por segundo). La interacción de estas ondas con la materia es la que determina los efectos de la REM. Sus propiedades se determinan por la longitud de onda y la frecuencia de cada tipo de REM de forma inversamente relacionada <sup>(1,3)</sup>.

Así de mayor a menor longitud de onda dentro del espectro de REM podemos citar: las ondas de radio (de mayor longitud, AM y FM), ondas de televisión, ondas de teléfonos móviles, microondas, infrarrojos, ultravioletas, rayos X y gamma <sup>(2,3)</sup>. No trataremos de las radiaciones ionizantes (rayos X, rayos gamma, etc.), de efectos patógenos bien conocidos.

El sistema de telefonía móvil opera con 900 MHz, en el rango de la radiación localizada entre las microondas y la radiación por radiofrecuencia. Este sistema consta de antenas que actúan de estación basal; son los llamados sistemas globales de comunicación móvil (SGCM) "Global System for Mobile Communication" o los sistemas de acceso múltiple de división codificados (SAMDC) "Code División Múltiple Access Systems", que permiten la comunicación con los teléfonos móviles mediante ondas de radiofrecuencia (RF). Los sistemas de transmisión actuales incluyen tanto los SGCM, como los SAMDC, aunque éstos últimos van reemplazando a los primeros desde el año 2000. Se trata de sistemas formados por células adyacentes, cada una de las cuales tiene su propio grupo de frecuencias, asegurando una mínima interferencia entre las mismas. El tamaño de las células depende del número de usuarios. Así en las áreas rurales que típicamente cubren grandes regiones, las células tienen una mayor potencia, lo cual conlleva una mayor exposición a la radiación. El

uso de un mayor número de antenas para servir a un área de mayor densidad poblacional no necesariamente asocia una mayor exposición a ondas RF <sup>(2)</sup>.

El número de frecuencias disponible dentro de cada célula varía de una a doce, permitiendo cada frecuencia su utilización por ocho usuarios. La máxima potencia se transmitiría sólo si cuando los ocho usuarios operan a la vez en la misma frecuencia <sup>(2)</sup>.

En los SAMDC, las células tienen el mismo espectro, previniéndose la interferencia entre ellas, por la transmisión de un código, variable de una estación a otra y que se repite a intervalos constantes de tiempo <sup>(2)</sup>.

Las antenas deben estar lo suficientemente elevadas, localizándose fuera de cualquier obstrucción física, para garantizar una cobertura amplia y minimizar la incidencia de espacios muertos. La radiación de estas antenas se transmite de forma horizontal y levemente hacia la superficie, lo que provoca que la máxima exposición ocurra a distancias de cien metros. La potencia de la REM generada por los SGCM es mayor que la que originan los SAMDC (de 2 a 2000 mW a 600mW, respectivamente) <sup>(2)</sup>.

Cada teléfono móvil transmite a una célula con una frecuencia particular una señal corta a intervalos regulares que se registra en el sistema más cercano de antenas. A la información transmitida se aplican códigos digitales diferentes, permitiendo la utilización de una célula por un mayor número de usuarios <sup>(2)</sup>.

Del sistema de teléfonos móviles destacamos dos tipos de exposición que pueden considerarse separadamente: las antenas de estación base y los teléfonos móviles o auriculares. La exposición generada por las antenas es muy baja, irradia al cuerpo entero y afecta a la comunidad globalmente. Sin embargo, la exposición de los auriculares en la cabeza es más intensa, intermitente y concierne sólo al usuario <sup>(2,4)</sup>.

### **Interacción con la materia.**

Aunque los rayos X y los rayos gamma (radiaciones ionizantes) y la radiación de radiofrecuencia (RF, no ionizantes) son radiaciones electromagnéticas, sus mecanismos de acción e interacción con la materia son diferentes. Los rayos X ionizan la materia causando reacciones químicas, conociéndose su carácter carcinogénico. La radiación electromagnética, con una longitud de onda mayor que la de los rayos X, no tiene suficiente energía para causar ionización, conociéndose esta región del espectro como radiación no ionizante. La radiación de radiofrecuencia forma parte de este espectro, con una longitud de onda mayor que los infrarrojos, sin que actualmente se haya podido comprobar un probable efecto carcinogénico <sup>(4)</sup> .

Cuando la radiación de RF es absorbida por la materia, causa que las moléculas vibren y ese movimiento se transforma en calor. Este efecto térmico determina las consecuencias en la salud derivadas de la exposición a las radiaciones RF <sup>(3,4)</sup> .

La absorción de la radiación de RF dentro de la cabeza puede ser determinada experimentalmente o de forma simulada mediante ordenador. La máxima absorción ó tasa de absorción específica (TAE) es de 2-3 W/ kg. Para una potencia de radiación de 1 W (cuatro veces mayor que la del SGCM), se asocia una TAE de 4 W/ kg (similar a un incremento de temperatura de un grado) <sup>(2,4)</sup> . Sin embargo el flujo sanguíneo hace que este incremento sea muy inferior en la realidad.

En la práctica diaria el sistema auricular de los teléfonos móviles se asocia a un incremento de temperatura menor de un grado, siendo muy improbable su interferencia con respecto a las grandes variaciones diarias de la temperatura corporal <sup>(2,4)</sup> .

Con respecto a la potencia de las ondas de RF generadas por la estación base de antenas, varía en función de la distancia, pero es conocido que los niveles de exposición ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ), son menores para las torres de SGCM o de SAMDC, que para una estación de radio FM y significativamente menores que para una estación de radio AM. Estos niveles son menores que los indicados por los requerimientos australianos ( $0.2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ). Así pues, el

promedio de exposición de una estación antena, es similar al que origina la luz de una bombilla de 2 W cuando ilumina una distancia de 7 acres <sup>(1,2,4)</sup> .

El efecto térmico de las radiaciones de radiofrecuencia deriva de su interacción con la materia, causando oscilaciones de moléculas en un campo eléctrico. La interacción es más efectiva para moléculas polares como el agua. Estas moléculas de agua pierden su energía rotacional por fricción con otras moléculas causando el aumento de la temperatura. Las ondas de RF se absorben en la materia principalmente por su interacción con el agua <sup>(4)</sup> .

Según la literatura existe un efecto no relacionado con la temperatura de la radiación de RF. Al parecer los bajos niveles de ondas de RF se asocian con cambios en la conducta animal, o con cambios en el funcionamiento de las membranas celulares. Estos efectos, denominados atérmicos son controvertidos y no han sido demostrados como perjudiciales para la salud <sup>(2,4)</sup> .

#### **Efectos sobre la salud.**

No hay evidencia científica de la interferencia en la salud de los sistemas de comunicación de móviles o de los auriculares. Esto se basa sobre todo en la ausencia de evidencia de una curva de dosis- respuesta y en que se desconoce el mecanismo biológico por el que las ondas RF causen cáncer u otro tipo de enfermedades asociadas al sistema de telefonía móvil. El efecto atérmico de las radiaciones RF no tiene una patrón de curva dosis-respuesta, es decir, niveles de exposición mayores no se asocian con un incremento en los efectos nocivos para la salud y no se conoce ningún mecanismo por el cual estos efectos atérmicos de las ondas RF produzcan cáncer <sup>(2,4)</sup> .

*Limitaciones de los estudios epidemiológicos.*

Los estudios epidemiológicos realizados hasta el momento actual poseen unos resultados controvertidos, careciendo de la suficiente evidencia científica para aseverar que existan efectos adversos en la salud o un incremento estadísticamente significativo en la incidencia de cáncer, provocado por las ondas RF.

Las conclusiones de las Reuniones científicas <sup>(5- 7)</sup> y de los grupos de trabajo <sup>(8)</sup> señalan la ausencia de evidencia del perjuicio en la salud de la radiación de radiofrecuencia.

Para que un estudio epidemiológico esté bien diseñado necesita: la identificación de la población a estudio, definir la exposición, elegir el tipo de estudio (cohorte vs casos-control) y la descripción del periodo en el cual la exposición es relevante.

En los estudios de casos- control la única diferencia debe ser la exposición, debiendo poseer ambos grupos unas características socioeconómicas y ambientales similares, para evitar factores sesgo. Conviene también eliminar o corregir si se puede factores de confusión <sup>(9)</sup> que aumenten o disminuyan la probabilidad de adquisición de la enfermedad con la exposición. Esto suele ser difícil cuando se trata de enfermedades relativamente infrecuentes, como las leucemias y la leucemia linfática crónica. Otra tarea ardua es valorar la exposición de la población previamente al inicio del estudio. <sup>(8)</sup>

*Neoplasias en la infancia.*

Tras el estudio inicial de Wertheimer and Leeper <sup>(10)</sup>, disponemos de cuatro estudios relevantes publicados sobre el probable efecto de las ondas RF de los teléfonos móviles en la génesis de leucemia en la infancia; dos de ellos identifican una asociación significativa <sup>(11, 12)</sup>, mientras que los otros dos no señalan tal evidencia <sup>(13, 14)</sup>.

Existen cuatro trabajos desarrollados en los países nórdicos que estudian la exposición a la radiación de radiofrecuencia mediante el cálculo de los campos

electromagnéticos. Los cuatro estudios muestran un incremento de leucemia en uno o más de un grupo del personal expuesto <sup>(15-18)</sup>, aunque en sólo uno de ellos esa asociación fue estadísticamente significativa <sup>(15)</sup>.

De todos estas investigaciones, ninguna muestra una evidencia convincente que asocie la exposición a las ondas RF con el desarrollo de leucemias. Más aún considerando de forma global los trabajos realizados mediante meta- análisis, únicamente se puede decir que existe una débil asociación entre el incremento de la exposición y el riesgo de padecer leucemia. <sup>(19)</sup>. Además no se han tenido en cuenta otros factores asociados pero no relacionados con las ondas, como el ritmo de trabajo, el stress, etc.

Las otras dos neoplasias asociadas en niños al uso de ondas RF, son los tumores cerebrales y los linfomas. Mientras que los dos estudios iniciales identificaban una relación positiva entre la exposición a ondas RF y el desarrollo de neoplasias cerebrales <sup>(10,11)</sup>, investigaciones posteriores no han confirmado esta asociación. <sup>(20- 22)</sup>

Con respecto al linfoma, todos los estudios publicados muestran un escaso número de pacientes con linfoma en el grupo de elevada exposición, con lo que no podemos extrapolar una conclusión significativa entre dicha asociación <sup>(10, 11, 15- 18, 22)</sup>.

#### *Neoplasias en adultos.*

De los estudios recientes practicados para analizar una probable relación entre la radiación de RF y la leucemia linfática crónica, muestran unos resultados confusos <sup>(23-27)</sup>. Mientras que las dos investigaciones practicadas en E.E.U.U. no evidencian dicha asociación <sup>(26,27)</sup>, otro estudio identifica una relación positiva causa-efecto sin que llegue a ser estadísticamente significativa <sup>(25)</sup>. Dos trabajos escandinavos señalan un riesgo elevado en uno o más de los grupos expuestos, con un incremento del riesgo concordante con el aumento en la exposición <sup>(23,24)</sup>. Cada uno de estos estudios tiene diferentes limitaciones, distintas a su vez en cuanto al diseño y el método de valoración de la exposición a las ondas RF. Considerándolos de forma global, sólo podemos decir que existe una evidencia débil

entre la asociación entre la leucemia linfática crónica y la exposición a campos electromagnéticos.

Otras neoplasias (tumores cerebrales, cáncer de mama, neoplasias testiculares, linfomas, mieloma múltiple, melanoma, linfoma no-Hodgkin, cáncer de tiroides), se han relacionado con la exposición ocupacional a la radiación de radiofrecuencia. Existe una débil asociación entre los dos primeros y la exposición a las ondas RF, pero la inconsistencia de los estudios realizados la convierten en inverosímil <sup>(28-32)</sup>.

Como posibles mecanismos implicados en la génesis del cáncer por exposición a ondas RF, destacan una reducción de los niveles de melatonina (hormona asociada al sueño) y una alteración del sistema inmune. Aunque existen discrepancias <sup>(33,36)</sup>, sí parece identificarse una pequeña evidencia de que la exposición a ondas RF altera los niveles de melatonina <sup>(33,36)</sup>.

No se ha observado ninguna relación con otro tipo de hormonas (testosterona, tiroideas o del estrés), ni con el sistema inmune <sup>(37,38)</sup>.

#### *Efectos no-cancerígenos en humanos.*

Los resultados sobre la relación entre diversas enfermedades y la exposición a radiación electromagnética son incongruentes <sup>(39-42)</sup>.

Existen investigaciones que señalan una asociación entre la exposición a ondas RF y el aborto espontáneo <sup>(40,41)</sup>, mientras que otras concluyen lo contrario <sup>(39,42)</sup>. En un estudio prospectivo cuidadosamente diseñado en E.E.U.U. no se demuestra evidencia entre la exposición a ondas RF y el crecimiento intrauterino, la edad gestacional, o el peso al nacer <sup>(43)</sup>. Otros estudios avalan una relación negativa entre la exposición y el bajo peso al nacimiento, el retardo de crecimiento intrauterino, los nacimientos pretérmino y las anomalías congénitas <sup>(44,45)</sup>.

Enfermedades de diferente indole (demencia de tipo Alzheimer, esclerosis lateral amiotrófica, suicidio y depresión, enfermedades cardiovasculares) han sido relacionadas con la exposición a ondas RF, sin que quede patente una clara asociación entre la exposición y el desarrollo de las mismas <sup>(46-50)</sup>.

También se han desarrollado estudios en humanos sobre los efectos probables en el sistema nervioso central y en el cardiovascular. Disminución del sueño, alteración en la eficiencia del sueño, así como cambios en la frecuencia cardíaca y en el número de latidos por minuto se han asociado a la exposición a ondas RF. El mecanismo biológico no es conocido y el efecto general es muy pequeño, siendo improbable que exista un riesgo para la salud, especialmente con bajas dosis <sup>(51-53)</sup>.

Se han descrito cambios en el humor y reacciones de hipersensibilidad asociadas a la radiación de radiofrecuencia <sup>(54-56)</sup>. Reacciones fisiológicas, alteraciones en el sueño, fatiga, dolores de cabeza, pérdida de concentración, mareo, cansancio visual y problemas en la piel. Todos los estudios practicados son negativos, ofreciendo sólo uno de ellos un resultado positivo entre la incidencia de erupciones cutáneas y la exposición a campos eléctricos con RF > 31V/m, en relación con los controles (RF<10V/m) <sup>(55)</sup>. Estos datos no son suficientes para demostrar una relación positiva entre ondas RF e hipersensibilidad.

#### *Neoplasias en animales.*

Pese a sus inconvenientes, los estudios carcinogénicos en animales nos sirven de modelo para valorar los probables agentes cancerígenos en humanos. La mayoría de ellos constan de mayor uniformidad en el diseño que los trabajos experimentales, utilizando además mayores tasas de exposición a ondas RF.

Numerosas investigaciones han sido desarrolladas en ratas y ratones mediante: la exposición a ondas o campos electromagnéticos sola <sup>(57)</sup> o previamente acompañada de la administración agentes químicos con capacidad cancerígena (7,12-dimetil-benza-

antracene-DMBA-) <sup>(58)</sup> , de Rayos X, o de inyección de células malignas, sin demostrar una asociación con el desarrollo o el crecimiento de tumores en animales.

Tampoco se ha evidenciado en animales un efecto iniciador o promotor de las ondas RF en la génesis del cáncer de mama <sup>(59)</sup>, neoplasias de piel <sup>(60)</sup>, leucemias, linfomas <sup>(61)</sup> o tumores cerebrales <sup>(62)</sup> .

#### *Efectos no cancerígenos en animales.*

Se ha investigado la exposición de la radiación de radiofrecuencia como probable generadora de alteraciones en el sistema inmune <sup>(63)</sup>, en la hematopoyesis <sup>(64)</sup>, en el sistema neurológico <sup>(65)</sup>, en el desarrollo del feto <sup>(66)</sup> , en la inducción de malformaciones fetales <sup>(66)</sup>, sin que se hayan demostrado reacciones o efectos adversos de las ondas RF <sup>(63-66)</sup> .

Asimismo los estudios que investigan una reducción de los niveles de melatonina en animales expuestos a ondas RF no son concluyentes. Mientras que existen investigaciones que señalan que la exposición continua a campos electromagnéticos reduce la secreción nocturna pineal y los niveles de melatonina en sangre <sup>(67)</sup>, otros no ofrecen estos resultados <sup>(68)</sup> .

#### *Efectos celulares de las ondas RF.*

De los estudios in vitro publicados en la literatura cabe destacar el de Lai y Singh <sup>(69)</sup> en el cual se exponía a ratas a microondas de 2450 MHz, demostrando daño celular en el DNA y una curva dosis- respuesta positiva. Sin embargo otros investigadores como Malyapa y cols. <sup>(70)</sup> y Meltz y cols. <sup>(71)</sup>, no han verificado ninguna interferencia con los mecanismos reparadores del DNA ni una curva dosis- respuesta positiva.

También se ha investigado si las ondas de RF producen daño cromosómico en células humanas aisladas directamente de la sangre, del líquido amniótico, o de cultivos de células linfocitarias humanas o de células con leucemia. Aunque un estudio señala

aberraciones cromosómicas en linfocitos humanos expuestos a campos magnéticos <sup>(72)</sup> , la mayoría de las investigaciones no identifican este efecto, incluso en las células sometidas a campos magnéticos de elevada potencia <sup>(73,74)</sup> .

### **Organismos reguladores.**

La comisión internacional de protección de las radiaciones no- ionizantes (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection- ICNIRP-), es una organización independiente fundada en 1992, que nos aporta información sobre los efectos en la salud de las radiaciones no- ionizantes. Mantiene una fuerte relación con las asociaciones internacionales y nacionales encargadas de la protección de la radiación no- ionizante.

Esta organización posee a su vez cuatro comités de expertos en los aspectos epidemiológicos, médicos, biológicos, físicos y fisiológicos de la radiación óptica.

Considerando sus conclusiones podemos señalar:

- 1) Que los resultados publicados de estudios epidemiológicos no poseen una evidencia científica certera que asegure un deterioro de la salud por el uso de ondas RF, ni tan siquiera que permitan restringir cuantitativamente la exposición a las mismas, ni en lo que respecta a los teléfonos móviles ni a las antenas ó estaciones base.
- 2) Que no existen datos de los estudios de laboratorio que constituyan una base para limitar la exposición a las ondas RF de teléfonos móviles o de estaciones base.
- 3) Para el personal que trabaja con teléfonos móviles esta organización recomienda una TAE en la cabeza limitada a 10W/kg (0.1W/10 gr).
- 4) Para el público general se recomienda una TAE limitada a 2W/kg<sup>-1</sup> (0.02W/10gr).
- 5) Que no hay evidencia científica para estos límites de exposición ni para niveles inferiores, que las ondas RF produzcan efectos nocivos en la salud, incluyendo la generación de neoplasias.

- 6) Se recomienda restringir la utilización de los teléfonos móviles en aquellas áreas con efectos de interferencia, como por ejemplo las unidades hospitalarias de cuidados intensivos ó lugares con material técnico de éstas características.

Otras comisiones y organismos como la Organización Mundial de la Salud (“World Health Organization-WHO-); el Consejo Nacional de Protección Radiológica (“National Radiation Protection Board”, - NRPB-UK); la Agencia Australiana de Protección Radiológica y de Seguridad Nuclear (“Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency”, - ARPANSA-) y el Instituto Nacional de las Ciencias de la Salud de E.E.U.U. (“National Institute of Environmental Health Sciences”-NIEHS-), ofrecen unos consejos similares a los anteriormente expuestos, concluyendo en sus informes en la necesidad de proseguir el desarrollo de estudios científicos que analicen el efecto sobre la salud de las ondas de radiofrecuencia, actualmente consideradas como agentes “posiblemente carcinogénicos”, por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (“International Agency for Research on Cancer”), señalando como aconsejable una reducción de la exposición a las ondas de radiofrecuencia.

### **Bibliografía**

1. The Australian Standard (AS/NZS). Radio frequency radiation Part I: Maximum exposure levels- 100kHz to 300 GHz). AS 1998; 2772.1.
2. The Australian Standard (AS/NZS). Siting of Radio communications Facilities: Part 2: Guidelines for Fixed, Mobile and Broadcasting Services Operating at Frequencies above 30 MHz. AS 1998; 3516.2.
3. The International Commission on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) Health Issues Related to the use of Hand- Held Radiotelephones and Base Station Transmitters. Health Physics, 1996; 70: 587- 593.
4. Carpenter D. O. Ayrapetyan S. (Editors). Biological Effects of Electric and Magnetic Fields- Beneficial and Harmful Effects Academic Press, California 1994, (page 19).
5. Portier CJ, Wolfe, eds. EMF Science Review Symposium Breakout Group Reports for Theoretical Mechanisms and In Vitro Research Findings. Research Triangle Park: National Institute of Environmental Health Sciences, 1997.
6. Portier CJ, Wolfe MS, eds. EMF Science Review Symposium Breakout Group Reports for Epidemiological Research Findings. San Antonio: National Institute of Environmental Health Sciences, 1998.

7. Portier CJ, Wolfe MS, eds. EMF Science Review Symposium Breakout Group. Reports for Clinical and In Vivo Laboratory Findings. NIH Publication No. 98- 4400. Research Triangle Park: National Institute of Environmental Health Sciences, 1998.
8. Portier CJ, Wolfe MS, eds. Assessment of Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields - NIEHS Working Group Report NIH Environmental Health Sciences. 1998.
9. Rotman KR. Causal interference in epidemiology. In: Modern Epidemiology. Boston: Little, Brown and Company, 1986; 7- 21.
10. Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. American Journal of Epidemiology 1979; 109: 273-284.
11. Savitz DA, Wachtel H, Barnes FA, John EM, Tvrdik JG. Case- control study of childhood cancer and exposure to 60- Hz magnetic fields. American Journal of Epidemiology 1988; 128: 21- 38.
12. London SJ, Thomas DC, Bowman JD, Sobel E, Cheng T- C, Peters JM. Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia. American Journal of Epidemiology 1991; 134: 923- 937.
13. Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, Robinson LL, Kaune WT, Friedman DR et al. Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. New England Journal of Medicine 1997; 337: 1 - 7.
14. McBride ML, Gallagher RP, Theriault G, Armstrong BG, Tamaro S, Spinelli JJ et al. Power- frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada. American Journal of Epidemiology 1999; 149: 831-842.
15. Feychting M, Ahlbom A. Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high- voltage power lines. American Journal of Epidemiology 1993; 138: 467- 481.
16. Olsen JH, Nielsen A, Schulgen G. Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children. British Medical Journal 1993; 307: 891- 895.
17. Verkasalo PK, Pukkala E, Hongisto MY, Valjus JE, Jarvinen PJ, Heikkila KV et al. Risk of cancer in Finnish children living close to power lines. British Medical Journal 1993; 307: 895-898.
18. Tynes T, Andersen A, Langmark F. Incidence of cancer in Norwegian workers potentially exposed to electromagnetic fields. American Journal of Epidemiology 1992; 136: 81- 88.
19. Wartenberg D, Dietrich F, Goldberg R, Poole C, Savitz D. A meta- analysis of studies of childhood cancer and residential exposure to magnetic fields PR- 702871. Research Triangle Park: Report for the National Institute of Environmental Health Sciences, 1998.
20. Gurney JG, Mueller BA, Davis S, Schwartz SM, Stevens RG, Kopecky KJ. Childhood brain tumor occurrence in relation to residential power line configuration, electric heating sources, and electric appliance use. American Journal of Epidemiology 1996; 143: 120- 128.
21. Preston- Martin S, Navidi W, Thomas D, Lee P- J, Bowman J, Pogoda J. Los Angeles study of residential magnetic fields and childhood brain tumors. American Journal of Epidemiology 1996; 143: 105- 119.
22. Tynes T, Haldorsen T. Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high- voltage power lines. American Journal of Epidemiology 1997; 145: 219- 226.
23. Feychting M, Forssen U, Floderus B. Occupational and residential magnetic field exposure and leukemia and central nervous system tumors. Epidemiology 1997; 8: 384-389.
24. Floderus B, Persson T, Stenlund C, Wennberg A, Ost A, Knave B. Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukemia and brain tumors: A case control study in Sweden. Cancer causes and control 1993; 4: 465- 476.

25. Thériault G, Goldberg M, Miller AB, Armstrong B, Guénel P, Deadman J et al. Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, Canada, and France: 1970-1989.
26. London SJ, Bowman JD, Sobel E, Thomas DC, Garabrant DH, Pearce N et al. Exposure to magnetic fields among electrical workers in relation to leukemia risk in Los Angeles County. *American Journal of Industrial Medicine* 1994; 26: 47-60.
27. Savitz DA, Loomis DP. Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers. *American Journal of Epidemiology* 1995; 141: 123-134.
28. Li C-Y, Thériault G, Lin RS. Residential exposure to 60-Hertz magnetic fields and adult cancers in Taiwan. *Epidemiology* 1997; 8: 25-30.
29. Vena JE, Graham S, Hellmann R, Swanson M, Brasure J. Use of electric blankets and risk of postmenopausal breast cancer. *American Journal of Epidemiology* 1991; 134: 180-185.
30. Gammon MD, Schoenberg JB, Britton JA, Kelsey JL, Stanford JL, Malone KE et al. Electric blanket use and breast cancer risk among younger women. *American Journal of Epidemiology* 1998; 148: 556-563.
31. Feychting M, Forssen U, Rutqvist LE, Ahlbom A. Magnetic fields and breast cancer in Swedish adults residing near high-voltage power lines. *Epidemiology* 1998; 9: 392-397.
32. Verkasalo PK, Pukkala E, Kaprio J, Heikkilä KV, Koskenvuo M. Magnetic fields of high voltage power lines and risk of cancer in Finnish adults: Nationwide cohort study. *British Medical Journal* 1996; 313: 1047-1051.
33. Burch JB, Reif JS, Yost MG, Keffe TJ, Pitrat CA. Nocturnal excretion of a urinary melatonin metabolite in electric utility workers. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* 1998; 24: 183-189.
34. Graham C, Cook MR, Riffle DW, Gerkovich MM, Cohen HD. Nocturnal melatonin levels in human volunteers exposed to intermittent 60 Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 1996; 17: 263-273.
35. Graham C, Cook MR, Riffle DW. Human melatonin during continuous magnetic field exposure. *Bioelectromagnetics* 1997; 18: 166-171.
36. Pfluger DH, Minder CE. Effects of exposure to 16.7 Hz magnetic fields on urinary 6-hydroxymelatonin sulfate excretion of Swiss railway workers. *Journal of Pineal Research* 1996; 21: 91-100.
37. Wilson BW, Wright CW, Morris JE, Buschbom RL, Brown DP, Miller DL et al. Evidence for an effect of ELF electromagnetic fields on human pineal gland function. *Journal of Pineal Research* 1990; 9: 259-269.
38. Selmaoui B, Bogdan A, Auzéby A, Lambrozo J, Touitou Y. Acute exposure to 50 Hz magnetic field does not affect hematologic or immunologic functions in healthy young men: A circadian study. *Bioelectromagnetics* 1996; 17: 364-372.
39. Schnorr TM, Grajewski BA, Hornung RW, Thun MJ, Egeland GM, Murray WE et al. Video display terminals and the risk of spontaneous abortion. *New England Journal of Medicine* 1991; 324: 727-733.
40. Lindbohm M-L, Hietanen M, Kyronen P, Sallmen M, Von Nandelstadh P, Taskinen H et al. Magnetic fields of video display terminals and spontaneous abortion. *American Journal of Epidemiology* 1992; 136: 1041-1051.
41. Juutilainen J, Matilainen P, Saarikoski S, Laara E, Suonio S. Early pregnancy loss and exposure to 50-Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 1993; 14: 229-236.
42. Belanger K, Leaderer B, Kellenbrand K, Holford T, McSharry JE, Power ME et al. Spontaneous abortion and exposure to electric blankets and heated water beds. *Epidemiology* 1998; 9: 36-42.

43. Bracken MB, Belanger K, Hellenbrand K, Dlugosz L, Holford TR, McSharry JE et al. Exposure to electromagnetic fields during pregnancy with emphasis on electrically heated beds: Association with birthweight and intrauterine growth retardation. *Epidemiology* 1995; 6: 263-270.
44. Tornqvist S. Paternal work in the power industry: Effects on children at delivery. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 1998; 40: 111-117.
45. Li D-K, Checkoway H, Mueller BA. Electric blanket use during pregnancy in relation to the risk of congenital urinary tract anomalies among women with an history of subfertility. *Epidemiology* 1995; 6: 485-489.
46. Savitz D, Loomis D, Chiu-Kit T. Electrical occupations and neurodegenerative disease: Analysis of U.S. mortality data. *Archives of Environmental Health* 1998; 53:1-5.
47. Johansen C, Olsen JH. Mortality from amyotrophic lateral sclerosis, other chronic disorders and electric shocks among utility workers. *American Journal of Epidemiology* 1998; 148: 362-368.
48. Savitz DA, Boyle CA, Holmgren P. Prevalence of depression among electrical workers. *American Journal of Industrial Medicine* 1994; 25: 165-176.
49. Baris D, Armstrong BG, Deadman J, Thériault G. A case cohort study of suicide in relation to exposure to electrical and magnetic fields among electrical utility workers. *Occupational and Environmental Medicine* 1996; 53: 17-24.
50. Savitz DA, Liao D, Sastre A, Kleckner RC. Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among electric utility workers. *American Journal of Epidemiology* 1999; 149: 135-142.
51. Akerstedt T, Arnetz B, Ficca G, Lars-Eric P. Low frequency electromagnetic fields suppress slow wave sleep. *Sleep Research* 1997; 26: 260.
52. Graham C, Cook MR. Human sleep in 60 Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics In Press* (1999).
53. Korpinen L, Partanen J, Uusitalo A. Influence of 50 Hz electric and magnetic fields on the human Heart. *Bioelectromagnetics* 1993; 14: 329-340.
54. Arnetz BB, Berg M, Arnetz J. Mental strain and physical symptoms among employees in modern offices. *Archives of Environmental Health* 1997; 52: 63-67.
55. Sandström M, Lyskov E, Berglund A, Medvedev S, Mild K. Neurophysiological effects of flickering light in patients with perceived electrical hypersensitivity. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 1997; 39: 15-22.
56. Swanbeck G, Bleeker T. Skin problems from visual display units. *Acta Dermatologica Venereologica* 1989; 69: 46-51.
57. NTP. Toxicology and Carcinogenesis Studies of 60-Hz Magnetic Fields in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (Whole Body Exposure Studies). Technical Report Series No. 488 NIH Publication No. 98-3978. Research Triangle Park: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Institutes of Health, National Toxicology Program, 1998.
58. Mevissen M, Haubler M, Lerchl A, Löscher W. Acceleration of mammary tumorigenesis by exposure of 7,12-dimethylbenz(a)anthracene-100-µt magnetic field: Replication study. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* 1998; 53: 401-418.
59. NTP. Studies of Magnetic Field Promotion in Sprague-Dawley Rats. Technical Report Series No. 489 NIH Publication No. 98-3979. Research Triangle Park: US Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Institute of Environmental Health Sciences, National Toxicology Program, 1998.

60. Sasser LB, Anderson LE, Morris JE, Miller DL, Walborg EF, Jr., Kavet R et al. Lack of co-promoting effect of a 60 Hz magnetic field on skin tumorigenesis in SENCAR mice. *Carcinogenesis* 1998; 19: 1617-1621.
61. Babbitt JT, Kharazi AI, Taylor JMG, Rafferty CN, Kovatch R, Bonds CB et al. Leukemia/lymphoma in mice exposed to 60-Hz magnetic fields: Results of the chronic exposure study TR-110338. Los Angeles: EPRI, 1998.
62. Kharazi AI, Babbitt JT, Boorman GA, Hahn TJ. Brain tumors in mice exposed to 60 Hz magnetic fields No.97-B: EPRI, UCLA, 1998.
63. House RV, Ratajczak HV, Gauger JR, Johnson TR, Thomas PT, McCormick DL. Immune function and host defense in rodents exposed to 60-Hz magnetic fields. *Fundamental Applied Toxicology* 1996; 34: 228-239.
64. Zecca L, Mantegazza C, Margonato V, Cerretelli R, Caniatti M, Piva R et al. Biological effects of prolonged exposure to ELF electromagnetic fields in rats: III. 50 Hz electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 1998; 19: 57-66.
65. Stern S, Laties VG. 60-Hz electric fields: Detection by female rats. *Bioelectromagnetics* 1985; 6: 99-103.
66. Ryan BM, Symanski RR, Pomeranz LE, Johnson TR, Gauger JR, McCormick DL. Multi-generation reproductive toxicity assessment of 60 Hz magnetic fields using a continuous breeding protocol in rats. *Teratology* 1999; 56: 159-162.
67. Selmaoui B, Touitou Y. Sinusoidal 50-Hz magnetic fields depress rat pineal NAT activity and serum melatonin. Role of duration and intensity of exposure. *Life Science* 1995; 57: 1351-1358.
68. John TM, Liu G-Y, Brown GM. 60 Hz magnetic field exposure and urinary 6-sulphatoxymelatonin levels in the rat. *Bioelectromagnetics* 1998; 19: 172-180.
69. Lai and Singh N. P. Acute Low- Intensity Microwave Exposure Increases DNA Single- Strand Breaks in Rat. *Brain Cells Bioelectromagnetics*. 1995: 148: 207- 210.
70. Malyapa R. S. Et al. Measurement of DNA Damage after Exposure to 2450 MHz Electromagnetic Radiation. *Radiation Research* 1997; 148: 608- 617.
71. Meltz M. L., Walker K. A., and Erwin D. N. Radio frequency (Microwave) Radiation Exposure of Mammalian Cells during UV- induced DNA Repair Synthesis *Radiation Research*. 1987; 110: 255- 266.
72. Khalil AM, Qassem W. Cytogenetic effects of pulsing electromagnetic field on human lymphocytes in vitro: chromosome aberrations, sister-chromatid exchanges and cell kinetics. *Mutation Research* 1991; 247: 141-146.
73. Scarfi MR, Lioi MB, Zeni O, Franceschetti G, Franceschi C, Bersani F. Lack of chromosomal aberration and micronucleus induction in human lymphocytes exposed to pulsed magnetic fields. *Mutation Research* 1994; 306: 129-133.
74. Paile W, Jokela K, Koivistoinen A, Salomaa S. Effects of 50 Hz sinusoidal magnetic fields and spark discharges on human lymphocytes in vitro. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 1995; 36: 15-22.

## **Campos Eléctricos y Magnéticos ELF: Efectos Biológicos y Posibles Mecanismos.\***

**Carl F. Blackman.**

Investigador de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 3413 Horton Street. Raleigh, NC 27607-3414. USA.

### **Resumen y Conclusiones**

Se evalúan los efectos biológicos de los campos eléctricos y magnéticos (CEM), dividiéndolos en cuatro secciones: Mecanismos Establecidos: Las corrientes eléctricas producidas en sistemas biológicos por los campos eléctricos (CE) y los campos magnéticos (CM) son un proceso establecido que provocan efectos biológicos. Estos mecanismos se dan generalmente a intensidades de campo que son altas en comparación con las encontradas en ambientes normales. También se admiten efectos a intensidades de campo más bajas, ya que se han identificado estructuras especializadas que responden a CE y a CM. Directrices de Exposición: El objetivo principal de las directrices es limitar las corrientes eléctricas en el cuerpo a niveles por debajo de los que provocan efectos adversos. Estudios de Laboratorio: Existen efectos a intensidades bajas que no pueden ser explicados por el flujo de corrientes inducidas en sistemas biológicos por los CEM. Diversos estudios han caracterizado los parámetros electromagnéticos críticos responsables de dichos efectos. Esos parámetros incluyen la frecuencia e intensidad del campo, y el CM estático, que puede influir directamente en la potencial efectividad de un rango de frecuencias dado. Los CM por sí mismos, independientemente de las corrientes eléctricas inducidas, provocan efectos en otros sistemas. Por último, los CEM pulsados, que consisten en combinaciones de diferentes ondas sinusoidales de varias frecuencias e intensidades,

---

\* Artículo original en Inglés. Traducción al Castellano realizada por Alejandro Úbeda. Las opiniones expresadas en este artículo pertenecen estrictamente al autor y no reflejan ninguna posición oficial de la US EPA.

pueden producir efectos en circunstancias biológicas en las que ondas sinusoidales puras no pueden hacerlo. Prácticas de Evaluación: Siguiendo la tradición del enfoque ingeniero, los estudios sobre efectos biológicos de los CEM son segregados en distintas bandas de frecuencias, un proceso que diluye el impacto de algunos grupos de estudios. Este enfoque otorga el control de la definición de riesgos a comités dominados por científicos de formación ingeniera / física, lo cual, según un estudio, ha conducido a conclusiones sesgadas. La prensa no científica ha concedido a los CEM una “patente de seguridad sanitaria absoluta” ignorando así trabajos que dan razones a favor de una continuidad en las discusiones y la investigación. Los ejemplos más recientes son los de los comités del US NIEHS y de la OMS IARC, que prácticamente no han recibido cobertura por parte de la prensa a pesar de la elevada talla científica de las instituciones emisoras de estos trabajos.

### INTRODUCCIÓN

Se emplearán descripciones simples de los campos eléctricos y magnéticos con el fin de proporcionar una base común para la comprensión de la información que sigue. Los campos eléctricos son provocados por cargas eléctricas tales como las que se experimentan en un día frío y seco después de caminar sobre una alfombra tupida y tocar el pomo metálico de una puerta, provocando el salto de una chispa entre nuestra mano y el pomo. Los campos eléctricos actúan sobre cargas eléctricas y hacen que las cargas positivas y negativas se atraigan entre sí, mientras que cargas de igual signo se repelen. Cuantas más cargas hay en una zona determinada, mayor es la interacción entre ellas. La intensidad de este campo eléctrico creado entre cargas se describe generalmente en términos de voltios por metro (V/m). Los campos magnéticos son provocados por cargas en movimiento, por ejemplo el campo magnético terrestre se supone creado por el movimiento de magma fundido que contiene partículas cargadas, debajo de la corteza terrestre. Las corrientes eléctricas en movimiento a través de un cable también crearán un campo magnético en las proximidades de aquel. Los campos magnéticos pueden también actuar sobre cargas en movimiento y sobre objetos magnetizados. Cuanto mayor es la corriente en el cable, mayor es el campo magnético generado. La intensidad de campo magnético viene dada generalmente en Gauss (G) o Tesla (T), donde  $10^4 \text{ G} = 1 \text{ T}$ .

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

Describiremos ahora algunos efectos causados por la electricidad que están bien caracterizados. La electricidad puede electrocutar a una persona si ésta toca simultáneamente una línea eléctrica activa y el suelo, formando un circuito conductor entre ambos objetos. El daño tiene lugar debido a que la corriente eléctrica pasa a través del cuerpo, calentando y destruyendo los tejidos. Las descargas eléctricas producidas por chispazos también constituyen una experiencia común. En clínica, las corrientes eléctricas han sido utilizadas con éxito en la iniciación de la soldadura de pseudoartrosis, o fracturas de huesos largos (brazos y piernas) que no habían curado por medios convencionales. Este descubrimiento representa un éxito médico importante dado que evita la amputación del miembro, que era la estrategia aplicada con anterioridad a casos de pseudoartrosis que no habían respondido el tratamiento en un período superior a dos años. Estas respuestas a la electricidad son aceptadas generalmente sin discusión. Lo que resulta más controvertido es la posibilidad de que la electricidad a intensidades mucho más bajas pueda causar un daño; la evidencia más robusta de posible daño viene de los estudios epidemiológicos.

El objetivo de este artículo es describir algunos estudios sobre mecanismos, que aportan información sobre los efectos de campos eléctricos y magnéticos (CEM) de baja intensidad. Estos estudios proporcionan una perspectiva desde la cual evaluar los potenciales beneficios y perjuicios de los CEM para el hombre. Para investigar este tema, el presente artículo se divide en cuatro secciones: mecanismos establecidos, directrices para exposiciones, resultados de laboratorio no explicables mediante los mecanismos establecidos, y estrategias usuales de evaluación.

## **MECANISMOS ESTABLECIDOS**

Los campos eléctricos son considerados generalmente como un agente efectivo capaz de causar cambios biológicos. También se acepta que los campos magnéticos, tanto estáticos como variables en el tiempo, provocan efectos. Por ejemplo, campos magnéticos de 1-10 mT (= 10-100 G) pueden provocar efecto Zeeman, es decir, orientación de

momentos magnéticos paralelos o antiparalelos con respecto al campo. Se ha mostrado que dicha orientación afecta los estados de spin del electrón en reacciones de transferencia de carga que dan lugar a cambios en las tasas de reacción y, por tanto, en las cantidades relativas de los productos químicos y bioquímicos de las reacciones. Los campos magnéticos variables pueden inducir campos eléctricos y corrientes en medios conductores. Así, se admite generalmente que tales campos pueden causar cambios en sistemas biológicos debido a corrientes inducidas. Finalmente, también está aceptado que pueden existir en los sistemas biológicos estructuras especializadas capaces de detectar y utilizar el campo magnético terrestre ( $0,05 \text{ mT} = 0,5 \text{ G}$ ) en estrategias de orientación observadas en peces elasmobranquios (tiburones, rayas), bacterias magnetotácticas, aves migratorias y abejas.

### **DIRECTRICES DE EXPOSICIÓN**

La respetada Conferencia Americana de Higienistas Gubernamentales e Industriales (ACGIH) ha emitido unas directrices para la exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos. Resulta instructivo enfocarse en la base que subyacente al establecimiento de los valores límite en los diferentes rangos de frecuencia de 0 a 30 kHz. Para los campos eléctricos, el objetivo de los valores establecidos por ACGIH es limitar las corrientes en la superficie del cuerpo y las corrientes inducidas en el interior, a niveles por debajo de aquellos que provocan efectos adversos. Para los campos magnéticos, el objetivo es limitar las corrientes inducidas a menos de  $10 \text{ mA /m}^2$ . Así, en ambos casos la idea consiste en limitar el flujo de corriente en el cuerpo; ninguna otra base fue considerada relevante. Razones similares, aunque menos evidentes, han sido presentadas por otras organizaciones reguladoras internacionales; todas las directrices se enfocan en el flujo de corrientes inducidas por los CEM y en el calentamiento como la base fundamental en el establecimiento de los límites.

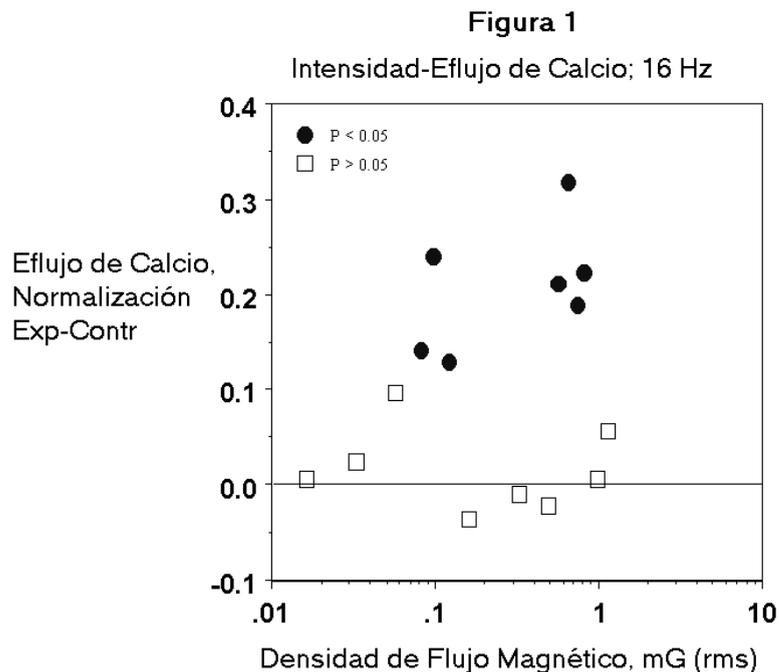
## ESTUDIOS DE LABORATORIO RELEVANTES

Existe una serie de estudios del laboratorio publicados que muestran evidencias de efectos a intensidades mucho más bajas que las establecidas en varias directrices, ampliamente difundidas, para prevenir efectos adversos. Muchos de estos estudios muestran cambios en procesos asociados con el control del crecimiento y la proliferación celular, causados por CEM. Estos procesos son también de interés para científicos que estudian las bases moleculares y celulares del cáncer. Se han descrito efectos de CEM en: inducción génica, cascadas de señalización transmembrana, comunicación por *gap junctions*, acción sobre el sistema inmunológico, tasas de transformación celular, y en el crecimiento celular en cáncer de mama. Aunque estos estudios tienen el control de crecimiento celular como tema común, los resultados se han observado bajo una variedad de condiciones de exposición a CEM que limitan la posibilidad de generalizaciones en tanto los parámetros críticos de exposición a CEM no hayan sido establecidos.

Puede resultar útil para la descripción de algunos parámetros críticos de exposición a CEM proporcionar una comparación general con agentes químicos, que pueden resultar más familiares para el lector con una formación en toxicología. A continuación se cita cada uno de los parámetros electromagnéticos seguido de la correspondiente característica química, de tipo o complejidad similar: 1) Intensidad - Concentración, 2) Frecuencia - Análogo Químico, 3) Campo Magnético Estático - Cofactor, 4) Componentes Eléctrico y Magnético - Isómeros Ópticos, y 5) Ondas Sinusoidales y Pulsadas - Agentes Químicos Individuales y Combinaciones de Agentes Químicos. En los siguientes párrafos se describen resultados experimentales que ilustran la influencia de cada parámetro de CEM. En cada caso demostraremos que es altamente improbable que los efectos sean debidos a flujos de corriente o calentamiento causados por los CEM.

Intensidad

Existen numerosos datos de efectos biológicos que muestran “ventanas” de intensidad, es decir, regiones de intensidad que provocan cambios, flanqueadas por intensidades superiores e inferiores que no muestran respuesta a la exposición. Un efecto evidente [Figura 1] son los cambios, inducidos por señales sinusoidales de 16 Hz, en el eflujo de calcio de tejido cerebral en tubo de ensayo, que muestra dos ventanas de intensidad, muy diferentes y claramente discernibles, flanqueadas por regiones de intensidad que no provocan efectos (Blackman et al., 1982). Existen otros estudios que han descrito ventanas múltiples de intensidad similares en el rango de las radiofrecuencias (Blackman et al., 1989;



Adaptado de Blackman et al. Rad Res. 92: 510-520, 1982.

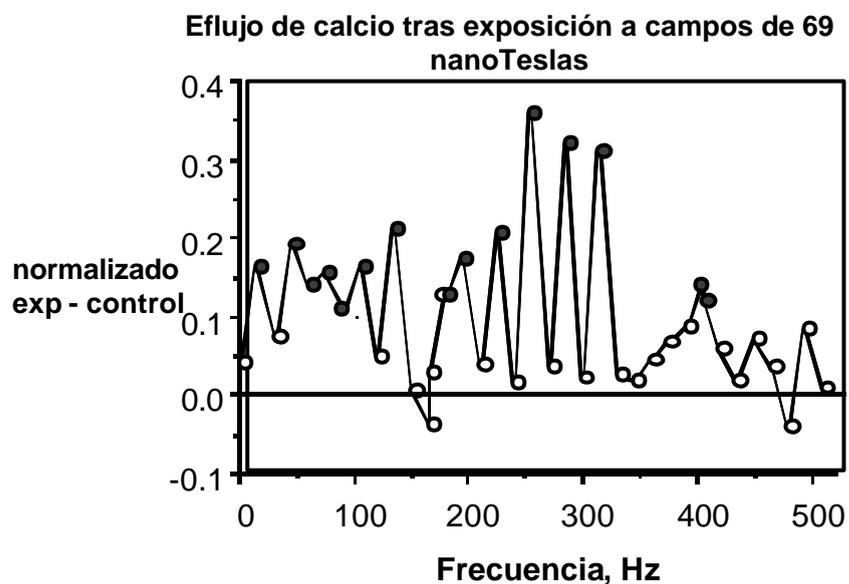
Dutta et al., 1989, 1992; Schwartz et al., 1990). Es necesario subrayar que los iones calcio son agentes secundarios de transducción de señal en muchas vías celulares. Los resultados descritos muestran que existen ventanas de intensidad, las cuales representan un fenómeno

“no lineal” (y no monotónico) infrecuente y no predicho, que ha sido ignorado a efectos de establecimiento de directrices.

### Frecuencia

Los fenómenos frecuencia-dependientes son comunes en la naturaleza. Por ejemplo, el oído humano sólo capta una porción del sonido ambiental, típicamente entre 20 y 20000 Hz, lo que constituye una ventana de frecuencia. Otra ventana de frecuencia biológica puede observarse en plantas de interiores. Dadas las condiciones normales de luz en interiores, las plantas pueden crecer, pero no florecer, a no ser que sean iluminadas mediante una lámpara con un espectro luminoso adecuado. Asimismo, existen ejemplos de

**Figura 2**



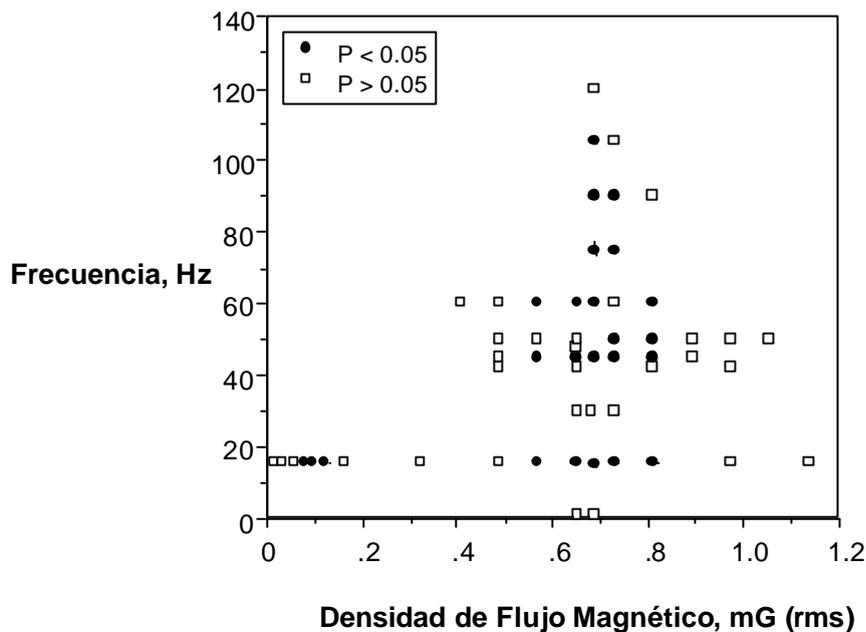
Adaptado de Blackman et al. Bioelectromagnetics 9:215, 1988

efectos biológicos causados por CEM que ocurren en una forma dependiente de frecuencia y que no pueden ser explicados por flujo de corriente o calentamiento. Los

ejemplos incluyen datos [Figura 2] sobre el eflujo de iones calcio en tejido cerebral expuesto a bajas frecuencias (Blackman et al., 1988a,b) y a altas frecuencias (Blackman et al., 1981; Joines y Blackman, 1981). También existen alteraciones dependientes de frecuencia en la acción estimuladora del crecimiento neurítico ejercida por el factor de crecimiento nervioso (NGF) sobre células nerviosas periféricas (PC-12) en cultivo (Blackman et al., 1995, 1999; Trillo et al., 1996).

El efecto combinado de frecuencia e intensidad es también conocido para los ejemplos del sonido y la luz, citados arriba. Excesos o defectos en intensidad o frecuencia provocan efectos no deseados o ausencia de efectos. Asimismo, en el trabajo con CEM de baja intensidad, se localizan "islas" de combinaciones efectivas de intensidad y frecuencia [Figura 3] rodeadas por un "mar" de efecto nulo (Blackman et al., 1988a). Aunque los mecanismos responsables de esos efectos no han sido establecidos, los efectos representan

**Figura 3**  
**Eflujo de Calcio - frecuencia / intensidad**



un fenómeno todavía desconocido que puede tener implicaciones en el establecimiento de directrices de exposición. A pesar de ello, el fenómeno no está siendo tenido en cuenta en el actual desarrollo de tales directrices.

### Campo Magnético Estático

El campo geomagnético en un lugar determinado presenta una intensidad relativamente constante en el tiempo. Sin embargo, el valor de la intensidad y la inclinación del campo con respecto al vector gravedad varían considerablemente de un lugar a otro de la superficie terrestre. Y desde un punto de vista más local, las citadas características del campo geomagnético pueden también variar en más de un 20% dentro de estructuras artificiales, particularmente en aquellas que poseen un armazón o una superficie metálica. Existen numerosos datos de efectos provocados por CEM que son dependientes de la intensidad del campo magnético estático (Blackman et al., 1985; Blackman 1992; Liboff, 1985, 1992) y de su orientación respecto de un campo magnético oscilatorio (Blackman et al., 1990; Blackman, 1994; Blackman et al., 1996). Un aspecto común en muchos de estos estudios es que la localización en la banda de frecuencia activa viene determinada por la intensidad del campo magnético estático. Ha habido numerosos intentos de explicar tal fenómeno, pero ninguno ha sido aceptado universalmente. Sin embargo, es evidente que si una respuesta biológica depende de la intensidad del campo magnético estático, e incluso de su orientación respecto de un campo oscilatorio, las condiciones necesarias para reproducir el fenómeno son muy específicas y bien pudieran no ser detectadas (Blackman y Most, 1993).

Es más, existen fenómenos experimentales que resultan inhibidos por tormentas magnéticas asociadas a erupciones solares causadas por la actividad del Sol. Un caso bien documentado fue descrito por Ossenkopp et al. (1983), quienes observaron que la analgesia inducida por morfina en ratones resultó inhibida en animales "expuestos" a una tormenta solar que tuvo lugar en el transcurso del experimento.

Los resultados anteriores demuestran que el campo geomagnético puede actuar como un cofactor en la respuesta a CEM variables en el tiempo.

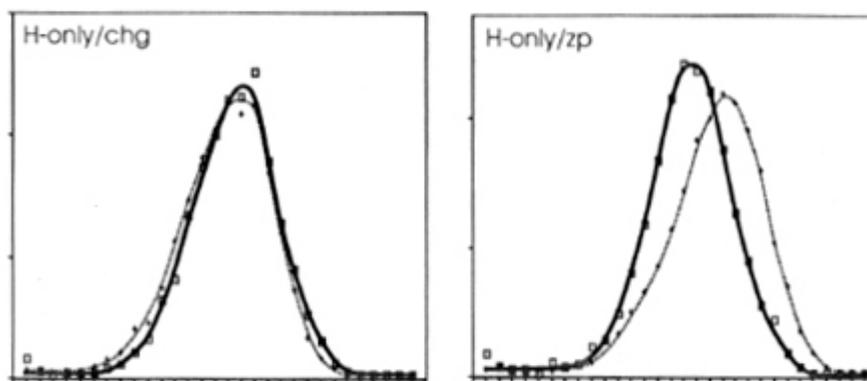
### Los Componentes Eléctrico y Magnético

Como regla general, en el desarrollo de la mayoría de los estándares para exposición se asume que sólo pueden darse efectos biológicos en respuesta a flujos de corriente causados directamente por el componente eléctrico de un CEM, o por la inducción de corriente provocada por el campo magnético oscilatorio. Existe un estudio que permite distinguir claramente las respuestas diferentes provocadas por el campo eléctrico y por el componente magnético. Marron et al. (1988) mostraron que la exposición a un campo eléctrico puede incrementar la densidad de carga negativa en la superficie de la ameba *Physarum polycephalum*, y que la exposición a un campo magnético genera cambios en la superficie del mismo organismo que reducen su carácter hidrófobo [Figura 4a,b]. Otros investigadores han empleado superficies de cultivo concéntricas de radios diferentes, sobre las que hicieron incidir campos magnéticos verticales, para determinar si el

**Figura 4a**  
**Exposición a Campo Magnético**  
**0.1 mT, 60 Hz, 24 h**

Adaptado de Marron et al., FEBS Ltrs 230:13, 1988

**Decenso en Hidrofobicidad**



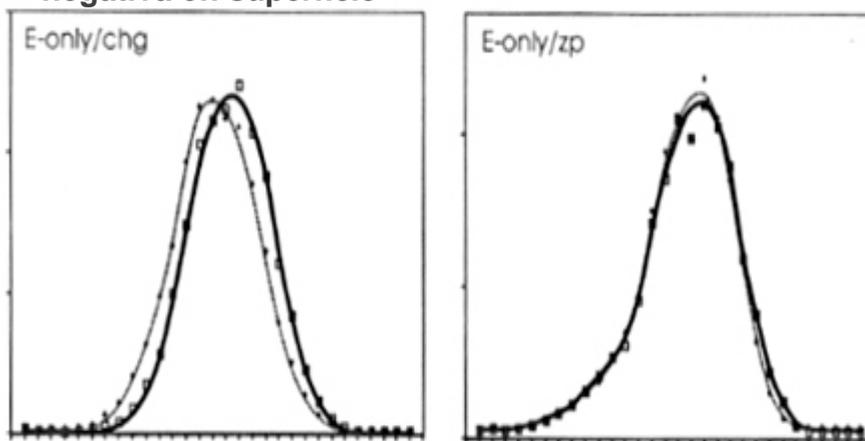
**Ameba, *Physarum polycephalum***

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

agente causante de la respuesta biológica era el componente magnético o el eléctrico inducido. Liburdy (1992), examinando el influjo de calcio en linfocitos, y Greene et al. (1991), registrando la actividad ornitina descarboxilasa en cultivos celulares, demostraron que el componente eléctrico inducido es el responsable de los resultados observados. Por el contrario, Blackman et al. (1993, 1993a) estudiando el crecimiento neurítico de dos clones diferentes de células PC-12 y empleando un mismo protocolo, encontró que el componente magnético era el agente crítico en sus experimentos. En consecuencia, tanto el componente eléctrico como el magnético se han revelado capaces de provocar cambios biológicos de forma directa. Los análisis para el establecimiento de los estándares actuales no han concedido suficiente relevancia a esta evidencia.

**Figura 4b**  
**Exposición a Campo Eléctrico**  
**1 V/m en solución, 60 Hz, 24 h**

Adaptado de Marron et al., FEBS Ltrs 230:13-16, 1988  
**Incremento de carga  
negativa en superficie**

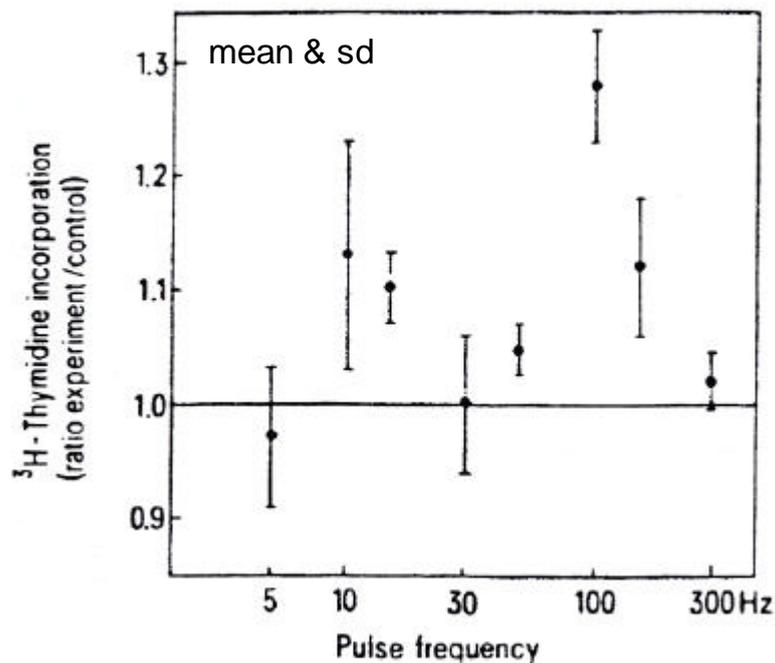


**Ameba, Physarum polycephalum**

Ondas Sinusoidales y Pulsadas

El espectro de frecuencias de las ondas pulsadas puede ser representado como una suma de ondas sinusoidales que, en la analogía química empleada arriba, representaría una combinación de agentes químicos, pudiendo cualquiera de ellos ser biológicamente activo. Entre las características importantes de las señales pulsadas capaces de influir en el número y propiedades de las ondas sinusoidales resultantes, cabe señalar las siguientes: 1) frecuencia, 2) anchura o duración del pulso, 3) intensidad, 4) tiempo de subida y caída del pulso y 5) la frecuencia, si existe, en el periodo ON del pulso. Citaremos tres experimentos ilustrativos. Chiabrera et al. (1979) mostraron que campos pulsados provocaban dediferenciación en eritrocitos de anfibios. Scarfi et al. (1997) encontraron incrementos en la formación de micronúcleos en linfocitos obtenidos de pacientes con síndrome de Turner (que poseen un único cromosoma sexual X). Sin embargo, no se observó el mismo efecto

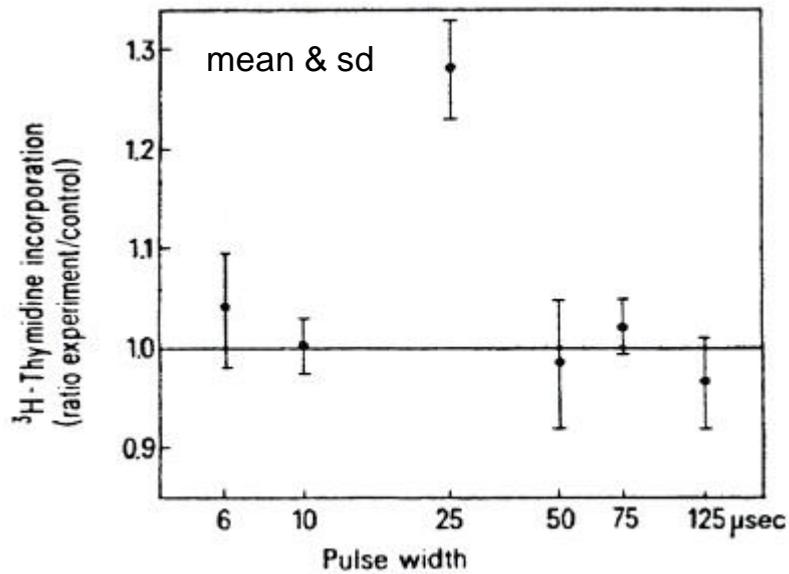
**Figura 5a**  
**Influencia de la Frecuencia**



Adaptado de Takahashi et al., *Experientia* 42: 185-6, 1986

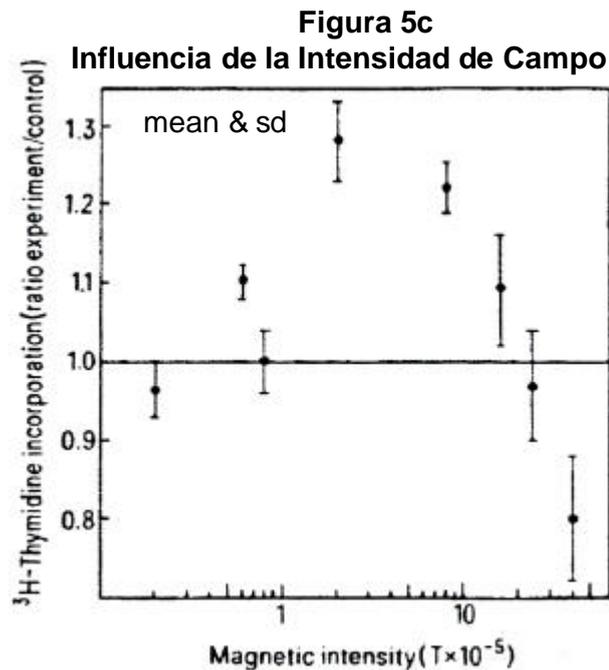
[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

**Figura 5b**  
**Influencia de la Anchura de Pulso**



Adaptado de Takahashi et al., *Experientia* 42: 185-6, 1986

bajo exposición a señales sinusoidales (Scarfi et al., 1996). Takahashi et al. (1986) estudiaron la incorporación de timidina en células de hámster chino e investigaron la influencia de la frecuencia de pulso (observaron dos ventanas de incremento), la duración de pulso (observaron una ventana de incremento) y la intensidad (dos ventanas de incremento seguidas de una reducción en la incorporación) [Figura 5a-c]. Úbeda et al. (1983) mostraron la influencia de diferentes tiempos de subida y caída de señales pulsadas en el desarrollo del embrión de pollo. Obviamente, las exposiciones a señales pulsadas representan un género completo de condiciones de exposición, con dificultades añadidas para la replicación independiente exacta de las exposiciones y de los resultados, pero con mayor probabilidad de obtención de efectos biológicos. Los actuales estándares han sido desarrollados sin tomar en consideración estas consecuencias adicionales en las respuestas biológicas.



Adaptado de Takahashi et al., *Experientia* 42: 185-6, 1986

#### Dos categorías adicionales de estudios de laboratorio.

Dos trabajos recientes han proporcionado la oportunidad de progresar en la comprensión de esta área del conocimiento. Chiabrera et al. (2000) desarrollaron un modelo teórico para efectos de los CEM basado en interacciones ión-proteína, que contempla la influencia de la energía térmica y del metabolismo. Con anterioridad a este trabajo, los teóricos habían venido asumiendo que los efectos biológicos no son posibles si la señal eléctrica es menor que la señal debida al ruido térmico; ello a pesar de que la evidencia experimental contradecía dicha asunción. En su trabajo, los autores muestran que la citada limitación no es absoluta, y que niveles diferentes de energía metabólica pueden influir en el nivel de respuesta paramétrica de los sistemas biológicos a CEM. El segundo trabajo, de Marino et al. (2000), presenta un nuevo enfoque analítico para el estudio de blancos en sistemas expuestos a CEM. Los autores indican que los CEM pueden no provocar cambios en

los valores medios de la respuesta del blanco sensible, sino más bien modificaciones en las varianzas de dichas respuestas. Estos investigadores aportan evidencia empleando blancos inmunológicos de ratones expuestos y de sus controles. Resulta evidente que todavía queda mucho por estudiar y explicar en la investigación sobre los efectos biológicos de los CEM.

### Conclusiones de los estudios de laboratorio

Las exposiciones a los CEM pueden ser descritas mediante un conjunto altamente complejo de parámetros muy similares a las exposiciones a agentes químicos. Esos parámetros incluyen el estatus del blanco biológico. Además, no hay que olvidar que las modificaciones inducidas por CEM en cultivos celulares y en preparaciones moleculares NO son demostrativas de riesgos para la salud. Sin embargo, los resultados ilustrados arriba indican que es necesario ser cauteloso y contar con información detallada cuando se evalúan escenarios de exposición, y que conviene identificar cuidadosamente el estado fisiológico de los sujetos o sistemas expuestos. Los citados resultados pueden ser utilizados en la identificación de escenarios de exposición para examinar estudios in vivo y para evaluar datos epidemiológicos.

La eliminación del flujo de corriente o el calentamiento como la base única de todos los efectos biológicos introduce incertidumbre en el valor de los actuales estándares de protección contra efectos nocivos de la exposición a CEM

## **PRÁCTICAS COMUNES EN EVALUACIÓN Y SU POSIBLE OPTIMIZACIÓN**

### Agrupación de datos para su análisis

Las evaluaciones de efectos biológicos y de las potenciales implicaciones sanitarias de la exposición a CEM han sido enfocadas bajo ángulos que son propios de la tradición de las ingenierías. Tal tradición, empleada en el presente por su utilidad sistemática, consiste en agrupar frecuencias en varios o bandas, con designaciones tales como ELF, VHF o RF. Las

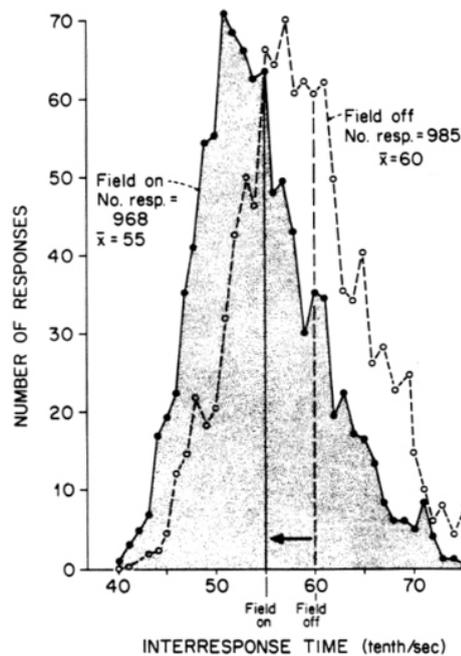
frecuencias incluidas en cada banda tienen generalmente límites en unidades logarítmicas o semilogarítmicas, por ejemplo, 30-300 Hz para la banda ELF. ¿Cuál es la consecuencia del uso de dicho convenio cuando se agrupan datos sobre efectos biológicos de CEM con objeto de evaluar riesgos para la salud? La respuesta es que esa estrategia conduce a la agrupación de los datos sobre una base de ingeniería. ¿Existe algún problema en ese enfoque? A partir de mi revisión de la literatura, opino que tal práctica reduce la evidencia obtenida de experimentos coordinados, efectuados a bandas de frecuencia que son segregadas mediante la aplicación de dicho enfoque. Ello, por lo tanto, diluye dramáticamente el impacto de los resultados de la ciencia básica, y con ello se reduce el peso de la evidencia en cualquier proceso de evaluación.

¿Existen enfoques alternativos que podrían mejorar la evaluación de riesgos? En determinados casos podría resultar útil desarrollar agrupaciones de datos sobre una base biológica, para el enfoque en determinados aspectos de las respuestas biológicas. Entre los ejemplos a considerar para agrupaciones biológicas cabe citar los siguientes: 1) características electromagnéticas, como las interdependencias entre frecuencia e intensidad, 2) cofactores comunes, como el campo geomagnético o la aplicación simultánea de agentes químicos que perturben al sistema biológico, 3) el estado fisiológico del espécimen, como la edad o la existencia de subgrupos sensibles. Con objeto de determinar si este enfoque es válido, se podrían combinar datos sobre efectos biológicos observados en la banda ELF (incluyendo las frecuencias sub-ELF) con efectos encontrados bajo exposiciones a señales RF de amplitud modulada (AM) a ELF. Se tendrían en cuenta, entonces, los siguientes datos: 1) cambios en el tiempo de respuesta humana bajo exposición ELF (Hamer, 1968), 2) tiempo de repuesta en primates no humanos [Figura 6] y cambios en el EEG bajo exposición a ELF (Gavalas et al., 1970; Gavalas-Medici & Day-Magdaleno, 1976), 3) cambios inducidos por campos ELF y RF AM en el EEG, en niveles de GABA y de iones calcio en cerebro de gato (Kaczmarek y Adey, 1973, 1974; Bawin et al. 1973), 4) modificaciones en niveles de ion calcio en tejido cerebral de aves tras exposición a campos ELF y RF AM (Bawin et al., 1975, 1976, 1978a,b; Sheppard et al., 1979; Joines y

Blackman, 1981; Blackman et al., 1979, 1980a, 1980b, 1981, 1982, 1985, 1988a, 1988b, 1989, 1990), y 5) cambios en niveles de calcio en cultivos de células de cerebro (Dutta et al., 1984, 1989, 1992) y en el corazón de la rana bajo exposición a RF AM (Schwartz et al., 1990). El estudio de dos trabajos teóricos es relevante en este caso: Thompson et al. (2000) describen una teoría de interacciones coherentes que predicen varias de las ventanas de intensidad observadas a RF AM, y Chiabrera et al. (2000) proporcionan un enfoque, que incluye el ruido térmico y el metabolismo biológico, para la interpretación de respuestas a exposiciones en el espectro que abarca desde los campos estáticos hasta las microondas.

**Figura 6**

### Cambios en el Tiempo de Respuesta en Primates Expuestos a Campos



Adaptado de  
Gavalas-Medici,  
Day-Magdaleno  
Nature  
261:256-259,  
1976

La potencial utilidad de aplicar la agrupación biológica en el ejemplo expuesto arriba, incluso empleando datos de RF AM, es que los resultados pueden resultar de importancia para contribuir al examen de algunos de los efectos descritos en respuesta a exposiciones a teléfonos celulares, que incluyen tipos de modulación RF más complejos. Esta es una sugerencia razonable dado que tres equipos han descrito recientemente respuestas humanas a emisiones de telefonía móvil que incluyen cambios en tiempos de reacción (Preece et al., 1998, 1999; Koivisto et al. 2000a, 2000b; Krause et al., 2000a, 2000b) o a potenciales de ondas cerebrales que pueden estar relacionados con cambios en el tiempo de reacción (Freude et al., 2000). Quizás los pasados 30 años de investigación puedan proporcionar datos relevantes para la gestión de riesgos y para futuros estudios.

### **EVALUACIÓN DE RIESGOS**

Los límites propuestos o existentes a la exposición a RF varían entre países en hasta 2 y tres órdenes de magnitud. ¿Por qué es así? En el desarrollo de algunos estándares, los comités no fueron capaces de ponerse de acuerdo acerca de los datos que ofrecían pruebas más allá de la duda razonable. Este enfoque es básicamente un estándar térmico; el horno de microondas ofrece una experiencia común para sustentar tal enfoque. Cuando los comités están compuestos de forma que incluyen una mayoría de individuos con experiencia en salud pública, frecuentemente se alcanzan conclusiones basadas en un equilibrio de probabilidades, es decir, un paquete de límites bajos debido a la existencia de datos que hacen sospechar de efectos sobre la salud sin constituir pruebas de una relación causa-efecto. Existen posiciones extremas adoptadas por el público en lo referente a ambos tipos de procedimientos para el establecimiento de estándares. Algunas personas no desean límites al desarrollo y comercialización de la tecnología, mientras otros se sienten preocupados ante la implantación de cualquier tipo de nueva tecnología. Es importante comprender el proceso de evaluación de riesgo llevado a cabo por los citados comités, así como las limitaciones de sus miembros y las presiones a que estos se ven sometidos. Slovic (1999) ha dicho "La evaluación de riesgos es inherentemente subjetiva y representa una

combinación de ciencia y juicio, con importantes factores psicológicos, sociales, culturales y políticos." El mismo autor describe después cómo se elaboran las conclusiones de los comités: "Quien controle la definición de *riesgo* controla la respuesta racional al problema. (...) La definición de *riesgo* es, por lo tanto, un ejercicio de poder." La elección de la composición de un comité puede resultar crítica en la determinación de sus conclusiones. Según Slovic, existen varios ejemplos de la influencia de la composición de los comités: "Las opiniones del público se ven influidas por opiniones generales, ideología y valores; lo mismo le ocurre a las opiniones de los científicos, sobre todos si éstos han de decidir en cuestiones que se encuentran en los límites de su experiencia o conocimiento." Por lo tanto, el público interesado debería evaluar cuidadosamente la composición de los miembros y los coordinadores de los comités, incluyendo las fuerzas y flaquezas de cada miembro, para determinar si los intereses del ciudadano estarán adecuadamente representados en el curso de las deliberaciones. Las reuniones de los comités que están abiertas al público y que permiten conocer los resultados de las votaciones, ayudan a establecer la confianza del público en el proceso. La necesidad de cumplir estos requisitos ha sido enfatizada por Havas (2000), cuando compara el informe bien ponderado del NIEHS Working Group (1998) con el sesgo prejuicioso que ella había detectado en el informe del NRC (1997).

Existen dos enfoques fundamentales en regulación. Uno de ellos sólo admite evidencia que esté más allá de la duda razonable. La limitación de este enfoque es que en el presente sólo asume el modelo térmico, es decir, los efectos que deben ser evitados o minimizados son aquellos que actúan a través de mecanismos térmicos. Si tal asunción fuera falsa, entonces los límites podrían ser inadecuados para la protección de la salud pública. El otro enfoque consiste en buscar un equilibrio entre las probabilidades de peligro y la imposición de límites a la industria. Sin embargo, para aplicar con eficacia este enfoque basado en la salud pública, es necesaria más información e investigación científica que permita garantizar la protección del público al tiempo que proporcione una vía para el progreso industrial. Con independencia del enfoque elegido, las deliberaciones durante la evaluación no deberían subvalorar el hecho de que las exposiciones a CEM constituyen

procesos complejos que se asemejan más a la acción de combinaciones de agentes químicos que a la acción aislada de uno de estos agentes.

#### La exposición en las comunicaciones

Las exposiciones a emisiones de la telefonía móvil tienen lugar en dos situaciones diferentes, que presentan diferentes características. Los teléfonos, especialmente si se aplican directamente al oído, exponen al cerebro a CEM de intensidades relativamente altas, aunque los periodos de exposición son intermitentes. Los efectos biológicos de las diversas modulaciones empleadas en las transmisiones de telefonía móvil no han sido estudiados en profundidad sobre sistemas sensibles, por ejemplo, sistemas que han mostrado respuestas a RF AM; por tanto, esta incertidumbre introduce otra incógnita. Las torres de telefonía móvil emiten a intensidades bajas, pero hasta cuatro o más compañías pueden transmitir simultáneamente desde una misma torre, y la exposición es continua. Si las operadoras de las torres fuesen forzadas a reducir la intensidad de sus transmisiones, sería necesario instalar más torres, y más micro- y picoantenas, a fin de que el uso de los teléfonos no se viera limitado. En un futuro próximo se desarrollarán nuevos servicios que emplearán torres de emisión y recepción de señales para la creación de un tejido de Internet sin cables. El equilibrio entre la utilidad y la preocupación relacionados con estos avances puede ser beneficioso para la educación pública y para el debate.

#### Evaluación de la exposición pública a campos ELF en los Estados Unidos.

En los EE.UU., el Instituto Nacional de Ciencias de la Salud Ambiental (NIEHS) evaluó los potenciales riesgos asociados con el uso de la energía eléctrica. Su enfoque puede servir como un modelo útil. En 1998 el Instituto reunió a un comité de científicos de distintos países para evaluar la literatura sobre la materia. La evaluación global (NIEHS, 1998) decía: "Una mayoría de los miembros del comité concluyó que la clasificación de los CEM ELF como un potencial carcinógeno (Grupo 2B) es una decisión conservadora, basada en la evidencia

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

limitada sobre un incremento en el riesgo de leucemias en niños con una exposición residencial y sobre un incremento en los casos de leucemia linfocítica crónica asociados con exposición ocupacional." El director del Instituto escribió en su informe al Congreso de los EE.UU. (NIEHS, 1999): "... dado que prácticamente todos los ciudadanos en los Estados Unidos hacen uso de la electricidad y por lo tanto están frecuentemente expuestos a CEM ELF, podemos garantizar que se aplicará una actuación reguladora pasiva, tal como el mantenimiento del énfasis en la educación, tanto del público como de las comunidades reguladoras, en estrategias dirigidas a reducir las exposiciones." Esta acción del NIEHS es coherente con la recomendación hecha con más de una década de anterioridad en un editorial de la revista Science (Abelson, 1989) que proponía "la adopción de la estrategia de 'evitación prudencial'. Es decir, la búsqueda sistemática de estrategias que puedan mantener al público alejado de los campos de 60 Hz ... Pero sólo convendría adoptar aquellas medidas que puedan constituir inversiones 'prudentes' dado su coste y nuestro presente nivel de entendimiento científico sobre posibles riesgos.

Evaluación de la exposición pública a campos ELF según IARC. (ver Addendum de los Editores)

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), que forma parte de la OMS, reunió recientemente a un grupo internacional de 21 expertos en efectos biológicos de CEM ELF para determinar si la exposición podría constituir un factor de riesgo en la etiología del cáncer. El grupo decidió por unanimidad clasificar los campos magnéticos ELF como un carcinógeno del tipo 2B; es decir, un posible carcinógeno para humanos. Esta decisión se basó en la asociación estadística entre altos niveles de exposición a campos magnéticos residenciales y un riesgo incrementado del desarrollo de leucemia en niños. El incremento en el riesgo era de aproximadamente el doble para exposiciones que superan los 0,4 microTeslas (IARC 2001). El grupo no pudo dar descripciones más precisas sobre los parámetros críticos de exposición debido a la falta de evidencia más completa.

*Agradecimientos:* Deseo dar las gracias a los coautores de los estudios realizados en mi laboratorio y citados en el presente texto, especialmente a los Drs. Joines, Trillo, Úbeda, y Wang, así como a Mr. House y Ms. Benane. También quiero agradecer a Alejandro Úbeda, que ha traducido al español mi texto en inglés, su colaboración en dicha labor.

## Bibliografía

- Abelson, P.H. Effects of electric and magnetic fields. *Science* 245: 241, 1989.
- Adey, W.R. Collective properties of cell membranes. In Norden B, Ramel C (eds): "Interaction Mechanisms of Low-Level Electromagnetic Fields in Living Systems." Oxford: Oxford University Press, pp 47-77, 1992.
- Bawin, S.M., Gavalas-Medici, R.J., Adey, W.R. Effects of modulated very high frequency fields on specific brain rhythms in cats. *Brain Res.*, 58: 365-384, 1973.
- Bawin, S.M., Kaczmarek, L.K., Adey, W.R. Effects of modulated VHF fields on the central nervous system. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 247:74-81, 1975.
- Bawin, S.M., Adey, W.R. Sensitivity of calcium binding in cerebral tissue to weak environmental electrical fields oscillating at low frequency. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 73:1999-2003, 1976.
- Bawin, S.M., Adey, W.R., Sabbot, I.M. Ionic factors in release of  $^{45}\text{Ca}^{2+}$  from chicken cerebral tissue by electromagnetic fields. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 75:6314-6318, 1978a.
- Bawin, S.M., Sheppard, A., Adey, W.R. Possible mechanism of weak electromagnetic field coupling in brain tissue. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 5:67-76, 1978b.
- Blackman, C.F., Elder, J.A., Weil, C.M., Benane, S.G., Eichinger, D.C., House, D.E. Induction of calcium-ion efflux from brain tissue by radio-frequency radiation: effects of modulation frequency and field strength. *Radio Sci.* 14(6S):93-98, 1979.
- Blackman, C.F., Benane, S.G., Elder, J.A., House, D.E., Lampe, J.A., Faulk, J.M. Induction of calcium-ion efflux from brain tissue by radiofrequency radiation: effect of sample number and modulation frequency on the power-density window. *Bioelectromagnetics* 1:35-43, 1980a.
- Blackman, C.F., Benane, S.G., Joines, W.T., Hollis, M.A., House, D.E. Calcium-ion efflux from brain tissue: Power-density vs internal field-intensity dependencies at 50-MHz RF radiation. *Bioelectromagnetics* 1:277-283, 1980b.
- Blackman, C.F., Joines, W.T., and Elder, J.A. Calcium-ion efflux in brain tissue by radiofrequency radiation. In Illinger KH (ed): "Biological Effects of Nonionizing Radiation," Symposium Series Proceedings Vol. 157. Washington, DC:American Chemical Society, pp. 299-314, 1981.
- Blackman, C.F., Benane, S.G., Kinney, L.S., Joines, W.T., and House, D.E. Effects of ELF fields on calcium-ion efflux from brain tissue in vitro. *Radiation Research* 92: 510-520, 1982.
- Blackman, C.F., Benane, S.G., Rabinowitz, J.R., House, D.E., and Joines, W.T. A role for the magnetic field in the radiation-induced efflux of calcium ions from brain tissue in vitro. *Bioelectromagnetics* 6(4): 327-337, 1985.

- Blackman, C.F., Benane, S.G., Elliott, D.J., Wood, A.R., House, D.E., and Pollock, M.M. Influence of electromagnetic fields on the efflux of calcium ions from brain tissue *in vitro*: Three models consistent with the frequency response up to 510 Hz. *Bioelectromagnetics* 9:215-227, 1988a.
- Blackman, C.F., House, D.E., Benane, S.G., Joines, W.T., and Spiegel, R.J. Effect of ambient levels of power-line-frequency electric fields on a developing vertebrate. *Bioelectromagnetics* 9(2):129-140, 1988b.
- Blackman, C.F., Kinney, L.S., House, D.E., and Joines, W.T. Multiple power-density windows and their possible origin. *Bioelectromagnetics* 10(2):115-128, 1989.
- Blackman, C.F., Benane, S.G., House, D.E., and Elliott, D.J. Importance of alignment between local geomagnetic field and an oscillating magnetic field in responses of brain tissue *in vitro* and *in vivo*. *Bioelectromagnetics*, 11:159-167, 1990.
- Blackman, C.F. Calcium release from neural tissue: experimental results and possible mechanisms. In Norden B, Ramel C (eds): "Interaction Mechanisms of Low-Level Electromagnetic Fields in Living Systems." Oxford: Oxford University Press, pp107-129, 1992.
- Blackman, C.F., and Most, B. A scheme for incorporating DC magnetic fields into epidemiological studies of EMF exposure. *Bioelectromagnetics*, 14:413-431, 1993.
- Blackman, C.F., Benane, S.G., House, D.E. and Pollock, M.M. Action of 50-Hz Magnetic Fields on Neurite Outgrowth in Pheochromocytoma Cells. *Bioelectromagnetics*, 14:273-286, 1993.
- Blackman, C.F., Benane, S.G., and House, D.E. Evidence for direct effect of magnetic fields on neurite outgrowth. *FASEB J.*, 7:801-806, 1993a.
- Blackman, C.F. Effect of electric and magnetic fields on the nervous system. In Isaacson, RL, Jensen, KF (eds): "The Vulnerable Brain and Environmental Risk, Volume 3, Toxins in Air and Water." Chapter 18. Plenum Press: New York, pp. 341-355, 1994.
- Blackman, C.F., Benane, S.G., and House, D.E. Frequency-dependent interference by magnetic fields of nerve-growth-factor-induced neurite outgrowth in PC-12 cells. *Bioelectromagnetics*, 16:387-395, 1995.
- Blackman, C.F., Blanchard, J.P., Benane, S.G., House, D.E. Effects of AC & DC magnetic field orientation on nerve cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 220: 807-811, 1996.
- Blackman, C.F., Blanchard, J.P., Benane, S.G., House, D.E. Experimental determination of hydrogen bandwidth for the ion parametric resonance model. *Bioelectromagnetics*, 20:5-12, 1999.
- Chiabrera, A., Bianco, B., Moggia, E., Kaufman, J.J. Zeeman-Stark modeling of the RF EMF interaction with ligand binding. *Bioelectromagnetics*. 21(4):312-24, 2000.
- Chiabrera, A., Hinsenkamp, M., Pilla, A.A., Ryaby, J., Ponta, D., Belmont, A., Beltrame, F., Grattarola, M., Nicolini, C. Cytofluorometry of electromagnetically controlled cell dedifferentiation. *J. Histochem. Cytochem.* 27: 375-381, 1979
- Dutta, S.K., Subramoniam, A., Ghosh, B., Parshad, R. Microwave radiation-induced calcium ion efflux from human neuroblastoma cells in culture. *Bioelectromagnetics* 5:71-78, 1984.
- Dutta, S.K., Ghosh, B., and Blackman, C.F. Radiofrequency radiation-induced calcium ion-efflux enhancement from human and other neuroblastoma cells in culture. *Bioelectromagnetics* 10(2):197-202, 1989.

- Dutta, S.K., Das, K., Ghosh, B., and Blackman, C.F. Dose dependence of acetylcholinesterase activity in neuroblastoma cells exposed to modulated radio-frequency electromagnetic radiation. *Bioelectromagnetics*, 13: 317-322, 1992.
- Freude, G, Ullsperger, P, Eggert, S, Ruppe, I. Effects of microwaves emitted by cellular phones on human slow brain potentials. *Bioelectromagnetics* 19(6): 384-387, 1998.
- Freude, G, Ullsperger, P, Eggert, S, Ruppe, I. Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials. *Eur. J Appl. Physiol.* 81(1-2): 18-27, 2000.
- Gavalas, R.J., Walter, D.O., Hamer, J., Adey, W.R. Effect of low-level, low-frequency electric fields on EEG and behavior in *Macaca Nemestrina*. *Brain Res.* 18: 491-501, 1970.
- Gavalas-Medici, R, Day-Magdaleno, S.R. Extremely low frequency weak electric fields affect schedule-controlled behavior of monkeys. *Nature* 261:256-258, 1976.
- Greene, J.J., Skowronski, W.J., Mullins, J.M., Nardone, R.M., Penafiel, M., Meister, R. Delineation of electric and magnetic field effects of extremely low frequency electromagnetic radiation on transcription. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 174:742-749, 1991.
- Hamer, J. Effects of low level, low frequency electric fields on human reaction times. *Commun. Behav. Biol.*, 2(5) part A: 217-222, 1968
- Havas, M. Biological effects of non-ionizing electromagnetic energy: a critical review of the reports by the US National Research Council and the US National Institute of Environmental Health Sciences as they relate to the broad realm of EMF bioeffects. *Environ. Rev.* 8:173-253, 2000.
- IARC, press release. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans "Static and Extremely Low Frequency Electric and Magnetic Fields," Vol. 80 (19-26 June 2001, in preparation)) [see <http://www.iarc.fr>, under "Press Releases"], June 2001.
- Joines, W.T. and Blackman, C.F. Equalizing the Electric Field Intensity Within Chick Brain Immersed in Buffer Solution at Different Carrier Frequencies. *Bioelectromagnetics* 2: 411-413, 1981.
- Kaczmarek, L.K., Adey, W.R. The efflux of  $^{45}\text{Ca}^{2+}$  and  $[^3\text{H}]\gamma$ -aminobutyric acid from cat cerebral cortex. *Brain Res.* 63: 331-342, 1973.
- Kaczmarek, L.K., Adey, W.R. Weak electric gradients change ionic and transmitter fluxes in cortex. *Brain Res.* 66: 537-540, 1974.
- Koivisto M, Revonsuo A, Krause C, Haarala C, Sillanmaki L, Laine M, Hamalainen H. Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport.* 11(2):413-415, 2000a.
- Koivisto M, Krause CM, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H. The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. *Neuroreport.* 11(8):1641-1643, 2000b.
- Krause CM, Sillanmaki L, Koivisto M, Haggqvist A, Saarela C, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H. Effects of electromagnetic fields emitted by cellular phones on the electroencephalogram during a visual working memory task. *Int. J Radiat. Biol.* 76(12):1659-1667, 2000a.
- Krause CM, Sillanmaki L, Koivisto M, Haggqvist A, Saarela C, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H. Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during a memory task. *Neuroreport.* 11(4):761-764, 2000b.
- Liboff, A.R. Cyclotron resonance in membrane transport. In Chiabrera, A, Nicolini, C, Schwan, HP (eds): "Interactions between Electromagnetic Fields and Cells." NATO ASI Series A97. New York: Plenum, pp 281-296, 1985.

- Liboff, A.R. The 'cyclotron resonance' hypothesis: experimental evidence and theoretical constraints. In Norden B, Ramel C (eds): "Interaction Mechanisms of Low-Level Electromagnetic Fields in Living Systems." Oxford: Oxford University Press, pp130-147, 1992.
- Liburdy, R.P. Calcium signaling in lymphocytes and ELF fields: Evidence for an electric field metric and a site of interaction involving the calcium ion channel. *FEBS Lett.* 301(1):53-59, 1992.
- Marino, A., Wolcott, R.M., Chervenak, R., Jourd'heuil, F., Nilsen, E., Frilot II, C. Nonlinear response of the immune system to power-frequency magnetic fields. *Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol* 279:R761-R768, 2000.
- Marron, M.T., Goodman, E.M., Sharpe, P.T., Greenebaum, B. Low frequency electric and magnetic fields have different effects on the cell surface. *FEBS Letters* 230:13-16, 1988.
- NIEHS Working Group Report, Assessment of health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields. NIH Pub No. 98-3981, page 402, 1998
- NIEHS Report on health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields. NIH Pub No. 99-4493, p. iii, 1999
- NRC. Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields. National Research Council (U.S.) Committee on the possible effects of electromagnetic fields on biologic systems. National Academy Press, Washington, D.C. 356 pp, 1997.
- Ossenkopp, K.-P., Kavaliers, M, Hirst, M. Reduced morphine analgesia in mice following a geomagnetic disturbance. *Neurosci. Lett.* 40: 321-325, 1983.
- Preece, A.W., Wesnes, K.A., Iwi, G.R. The effect of a 50 Hz magnetic field on cognitive function in humans. *Int J Radiat Biol.* 74 (4):463-70, 1998.
- Preece, A.W., Iwi, G., Davies-Smith, A., Wesnes, K., Butler, S, Lim, E., Varey, A. Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int J Radiat Biol.* 75(4):447-56, 1999.
- Scarfi, M.R., Prisco, F., Lioi, M.B., Zeni, O., Dela Noce, M., Di Petro, R. and Bersani, F. "50 Hz, 1 mT sinusoidal magnetic fields do not induce micronuclei in human lymphocytes," European Bioelectromagnetics Association 3rd International Congress, 29 Feb - 3 March, Nancy, France, 1996.
- Scarfi, M.R., Prisco, F., Lioi, M.B., Zeni, O., Della Noce, M., Di Pietro, R., Franceschi, C., Iafusco, D., Motta, M., Bersani, F. Cytogenetic effects induced by extremely low frequency pulsed magnetic fields in lymphocytes from Turner's syndrome subjects. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 43:221-226, 1997.
- Schwartz, J.-L., House, D.E., Mealing, G.A.R. Exposure of frog hearts to CW or amplitude-modulated VHF fields: selective efflux of calcium ions at 16 Hz. *Bioelectromagnetics* 11:349-358, 1990.
- Sheppard, A.R., Bawin, S.M., Adey, W.R. Models of long-range order in cerebral macromolecules: Effects of sub-ELF and of modulated VHF and UHF fields. *Radio Sci* 14(6S):141-145, 1979.
- Slovic, P. Trust, emotion, sex, politics, and science: surveying the risk-assessment battlefield. *Risk Anal.* 19(4):689-701, 1999.
- Takahashi, K., Kaneko, I., Date, M., Fukada, E. Effects of pulsing electromagnetic fields on DNA synthesis in mammalian cells in culture. *Experientia* 42:185-186, 1986.
- Thompson, C.J., Yang, Y.S., Anderson, V., Wood, A.W. A cooperative model for Ca(++) efflux windowing from cell membranes exposed to electromagnetic radiation. *Bioelectromagnetics.* 21(6):455-64, 2000.

Trillo, M.A., Ubeda, A., Blanchard, J.P., House, D.E., Blackman, C.F. Magnetic fields at resonant conditions for the hydrogen ion affect neurite outgrowth in PC-12 cells: a test of the ion parametric resonance model. *Bioelectromagnetics*, 17:10-20, 1996.

Ubeda, A., Leal J., Trillo, M.A., Jimenez, M.A., Delgado, J.M.R. Pulse shape of magnetic fields influences chick embryogenesis. *J Anat* 137:513-536, 1983.

## ADENDUM DE LOS EDITORES

### CLASIFICACIÓN IARC<sup>1</sup>

(Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, OMS)

CATEGORÍA	LA EVIDENCIA ES <sup>a</sup> ...	AGENTES Y EJEMPLOS
1: CANCERÍGENO	Suficiente <sup>b</sup> en humanos	87 agentes: Asbestos, benceno, dioxinas, radón...
2B: PROBABLE CANCERÍGENO	Limitada <sup>c</sup> en humanos y suficiente en animales	63 agentes: Formol, radiación ultravioleta (A, B y C)...
2B: POSIBLE CANCERÍGENO	Limitada <sup>c</sup> en humanos y menos que suficiente en animales	236 agentes: Cloroformo, café, <b>campos ELF</b> , plomo...
3: INCLASIFICABLE	Inadecuada <sup>d</sup> en humanos y limitada <sup>c</sup> o inadecuada <sup>d</sup> en animales	483 agentes. Luz fluorescente, sacarina, té, xileno, mercurio
4: PROBABLE NO-CANCERÍGENO	Indicativa de ausencia de efectos cancerígenos en humanos	1 agente: Caprolactam

<sup>a</sup> Más información en: <http://193.51.164.11/monoeval/>

<sup>b</sup> Suficiente: Se ha observado una relación positiva. El azar, sesgos o factores de confusión pueden ser descartados con un nivel razonable de certeza

<sup>c</sup> Limitada: Se ha observado una relación positiva, pero no pueden descartarse el azar, sesgos o factores de confusión.

<sup>d</sup> Los estudios disponibles son de calidad, consistencia o potencia estadística insuficientes, o no existen datos sobre carcinogénesis en humanos.

A partir de *MW News*, Vol. XXI, No.4, 2001 (con el permiso del autor)

<sup>1</sup> Nueva clasificación (27 de junio de 2001). Más información: [www.iarc.fr](http://www.iarc.fr).

## **Acciones de los Campos Electromagnéticos sobre las Células Vivas.**

**Javier García Sancho**

Instituto de Biología y Genética Molecular (IBGM). Universidad de Valladolid y Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Facultad de Medicina, 47005, Valladolid.

### **Resumen y Conclusiones**

Las posibles acciones de los campos electromagnéticos (CEM) sobre la salud han rebasado el ámbito médico para convertirse en noticias de prensa, con la consiguiente preocupación del público en general sobre los riesgos de vivir o trabajar cerca de equipos eléctricos. Actualmente no existe evidencia convincente de que la exposición a CEM débiles (<0,1 militeslas), a los que está expuesta la población en general, afecte las funciones biológicas. Aunque en algunos estudios se han propuesto efectos de los CEM, principalmente sobre la expresión génica, las vías de señalización intracelular y la proliferación y sobre el desarrollo embrionario, en la mayoría de los casos, los resultados no han podido confirmarse por otros grupos independientes. No existen tampoco modelos físicos teóricos que expliquen adecuadamente las interacciones de los CEM débiles (< 0,1 mT) con la materia viva. Los CEM fuertes (>400 mT) producen efectos tóxicos claros, y en estos casos la interacción puede explicarse por un mecanismo físico convincente. Los expertos en el tema recomiendan seguir investigando preferentemente en tres áreas: a) posible potenciación de la acción de los agentes genotóxicos conocidos por los CEM; b) posibles efectos en sistemas de señales intracelulares, especialmente  $Ca^{2+}$ ; c) posibles efectos en la expresión de genes específicos.

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

Las posibles acciones de los campos electromagnéticos (CEM) sobre la salud han rebasado el ámbito médico para convertirse en noticias de prensa, con la consiguiente preocupación general sobre los riesgos de vivir o trabajar cerca de equipos eléctricos, que son los principales responsables de este tipo de contaminación ambiental. La trascendencia del problema se acentúa por el hecho de que los CEM no se generan solamente en los montajes industriales, sino también en los electrodomésticos de uso personal, por lo que afectarían a un inmenso grupo de población. Sin embargo, la asociación entre CEM y cáncer u otras enfermedades está sustentada únicamente por estudios estadístico-epidemiológicos, con resultados contradictorios a veces, que han sido muy criticados (Savitz et al., 1988). Por un lado, es muy difícil estandarizar los casos estudiados (dosis recibida, orientación e intensidad de los campos, configuración, etc.). Por otro lado, el desconocimiento del mecanismo por el cual los CEM interactúan con las células vivas hace difícil no sólo interpretar los resultados obtenidos, sino adoptar medidas para evitar sus posibles efectos nocivos.

### **Tipos de radiación y su interacción con la materia**

La Fig. 1 muestra los distintos tipos de radiación a los que estamos sometidos, ordenados según su longitud de onda y frecuencia. Los CEM producidos por los equipos y aparatos eléctricos, cuya frecuencia es de 50 Hz debido a las características del suministro de corriente alterna, entran dentro del grupo marcado en la figura como EBF (de Extraordinariamente Baja Frecuencia). La interacción de las radiaciones con la materia está en función de la cantidad de energía que puede transferirse desde la una a la otra. Esta es tanto mayor cuanto menor es la longitud de onda de la radiación. Desde este punto de vista, la radiación gamma (producida por la radioactividad) y los rayos X tienen efectos mucho más contundentes que la luz (ultravioleta, visible e infrarroja), las microondas o las ondas de radiofrecuencia, y los CEM (MBF y EBF) ocupan el último lugar. En realidad, los seres vivos son prácticamente *transparentes* a los CEM y las interacciones son tan insignificantes que es difícil imaginar un efecto directo. Los efectos físicos principales son la orientación de

partículas con propiedades magnéticas, la generación de corrientes de inducción y modificaciones muy sutiles de las reacciones químicas. Podría ser, sin embargo, que éstas perturbaciones mínimas fueran amplificadas de algún modo por mecanismos biológicos, originando así alteraciones significativas.

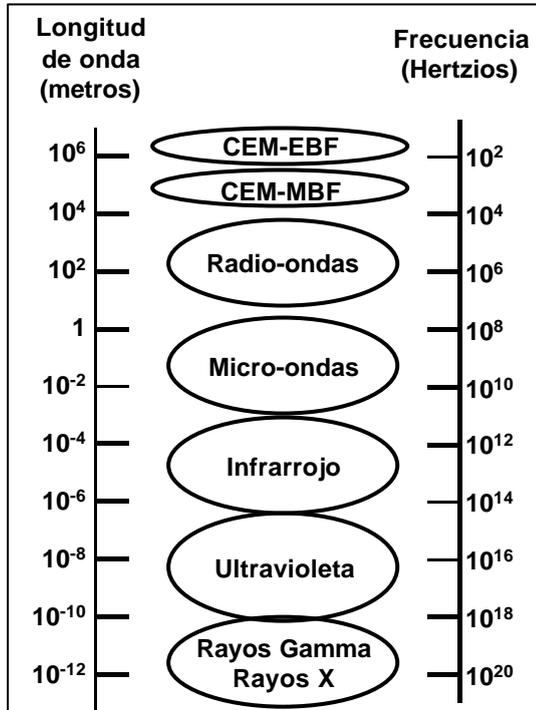
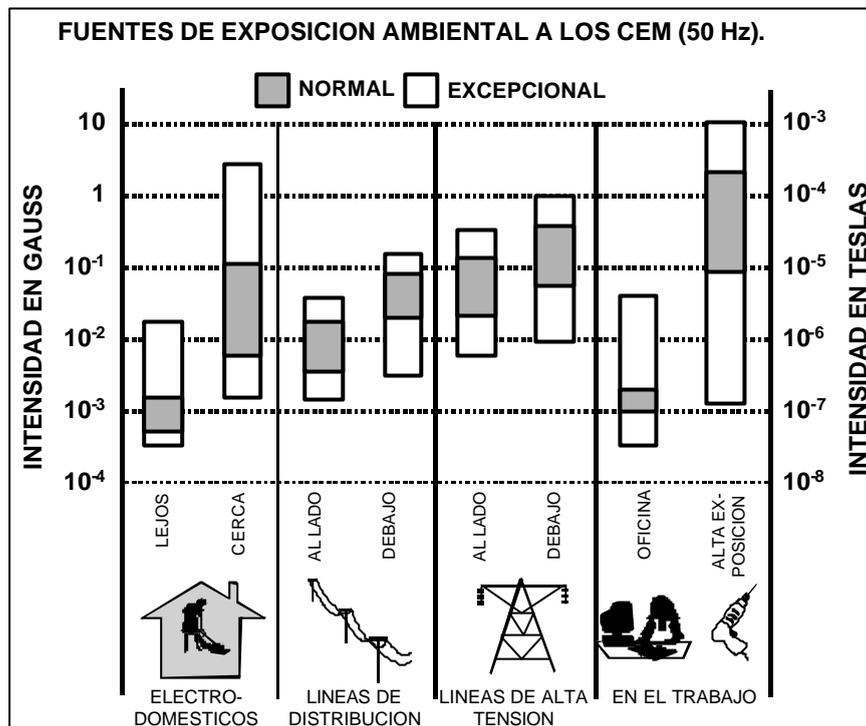


Fig. 1. Tipos de radiación, ordenados según su longitud de onda. CEM: Campos Electro-Magnéticos; EBF: Extraordinariamente Baja Frecuencia; MBF: Muy Baja Frecuencia.

Otro dato relevante es la intensidad de los CEM a los que estamos expuestos. Las fuentes principales de radiación electromagnética son las líneas de conducción eléctrica y los aparatos eléctricos, especialmente aquellos que contienen bobinas, como pueden ser los motores eléctricos. La exposición se atenúa con la distancia. En la Fig. 2 se resume la exposición estimada en distintas condiciones. En ambientes domésticos la exposición suele variar entre 0.1 y 100 microTeslas ( $\mu T$ ). En situaciones excepcionales, generalmente asociadas con trabajos especialmente expuestos, pueden alcanzarse valores 10 veces mayores. En

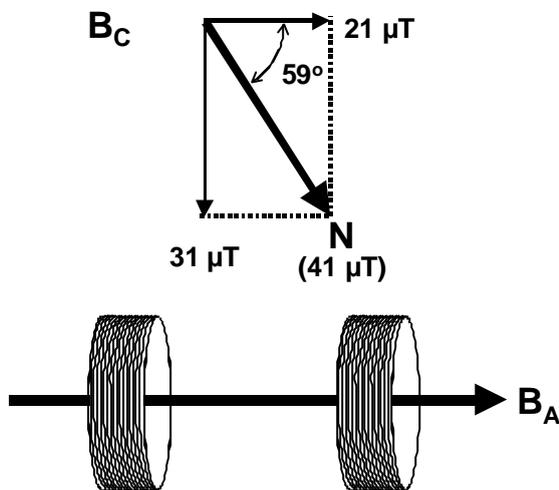
ciertas exploraciones médicas (resonancia magnética) pueden generarse exposiciones a campos de 1-5 T.



**Fig. 2. Exposición a los campos electromagnéticos en distintos ambientes.** Según datos de Leonard et al., *Electric and Magnetic Fields: Measurements and Possible Effects on Human Health*. Special Epidemiological Studies Program, California Department of Health Services, 1990

Los CEM producidos por los aparatos eléctricos son de tipo oscilante (AC; 50 Hz) debido a las características del suministro de la corriente eléctrica (alterna). Sin embargo, estamos sometidos constantemente a un campo electromagnético continuo de aproximadamente 50  $\mu$ T, el campo magnético generado por la masa de la tierra, dirigido hacia el polo Norte. La dirección del campo con respecto al observador varía, por tanto, según su localización geográfica. En la Fig. 3 se esquematiza la orientación e intensidad del campo geomagnético en Valladolid. De ésta figura puede deducirse también que, si el

observador pudiera determinar con precisión las características del campo magnético, podría deducir su posición en la tierra.



**Fig. 3. Orientación del campo magnético terrestre en Valladolid.** Se muestra el ángulo con el horizonte y las componentes horizontal y vertical, en microTeslas. Debajo, un CEM generado por dos bobinas de inducción ( $B_A$ ). La frecuencia de resonancia de ciclotrón ( $F_z$ ) para un determinado ion de carga  $q$  y masa  $m$  puede calcularse de la siguiente fórmula:  $F_z = (1/2) \cdot p \cdot (q/m) \cdot B_C$ .

Las bacterias *magnetotácticas* son capaces de desplazarse siguiendo las líneas de los campos electromagnéticos, que se detectan gracias a los cristales de magnetita que contienen. Algunos vertebrados son también capaces de sentir el campo electromagnético terrestre (magnetorecepción) y servirse de él para orientar su dirección de movimiento (brújula) y para determinar su posición con respecto al punto de destino (mapa). No se conocen los mecanismos fisiológicos responsables de esta modalidad sensorial. Se ha propuesto que algunos peces (trucha, salmón) y pájaros migratorios poseen también cristales de magnetita en sus receptores olfatorios y que, de alguna manera, transmiten información magnetoceptora al sistema nervioso central a través del nervio trigémino. En los peces elasmobranchios (tiburón, raya) se ha postulado que los campos electromagnéticos (CEM) podrían generar corrientes de inducción en un órgano sensorial especial, las ampollas de Lorenzini. Finalmente, se ha propuesto que en algunos pájaros migratorios los CEM pueden ser detectados por sutiles influencias sobre ciertas reacciones químicas que suceden en los fotorreceptores u otra parte del sistema visual. Estos tres mecanismos son, por el

momento, puramente hipotéticos, sin que exista evidencia experimental fuerte que favorezca ninguno de ellos (Lohmann & Johnsen, 2000).

¿Cómo interaccionan con el ser vivo los CEM generados por los aparatos eléctricos? Como se ha señalado antes, la interacción de los CEM con la materia viva es muy débil. En las células no existen, en general, partículas magnéticas (magnetita), por lo que este tipo de interacción no parece importante. A las intensidades de campo a las que está expuesta la población (<100  $\mu\text{T}$ ) las corrientes de inducción generadas en los organismos vivos son mínimas, en cualquier caso, mucho menores de las que genera el propio organismo, por lo que no parece que este mecanismo tenga relevancia. Lo mismo sucede con la modulación de las reacciones químicas, que son demasiado rápidas para sufrir efectos significativos (Tenforte, 1991). Se ha postulado, sin embargo, que los microambientes que se crean en el interior de las membranas celulares o en las zonas hidrofóbicas de ciertas proteínas (enzimas, transportadores) restringen la movilidad de las biomoléculas y reducen la velocidad de las reacciones químicas, haciéndolas más susceptibles a interaccionar con los CEM. Podrían así generarse modificaciones de la expresión génica, las reacciones metabólicas, los sistemas de señales intracelulares o la permeabilidad de las membranas biológicas, que, convenientemente amplificadas, podrían dar lugar a modificaciones de las funciones celulares (Tenforte, 1991). Se ha propuesto también que la combinación de un campo estático (el geomagnético) y uno alternante puede dar lugar a fenómenos de resonancia que influenciarían el paso de iones a través de las membranas y otros procesos biológicos (Libboff, 1985). Estas interacciones sucederían solamente a frecuencias bien definidas del CEM alternante (frecuencia de resonancia de ciclotrón) lo que determinaría que el efecto sólo se observará en ciertas *ventanas* de intensidad y frecuencia, y sería relevante también la orientación del campo oscilante con respecto al campo magnético terrestre (Fig. 3). Estos modelos teóricos son totalmente hipotéticos, no habiéndose comprobado experimentalmente su validez a las densidades de campo bajas (<0.1 mT), a las que puede estar expuesta la generalidad de la población.

A continuación se revisan los principales aspectos sobre los que se han centrado los estudios experimentales, que pueden agruparse en tres grandes apartados (Tabla 1): Genotoxicidad y expresión génica, señalización y proliferación y desarrollo y diferenciación.

<b>Genotoxicidad y expresión génica</b>	Genotoxicidad: Daño del ADN y efectos cromosómicos Mutaciones
	Transcripción: c-myc, c-fos, jun, PKC $\beta$ , Proteínas de stress
	Transformación celular
	Traducción y síntesis protéica
<b>Señalización intracelular y proliferación</b>	Homeostasis del Ca <sup>2+</sup> intracelular, flujos de Ca <sup>2+</sup>
	Señales mediadas por receptor AMP cíclico, PKC, NF- $\kappa$ B, AP-1
	Proliferación celular
	Síntesis y actividad de enzimas Na/K-ATPasa, Ornitina-decarboxilasa
<b>Desarrollo y diferenciación celular</b>	Apoptosis
	Desarrollo embriológico Viabilidad, Progresión del desarrollo, Malformaciones
	Síntesis de la matriz extracelular
	Marcadores de superficie
	Interacciones con la matriz extracelular: Adhesión, morfología y motilidad celular
Comunicación intercelular: Uniones tipo gap	

Datos tomados de: Portier & Wolfe, 1998; McCann et al., 1998; Brent, 1999; NRPB report, 2001;

### Genotoxicidad y expresión génica.

Se acepta que los CEM no pueden transferir a las células energía suficiente como para dañar el ADN, pero se ha propuesto que los daños podrían producirse por mecanismos indirectos (por ejemplo, formación de radicales libres). Se han estudiado los efectos sobre alteraciones cromosómicas y mecanismos de reparación del DNA en linfocitos humanos, cambios mutacionales en bacterias, levaduras, *Drosophila melanogaster* y líneas celulares de mamífero, expresión de oncogenes y protooncogenes (*c-myc*, *c-fos*, *jun*, ARNm de la proteína-quinasa C) y proteínas de stress (*hsp70*), transformación celular y efectos generales sobre la síntesis protéica (Portier & Wolfe, 1998; McCann et al., 1998; NRPB Report, 2001; Lacy-

Hulbert et al., 1998; Loberg et al., 2000; Balcerkubiczek et al., 2000). Si bien a dosis altas existen efectos genotóxicos indudables, para exposiciones de 100  $\mu\text{T}$  o menores no se encontraron efectos en la mayoría de los estudios. Por otra parte, al intentar replicar algunos de los estudios en los que se encontraron efectos positivos de los CEM, no se lograron reproducir los resultados o se descubrieron déficits metodológicos. Por ejemplo, McCann et al. (1998), tras una revisión exhaustiva de 94 trabajos originales, encuentra que solamente 44 satisfacen criterios básicos de calidad. De ellos, solamente en 10 se encontró algún efecto positivo, y en ninguno de ellos se satisfizo el requisito de reproductibilidad por otro grupo independiente. Por el contrario, los 34 trabajos restantes arrojaron resultados totalmente negativos, y en 25 de ellos se cumplió el requisito de reproductibilidad. El NRPB (2001) concluye que no existe evidencia de que la exposición a CEM (menores de 100  $\mu\text{T}$ ) sea genotóxica, aunque convendría continuar estudiando sus posibles efectos sobre la expresión de genes específicos y su papel como posibles coadyuvantes de los cambios causados por agentes genotóxicos conocidos. No hay tampoco evidencia de que los CEM produzcan transformación celular (NRBP, 2001). Los CEM de 0.2-400 mT pueden potenciar la tasa de mutación inducida por rayos X o rayos gamma, y a 400 mT inducen mutaciones *per se* (Portier & Wolfe, 1998), pero estas intensidades de campo son muy superiores a las que se encuentra sometida la población (Fig. 2).

### **Señalización intracelular y proliferación.**

La transducción de señales sucede en sistemas moleculares localizados en las membranas celulares y dentro de las células. Estas señales regulan procesos intracelulares tales como la actividad metabólica, la expresión génica, la diferenciación y la proliferación celular. Los procesos de transducción de señales son una diana plausible de los CEM y ha sido objeto de particular atención, ya que las membranas celulares presentan una barrera sustancial a los campos eléctricos y en ellas pueden darse interacciones especiales de los CEM con las biomoléculas (Tenforte, 1991; veasé más arriba). El proceso de transducción iniciado por las hormonas y otros mensajeros extracelulares no requiere su penetración en la

célula, sino la interacción con una proteína embebida en la membrana celular (el *receptor*), que a través de cambios conformacionales, pone en marcha cascadas que propagan y amplifican la señal y ponen en marcha procesos celulares específicos. La apertura y cierre de canales iónicos y el flujo de corriente resultante y las modificaciones de la actividad enzimática son dos de los mecanismos de señalización mejor conocidos.

El aumento de  $\text{Ca}^{2+}$  intracelular, producido por entrada de  $\text{Ca}^{2+}$  a través de canales de la membrana plasmática o liberación desde los depósitos intracelulares de calcio, es una señal que inicia muchas respuestas celulares. Por este motivo, se han realizado muchos estudios acerca de los efectos de los CEM sobre esta vía de señalización. Algunos grupos de investigación han propuesto que los CEM son capaces de producir una señal de  $\text{Ca}^{2+}$  en los linfocitos (Lindstrom et al., 1993; Lindstrom et al., 1995), lo que podría iniciar fenómenos de activación o proliferación celular. Sin embargo, muchos otros investigadores han encontrado resultados negativos (García-Sancho et al., 1994; Hojevnik et al., 1995; Lyle et al., 1997; Shahindain et al., 2001). En un estudio multicéntrico diseñado específicamente para comprobar los resultados positivos descritos previamente (Boorman et al., 2000) no se pudieron reproducir los efectos de los CEM sobre el  $\text{Ca}^{2+}$  intracelular (Wey et al., 2000).

Otra de las dianas en las que se han centrado varios estudios es la activación de tirosín-quinasas y proteín-quinasa C, muchas veces asociadas a la actividad de proto-oncogenes (por ejemplo, src). Las quinastas mencionadas activan otras enzimas celulares, poniendo en marcha cascadas de activación que amplifican la señal inicial y son responsables de la iniciación de muchas funciones celulares. Se ha comunicado que los CEM aumentan la actividad de la proteín-quinasa C por activación de la fosfolipasa C- $\gamma$ 2 y la tirosín-quinasa de Bruton en células preleucémicas (Uckun et al., 1995; Dibirdik et al., 1998; Kristupatais et al., 1998). Estas observaciones, sin embargo, no han podido ser corroboradas por otros autores (Miller & Furniss, 1998; Woods et al., 2000)

La proliferación celular es un proceso complejo en el que pueden intervenir muchos factores y vías de transducción. Aunque varios autores han encontrado un efecto estimulante de los CEM sobre la proliferación celular (Katsir et al., 1998; Lidbury et al., 1993), el

efecto es pequeño (10-20%) y es dudoso que tenga significado funcional (Portier & Wolfe, 1998).

La enzima ornitina-decarboxilasa (ODC) se activa durante la carcinogénesis por la acción de mitógenos y agentes promotores de tumores. Se ha propuesto que los CEM activan la ODC (Litovtitz et al., 1991; Mullins et al., 1999), pero estos resultados no han podido ser corroborados por otros investigadores (Balcerkubiczek et al., 1996; Cress et al., 1999; Boorman et al., 2000).

Las células poseen mecanismos de muerte celular programada (apoptosis) que pueden ponerse en marcha por acción de estímulos externos. La apoptosis es un mecanismo esencial para el desarrollo embriológico y para la auto-eliminación de células dañadas o inútiles. En muchos tipos de cáncer los mecanismos apoptóticos están alterados, lo que se ha puesto en relación con la capacidad invasiva de los tumores. Se han estudiado los efectos de los CEM sobre la apoptosis, pero los resultados son contradictorios (Reipert et al., 1997; Blumenthal et al., 1997; Simko et al., 1998).

### **Efectos reproductivos y teratológicos.**

Algunos de las primeras observaciones sobre posibles efectos nocivos de los CEM fueron precisamente alteraciones teratológicas (malformaciones) en el embrión de pollo. Sin embargo, estudios posteriores (unos 20 a intensidades de interés,  $< 100 \mu\text{T}$ ) han arrojado efectos contradictorios. En un estudio multicéntrico diseñado para resolver las discrepancias, en el que participaron 6 laboratorios de distintos países siguiendo el mismo protocolo experimental (campos pulsantes,  $1 \mu\text{T}$ , 48 h de exposición), ninguno de los 6 laboratorios encontró efectos en la viabilidad ni la progresión del desarrollo. Dos de los laboratorios encontraron un aumento de la incidencia de malformaciones y los otros cuatro no (Berman et al., 1990). En un estudio reciente (Pafkova et al., 1996) no se encontraron alteraciones de la embriogénesis en embriones de pollo (o rata) expuestos a CEM de 6-10  $\mu\text{T}$ .

En estudios recientes, realizados en mamíferos, no se han encontrado, en general, efectos significativos de los CEM ni en la viabilidad ni en la incidencia de malformaciones. Los animales estudiados incluyen vacas (2  $\mu$ T; Algers & Hultgren, 1987), ratones (4-200  $\mu$ T en más de 5000 ratones; Wiley et al., 1992) y ratas (2-1000  $\mu$ T en más de 2000 ratas; Ryan et al., 1996), y no se encontraron efectos en los parámetros reproductivos ni en la frecuencia de malformaciones. En una excelente revisión de más de 70 proyectos de investigación dedicados al tema, Brent (1999) concluye que *los resultados de los estudios fueron predominantemente negativos y no apoyan, por tanto, que los CEM (de intensidad <100  $\mu$ T) interfieran con la función reproductora o tengan efectos teratológicos.*

### **Efectos sobre la diferenciación y la síntesis de matriz extracelular.**

Los procesos de diferenciación, expresión de moléculas de superficie y secreción de componentes de la matriz extracelular están implicados en el desarrollo embriológico y en la transformación celular. Pueden ser desencadenados por la expresión de ciertos genes y/o la activación de vías de segundos mensajeros. Los efectos de los CEM sobre estos procesos se han revisado en apartados anteriores. En este apartado nos ceñiremos a aspectos relacionados con la formación de hueso y la organización del sistema nervioso. En estos tejidos tiene interés práctico el estudio de los efectos de los campos magnéticos en relación con su uso terapéutico para promover la consolidación de fracturas (Ryaby, 1998; Frederiks et al., 2000) o la estimulación magnética transcraneal para explorar lesiones del sistema nervioso (Cracco et al., 1999). En ambos casos las intensidades del campo son más altas que a las que está expuesta la población en general (2 mT-6T).

En los fibroblastos, campos pulsantes (4-20Hz) próximos a 6 mT estimulan la síntesis de colágeno y matriz extracelular (Christopher & Portier, 1998; Heermeier et al., 1998). En las células osteoblásticas la estimulación pulsante (30 Hz) con campos de 2-3 T promueve la síntesis de matriz extracelular y la diferenciación (Bodamyali et al., 1998; Lee&McLeod, 2000). Es posible que estos efectos sean debidos a la formación de un campo eléctrico inducido

(Christopher & Portier, 1998). Se ha propuesto que la comunicación intercelular a través de uniones tipo gap participa en el proceso (Vander-Molen et al., 2000), aunque no han podido documentarse efectos directos de los CEM sobre este tipo de uniones (Griffin et al., 1998). En las células PC12 (un modelo neuronal) se han comunicado efectos de los CEM, a veces contradictorios, sobre la expresión de moléculas de adhesión y el crecimiento de neuritas (Blackman et al., 1998; Griffin et al., 1998). También en este caso, el campo eléctrico inducido podría ser importante (Christopher & Portier, 1998) y el posible papel de las uniones tipo gap es controvertido (Ubeda et al., 1995; Griffin et al., 1998).

### Conclusiones

No hay evidencia convincente de que la exposición a CEM débiles (<0.1 mT), a los que está expuesta la población en general, afecte las funciones biológicas. Con frecuencia los resultados de los estudios positivos no han podido confirmarse por otros grupos independientes usando las mismas condiciones experimentales. No existen tampoco modelos físicos teóricos que expliquen adecuadamente las interacciones de los CEM de densidades menores de 0.1 mT con la materia viva. Existen efectos tóxicos claros, incluyendo daños del material genético, inducidos por los CEM fuertes (>400 mT). En estos casos la interacción puede explicarse por un mecanismo físico convincente. Hay evidencia moderada de que los CEM comprendidos entre estos rangos (0.1-400 mT) podrían tener efectos biológicos. El NRPB (NRPB, 2001) considera conveniente seguir investigando preferentemente en tres áreas: a) posible potenciación de la acción de los agentes genotóxicos conocidos por los CEM; b) posibles efectos en sistemas de señales intracelulares, especialmente  $Ca^{2+}$ ; c) posibles efectos en la expresión de genes específicos. En todos los casos se recomienda realizar validación de los resultados obtenidos por laboratorios independientes.

## Bibliografía

- Algers, B & Hultgren, J. (1987) Effects of long term exposure to a 400-kV 50-Hz power transmission line on estrous and fertility in cows. *Prev. Vet. Med.* **5**, 21-36
- Balcerkubiczek EK, Zhang XF, Harrison GH, McCready WA, Shi ZM & Han LH. (1996) Rodent cell transformation and immediate early gene expression following 60-Hz magnetic field exposure. *Environ. Health Perspect.* **104**, 1188-1198
- Balcerkubiczek E.K., Harrison G.H., Davis C.C., Haas M.L. & Koffman B.H. (2000) Expression analysis of human HL60 cells exposed to 60 Hz square- or sine-wave magnetic fields. *Radiat. Res.* **153**, 670-678
- Berman E, Chacón L, House D, Koch DA, Koch WE, et al. (1990) Development of chicken embryos in a pulsed magnetic field. *Bioelectromagnetics*, **11**, 169-187
- Blackman CF, Blanchard JP, Benane SG, House DE & Elder JA. (1998) Double blind test of magnetic field effects on neurite outgrowth. *Bioelectromagnetics* **19**, 204-209
- Blumenthal NC, Ricci J, Breger L, Zychlinsky A, Solomon H, Chen GG, et al. (1997) Effects of low-intensity AC and/or DC electromagnetic fields on cell attachment and induction of apoptosis. *Bioelectromagnetics* **18**, 264-269
- Bodamyali T, Bhatt B, Hughes FJ, Winrow VR, Kanczler JM, Simon B, Abbott J, Blake DR & Stevens CR. (1998) Pulsed electromagnetic fields simultaneously induce osteogenesis and upregulate transcription of bone morphogenetic proteins 2 and 4 in rat osteoblasts in vitro. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **250**, 458-461.
- Brent RL. (1999) Reproductive and teratologic effects of low-frequency electromagnetic fields: A review of in vivo and in vitro studies using animal models. *Teratology* **59**, 261-286
- Boorman GA, Owen RD, Lotz WG & Galvin MJ. (2000) Evaluation of in vitro effects of 50 and 60 Hz magnetic fields in regional EMF exposure facilities. *Radiat. Res.* **153**, 648-657
- Cress LW, Owen RD & Desta AB. (1999) Ornithine decarboxylase activity in L929 cells following exposure to 60 Hz magnetic fields. *Carcinogenesis* **20**, 1025-1030
- Cracco RQ, Cracco JB, Maccabee PJ & Amassian VE. (1999) Cerebral function revealed by transcranial magnetic stimulation. *J. Neurosci. Methods* **86**, 209-219.
- Dibirdik I, Kristupaitis D, Kurosaki T, Tuel-Ahlgren L, Chu A, Pond D, Tuong D, Luben R, & Uckun FM. (1998) Stimulation of Src family protein-tyrosine kinases as a proximal and mandatory step for SYK kinase-dependent phospholipase Cgamma2 activation in lymphoma B cells exposed to low energy electromagnetic fields. *J. Biol. Chem.* **273**, 4035-4039.
- Fredericks DC, Nepola JV, Baker JT, Abbott J, & Simon, B. (2000) Effects of pulsed electromagnetic fields on bone healing in a rabbit tibial osteotomy model. *J. Orthop. Trauma.* **14**, 93-100.
- García-Sancho J, Montero M, Alvarez J, Fonteriz RI & Sánchez A. (1994) Effects of extremely-low-frequency electromagnetic fields on ion transport in several mammalian cells. *Bioelectromagnetics* **15**, 579-588.
- Griffin GD, Khalaf W, Hayden KE, Miller EJ, Dowray VR, Creekmore AL, et al. (2000) Power frequency magnetic field exposure and gap junctional communication in Clone 9 cells. *Bioelectrochemistry* **51**, 117-123.

- Heermeier K, Spanner M, Trager J, Gradinger R, Strauss PG, Kraus W & Schmidt J. (1998) Effects of extremely low frequency electromagnetic field (EMF) on collagen type I mRNA expression and extracellular matrix synthesis of human osteoblastic cells. *Bioelectromagnetics*. **19**, 222-231.
- Hojevnik P, Sandblom J, Galt S & Hamnerius Y. (1995) Ca<sup>2+</sup> ion transport through patch-clamped cells exposed to magnetic fields. *Bioelectromagnetics* **16**, 33-40.
- Katsir G, Baram SC & Parola AH. (1998) Effect of sinusoidally varying magnetic fields on cell proliferation and adenosine deaminase specific activity. *Bioelectromagnetics* **19**, 46-52
- Kristupaitis D, Dibirdik I, Vassilev A, Mahajan S, Kurosaki T, Chu A, Tuel-Ahlgren L, Tuong D, Pond D, Luben R & Uckun FM. (1998) Electromagnetic field-induced stimulation of Bruton's tyrosine kinase. *J. Biol. Chem.* **273**, 12397-12401.
- Lacy-Hulbert A, Metcalfe JC & Hesketh R. (1998) Biological responses to electromagnetic fields. *FASEB J.* **12**, 395-420.
- Lee JH & McLeod K J. (2000) Morphologic responses of osteoblast-like cells in monolayer culture to ELF electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*. **21**, 129-136
- Libboff AR. (1985) Cyclotron resonance in membrane transport. In *Interactions between electromagnetic fields and cells*. A. Chiabrera, C. Nicolini & H.P. Schwan, eds. pp. 281-296. Plenum Publishing Co., New York.
- Lidbury RP, Sloma TR & Sokolic R. (1993) ELF magnetic field, breast cancer and melatonin: 60 Hz fields block melatonin's oncostatic action on ER+ breast cancer cell proliferation. *J. Pineal Res.* **14**, 89-97
- Lindstrom E, Lindstrom P, Berglund A, Mild KH & Lundgren E. (1993) Intracellular calcium oscillations in a T-cell line by a weak 50 Hz magnetic field. *J Cell Physiol.* **156**, 395-938
- Lindstrom E, Lindstrom P, Berglund A, Lundgren E & Mild KH. (1995) Intracellular calcium oscillations in a T-cell line after exposure to extremely-low-frequency magnetic fields with variable frequencies and flux densities. *Bioelectromagnetics* **16**, 41-47
- Litovitz TA, Krause D & Mullins JM. (1991) Effect of coherence time of the applied magnetic field on ornithine decarboxylase activity. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **178**, 862-865
- Loberg LI, Luther MJ, Gauger JR & McCormick DL. (2000) 60 Hz magnetic fields do not enhance cell killing by genotoxic chemicals in ataxia telangiectasia and normal lymphoblastoid cells. *Radiat.Res.* **153**, 685-689
- Lohmann KJ & Johnsen S. (2000) The neurobiology of magnetoreception in vertebrate animals. *Trends Neurosci.* **23**, 153-159
- Lyle DB, Fuchs TA, Casamento JP, Davis CC & Swicord ML. (1997) Intracellular calcium signaling by Jurkat T-lymphocytes exposed to a 60 Hz magnetic field. *Bioelectromagnetics* **18**, 439-445
- McCann J, Dietrich F & Rafferty C. (1998) The genotoxic potential of electric and magnetic fields: an update. *Mutat. Res.-Rev. Mutat. Res.* **411**, 45-86
- Miller SC & Furniss MJ. (1998) Bruton's tyrosine kinase activity and inositol 1,4,5-trisphosphate production are not altered in DT40 lymphoma B cells exposed to power line frequency magnetic fields. *J. Biol. Chem.* **273**, 32618-32626
- Mullins JM, Penafiel LM, Juutilainen J & Litovitz TA. (1999) Dose-response of electromagnetic field-enhanced ornithine decarboxylase activity. *Bioelectrochem. Bioenerg.* **48**, 193-199

- NRPB Report (2001) ELF electromagnetic fields and the risk of cancer. *Report of an advisory group on non-ionising radiation*. National Radiological Protection Board.
- Pafkova H, Jera'bek J, Tejnorov'a I & Bedna'r V. (1996) Developmental effects of magnetic field (50 Hz) in combination with ionizing radiation and chemical teratogens. *Toxicol. Lett.* **88**, 313-316
- Portier CJ & Wolfe MS (eds). (1998) Assessment of health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields. *Working group report. EMFRAPID Program*. US Department of Energy & NIEHS/NIH.
- Reipert BM, Allan D, Reipert S & Dexter TM. (1997) Apoptosis in haemopoietic progenitor cells exposed to extremely low-frequency magnetic fields. *Life Sci.* **61**, 1571-1582
- Ryaby JT. (1998) Clinical effects of electromagnetic and electric fields on fracture healing. *Clin. Orthop.* **355 (Supp)**, S205-S215
- Ryan BM, Mallet E Jr, Johnson TR, Gauger JR. & McCormick DL. (1996) Developmental toxicity study of 60 Hz (Power frequency) magnetic fields in rats. *Teratology* **54**, 73-83
- Savitz DA, Wachtel H, Barnes FA, John EM & Tvrdik JG. (1988) Case-control study of childhood cancer and exposure to 60-Hz magnetic fields. *Am. J. Epidemiol.* **128**, 21-38
- Shahidain R, Mullins RD & Siskin JE. (2001) Calcium spiking activity and baseline calcium levels in ROS 17/2.8 cells exposed to extremely low frequency electromagnetic fields (ELF EMF). *Int. J. Radiat. Biol.* **77**, 241-248
- Simko M, Kriehuber R, Weiss DG et al. (1998) Effect of 50 Hz EMF exposure on micronucleus formation and apoptosis in transformed and non-transformed human cell lines. *Bioelectromagnetics* **19**, 85-91.
- Tenforde TS. (1991) Biological interactions of extremely-low-frequency electric and magnetic fields. *Bioelectrochem. Bioeng.* **25**, 1-17
- Uckun FM, Kurosaki T, Jin J, Jun X, Morgan A & Takata M. (1995) Exposure of B-lineage lymphoid cells to low energy electromagnetic fields stimulates Lyn kinase. *J. Biol. Chem.* **270**, 27666-27670.
- Ubeda A, Trillo MA, House DE & Blackman CF. (1995) A 50 Hz magnetic field blocks melatonin-induced enhancement of junctional transfer in normal C3H/10T1/2 cells. *Carcinogenesis* **16**, 2945-2949.
- Vander-Molen MA, Donahue HJ, Rubin CT & McLeod KJ. (2000) Osteoblastic networks with deficient coupling: differential effects of magnetic and electric field exposure. *Bone* **27**, 227-231.
- Wey HE, Conover DP, Mathias P, Toraason M & Lotz WG. (2000) 50-hertz magnetic field and calcium transients in Jurkat cells: Results of a research and public information dissemination (RAPID) program study. *Environ. Health Perspect.* **108**, 135-140
- Wiley MJ, Corey P, Kavet R, Charry J, Agnew D, Harvey S & Walsh M. (1992) The effects of continuous exposure to pulsed 20 KHz saw-toothed magnetic fields on the titers of CD 1 mice. *Teratology* **46**, 391-398
- Woods M, Bobanovic F, Brown D & Alexander DR. (2000) Lyn and Syk tyrosine kinases are not activated in B-lineage lymphoid cells exposed to low-energy electromagnetic fields. *FASEB J.* **14**, 2284-2290.



## **La Aproximación Experimental para Determinar los Efectos Biológicos de los Campos Electromagnéticos: Estudios de Laboratorio.**

**Roberto Cabo y Juan Represa.**

Instituto de Biología y Genética Molecular (IBGM), Facultad de Medicina. Universidad Valladolid - C.S.I.C. 47005 Valladolid.

### **Resumen**

En la actualidad están en marcha numerosos estudios de laboratorio para determinar la naturaleza de los mecanismos físicos implicados en los efectos que los CEM pueden inducir en los seres vivos. En estos estudios se busca contestar a la pregunta de si vivir o trabajar en un ambiente conteniendo campos electromagnéticos puede ser peligroso para la salud. Hasta la fecha los efectos biológicos descritos en muchos de estos tipos de experimentos han proporcionado evidencias convincentes y concluyentes de que puedan producirse efectos biológicos después de exposiciones prolongadas a campos eléctricos y magnéticos de magnitudes de hasta 10 mT y 100 kW/m. Sin embargo, según los resultados de los experimentos, la exposición a campos de baja frecuencia, de intensidades habituales en el sector eléctrico y en el ámbito doméstico, no provoca alteraciones de la gestación ni defectos congénitos en los mamíferos.

### **INTRODUCCIÓN**

En las cuatro o cinco últimas décadas, las posibilidades que tienen tanto los seres humanos como los animales y las plantas de estar expuestos a campos eléctricos y magnéticos (en adelante CEM) han aumentado de forma espectacular. Por otra parte, las

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

dosis o niveles de exposición a este tipo de campos se han visto enormemente incrementados, en porcentajes que superan en más del diez mil por ciento a los CEM existentes en la naturaleza, como por ejemplo el campo magnético terrestre. Finalmente en estos años, los tipos de campos a los que estamos habitualmente expuestos han variado substancialmente, ampliándose el rango de frecuencias y adquiriendo una mayor importancia los CEM originados por algunos electrodomésticos o por las nuevas tecnologías de la telecomunicación.

En los años sesenta, varios estudios epidemiológicos centrados en los campos que generan las líneas de transporte eléctrico, sugieren una asociación entre la exposición a los CEM y una mayor probabilidad de padecer algunos tipos de cáncer. Igualmente la exposición a este tipo de campos parecía vincularse a otros efectos nocivos sobre la salud más generales, de tipo neurológico, psiquiátrico, inmunológico, cardiovascular y hematológico, así como también a ciertas alteraciones del desarrollo fetal. A partir de ese momento, los posibles efectos nocivos de los CEM han rebasado el ámbito estrictamente médico para convertirse en cuestiones de interés social y noticias en los medios de comunicación, con la consiguiente preocupación general sobre los riesgos de vivir o trabajar cerca de equipos eléctricos. La trascendencia del problema se acentúa por el hecho de que los CEM no se generan solamente en montajes eléctricos industriales, sino también en electrodomésticos de uso personal, en algunas exploraciones médicas y más recientemente por la telefonía móvil, de manera que la población potencialmente expuesta es muy numerosa.

El determinar experimentalmente los riesgos que suponen para la salud la exposición a los campos electromagnéticos se ha convertido en un problema con importantes implicaciones sanitarias, sociales económicas y por todo ello legales.

El objetivo común de los laboratorios de investigación que tratan de esclarecer los posibles efectos biológicos de los CEM, es determinar si la asociación que sugieren algunos estudios epidemiológicos entre CEM y ciertas enfermedades puede ser explicada y

sustentada experimentalmente, mediante estudios con modelos animales, tejidos y células expuestos de forma controlada a CEM de características bien definidas.

Actualmente existen evidencias experimentales muy diversas procedentes de un número significativo de laboratorios, que apoyan la tesis de que los CEM de frecuencias bajas y medias son capaces de inducir respuestas biológicas y producir efectos en los seres vivos. Muchas de estas respuestas biológicas observadas en animales expuestos a CEM involucran principalmente al sistema nervioso, hemático y endocrino. En esta revisión trataremos de sintetizar estos trabajos experimentales, así como sus resultados y conclusiones. Sin embargo, es preciso adelantar que aún no ha sido establecida experimentalmente una clara relación causa efecto entre exposición a CEM y las enfermedades sugeridas por los algunos estudios epidemiológicos, ello es debido en parte a que algunos de los estudios epidemiológicos son muy deficientes, pero en gran medida se debe también a que permanecen por resolver tres tipos de cuestiones fundamentales en toda investigación de laboratorio sobre los riesgos potenciales para la salud de cualquier agente físico: 1) Es poco lo que conocemos sobre los mecanismos celulares y moleculares que permitan explicar razonablemente los efectos biológicos observados y atribuidos a los CEM en animales de laboratorio. 2) No existe información experimental precisa que permita definir los parámetros físicos de una exposición a CEM capaz de provocar efectos biológicos. Igualmente es preciso establecer experimentalmente parámetros físicos tales como frecuencia, intensidad y duración de una exposición a CEM para que además de producir efectos biológicos resulte potencialmente peligrosa. 3) Pese a que han sido observados en animales de experimentación respuestas y efectos biológicos diversos asociados a exposiciones a CEM, la traducción de dichos efectos biológicos en consecuencias negativas para la salud humana no ha podido aún ser establecida. Dar respuesta a estas preguntas concentra muchos de los estudios de laboratorio que se realizan en la actualidad y que también trataremos de resumir.

## **¿QUÉ ES LO SE HA OBSERVADO EN LOS LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN, SOBRE LOS EFECTOS DE LOS CEM?**

En los últimos veinte años, programas de investigación en todo el mundo han realizado avances significativos para caracterizar las interacciones posibles de los CEM y los organismos vivos. 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 si los resultados sobre los CEM obtenidos en los laboratorios de investigación suceden con seguridad en la vida real o únicamente es probable que ocurran. 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. Sin embargo, en comparación a otras áreas de la investigación biofísica y médica el trabajo de laboratorio realizado en relación con la biología de los CEM y su importancia médica, dista mucho de ser todavía suficiente y concluyente en numerosos aspectos. Además prácticamente casi todos los estudios experimentales mencionados se centran en los CEM de muy baja frecuencia (50-60Hz) y en ellos los niveles de exposición varían en un rango desde 0.1 a 30 militeslas (mT) y desde 1-2 Voltios/metro hasta mas de 100 KV/m. Los datos experimentales sobre la biología de CEM de diferentes características físicas son mucho más escasos o incluso inexistentes.

### **1) DATOS EXPERIMENTALES SOBRE LOS CEM Y SU ACCION SOBRE EL SISTEMA NERVIOSO<sup>1</sup>**

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. Esta asociación frecuente de los CEM con el sistema nervioso resulta en principio un efecto biológico previsible, pero no se ha probado que necesariamente resulte nocivo, puesto que el sistema nervioso desempeña

---

<sup>1</sup> Véase también el artículo de P. Gil-Loyzaga en este libro (Nota del Editor).

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. Por el efecto de los CEM sobre el sistema nervioso, se ha pensado que otros sistemas biológicos pudieran igualmente verse también afectados de forma indirecta durante una exposición a CEM, a través de las conocidas relaciones funcionales neuro-endocrinas y así explicarse 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 y magnitud del campo, entre los que cabe destacar: cambios en el comportamiento y en las reacciones funcionales de todo o parte del organismo; cambios bioquímicos en células nerviosas; cambios en la conducción del impulso nervioso; variaciones e incluso alteraciones de los niveles de neurotransmisores y neurohormonas; e inclusive cambios en los biorritmos, que pueden llegar a causar la desorganización o desincronización en dichos ritmos biológicos.

#### **1a) Exposición a CEM y cambios en el comportamiento.**

Entre las medidas más sutiles de las perturbaciones en los sistemas biológicos de los seres vivos por un estímulo del entorno, se encuentran las pruebas que determinan modificaciones en el patrón de su comportamiento habitual. Distintos estudios sobre CEM y variaciones en el comportamiento realizados en varias especies muestran evidencias de la percepción de los CEM por algunos seres vivos, así como indicaciones de que el comportamiento puede variar con la exposición. El umbral de detección de CEM de baja frecuencia, en cuanto al campo eléctrico se refiere, ha sido descrito entre 4 y 10-kV/m en ratas (Stern, et al., 1983), mientras que el umbral de percepción de los CEM en otras especies animales, incluyendo ratones (Sander, et al., 1982), cerdos (Kaune, et al., 1978), y aves (Graves, et al., 1978), ha sido situado experimentalmente en el rango 25- a 35-kV/m. La percepción del campo magnético de los CEM no ha sido observada en el rango de

intensidades inferior a militeslas (Lovely, et al., 1992) y solamente en algún caso, la percepción visual CEM como microescotomas centelleantes ha podido ser demostrada mediante la exposición a CEM por encima de 20 mT en humanos (Barlow, et al. , 1947; Lovsund, et al. , 1980).

Las variaciones del comportamiento previsible y habitual en animales han sido investigadas para varias intensidades de CEM, observándose que con algunas excepciones, la mayoría de los animales generalmente evitan la exposición a CEM superiores a 50-75kV/m (Hjeresen, et al. , 1980). En niveles de CEM inferiores a esos, han sido también observadas ocasionalmente cambios de comportamiento consistentes en variaciones de la actividad y ejercicio físico, aunque estos cambios son normalmente transitorios, se producen mientras dura la exposición a CEM (Lovely, et al. , 1988). Los efectos de los CEM sobre el comportamiento detectados por algunas investigaciones curiosamente pusieron de relieve alteraciones en el comportamiento con campos de intensidades bajas, detectándose sobre todo cambios de actividad física del animal (ver Tenforde, 1986). Por el contrario, estudios realizados con CEM de intensidades más altas no mostraron ninguna evidencia de cambio del comportamiento animal entre los especímenes expuestos a CEM y los animales control.

#### **1b) Exposición a CEM y cambios en la Neuroquímica del sistema nervioso.**

Algunos estudios han investigado el efecto de los campos sobre el sistema nervioso central (SCN), centrándose en el análisis los posibles cambios en la bioquímica neuronal del cerebro, durante o después de distintas exposiciones a CEM con diferentes características. En general, estos estudios son poco demostrativos o concluyentes, aunque en unos pocos experimentos parece ponerse de manifiesto una relación entre la exposición a CEM y los valores elevados detectados en la medición de ciertos neurotransmisores (Anderson, 1990), pero siempre con unas oscilaciones dentro del rango fisiológico de posibles variaciones de estos neurotransmisores ante determinados estímulos. La información pues que aportan este tipo de estudios, son en su mayoría evidencias que se limitan a sugerir que el sistema nervioso

no permanece indiferente a la exposición a CEM, a partir de un rango de intensidad y de duración de las exposiciones, apareciendo entonces como efecto de los CEM cambios leves en el funcionamiento de parte de la neuroquímica del sistema nervioso. Finalmente es preciso puntualizar que el número de experimentos como los descritos no es suficientemente amplio, y existen ciertas dudas sobre la eficacia y validez de los métodos en algunos de estos estudios realizados. Experimentos más recientes y de mayor fiabilidad metodológica evidencian cambios no dramáticos pero sí significativos y de validez incuestionable, en el contenido y distribución del neurotransmisor Noradrenalina dentro de zonas específicas del cerebro de hamsters expuestos a CEM de 60-Hz (Wilson, et al., 1993). La relevancia que ello pueda tener en la fisiología y salud humanas no se conoce.

### **1c) Exposición a CEM y variaciones en la Neurofisiología del sistema nervioso.**

En el área de la neurofisiología se han publicado hasta la fecha un conjunto de estudios contradictorios y en algunos casos confusos, que afirman o niegan igualmente la existencia de este tipo de efectos biológicos por la exposición a CEM. Una práctica metodológica frecuente en este tipo de estudios es la medida de la actividad general del sistema nervioso central mediante el uso del electroencefalograma (EEG). Con este método algunos estudios demostraron importantes alteraciones en el patrón de EEG atribuidas a la exposición a CEM, mientras que en otros muchos estos hallazgos no se observaron (Anderson, 1990). Otro método empleado para estudiar la relación entre los CEM y los cambios en la Neurofisiología del sistema nervioso es el de los Potenciales Evocados (EFP). En la medición de estos EFP, o respuestas evocadas por los estímulos externos en diversas zonas del cerebro, sólo se encontraron efectos causados por la exposición a campos eléctricos, observándose cambios específicos en la medida de EFP únicamente en las áreas relacionadas con la visión (Jaffe, et al. , 1983). Posteriormente, han sido publicados resultados que muestran cómo en presencia de CEM se producen cambios en el EFP, localizados en áreas cerebrales responsables de la sensibilidad somatoestésicas (Wolpaw, et

al. , 1987). La importancia que los resultados obtenidos en los anteriores experimentos puedan tener en la fisiología y salud humanas no ha sido determinada.

#### **1d) Exposición a CEM y cambios en los Ritmos Biológicos.**

Un cierto número de investigaciones fueron enfocadas a examinar los efectos de los campos CEM sobre los ritmos biológicos naturales, es decir las variaciones que naturalmente experimenta 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 Melatonina es una hormona que se produce en la glándula pineal del cerebro, principalmente es durante la noche cuando los niveles de esta hormona aumentan mucho. Entre otras funciones la Melatonina regula la actividad sexual de los animales, algunos parámetros de conducta y ciertos procesos fisiológicos, como la liberación de otras hormonas. La luz visible, que es una zona del espectro electromagnético, modula la síntesis de Melatonina y por ello, bastantes laboratorios de investigación han abordado la cuestión de si otras zonas de ese espectro, como la de los CEM de 50Hz, 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 niveles bajos de Melatonina en algunos enfermos de cáncer.

Los primeros estudios experimentales con ratas y hámsters señalaron la posibilidad de que la exposición a campos electromagnéticos de 50Hz impidiera el aumento nocturno normal en la secreción de Melatonina. Así Wilson y colaboradores (1981) midieron los niveles cambiantes de enzimas en la glándula pineal de las ratas expuestas a CEM, detectando una reducción significativa del patrón normal nocturno de la melatonina y de las enzimas asociadas a su síntesis, en ratas expuestas a CEM desde 1.5 hasta 40kV/m. Más aún, otros estudios sobre el mismo tema han puesto de manifiesto 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 (Lerchl, et al., 1990; Kato, et al., 1993). Como contrapunto conviene mencionar que estudios posteriores, realizados con ovejas que vivían bajo una línea de 500 kV y sobre personas expuestas a campos electromagnéticos de diferentes intensidades, no han demostrado que se modifique la secreción de Melatonina, ni que se produzca efecto alguno ligado a ella.

Pese a que los estudios sobre Melatonina son mayoría en este apartado del efecto de los CEM sobre los bio-ritmos, otros estudios de laboratorio han abordado diferentes cuestiones, por ejemplo algunos trabajos han propuesto que la fase y duración de la actividad y del ritmo del metabolismo oxidativo, pueden ser parámetros que están alterados en ratones machos debido la exposición a CEM (Ehret, et al., 1980).

Es difícil interpretar las posibles consecuencias que pueden suponer para la salud los resultados de los trabajos sobre los CEM y los cambios en los bio-ritmos. No obstante, parece evidente que los CEM pueden alterar el reloj biológico en mamíferos. Es posible que tales cambios en los bio-ritmos puedan mediar en algunas de las alteraciones significativas en otros sistemas diferentes al sistema nervioso donde se han detectado efectos biológicos de los CEM distintos a los descritos hasta el momento, por ejemplo los efectos sobre la reproducción y desarrollo que describiremos mas adelante (Stevens, et al., 1992).

## **2) DATOS EXPERIMENTALES SOBRE LOS CEM Y SU ACCION SOBRE LA REPRODUCCIÓN Y EL DESARROLLO EMBRIONARIO Y FETAL.**

Una de las áreas más difíciles y complicadas en investigación sobre CEM es la de los efectos y riesgos para la reproducción y el desarrollo embrionario. Las razones para esta complejidad son las siguientes:

- a) Los fracasos reproductivos de diferentes tipos son comunes y afectan a una parte sustancial de la población, siendo su patrón variable.

- b) Los problemas reproductivos incluyen una amplia variedad de condiciones patológicas que pueden o no estar interrelacionadas.
- c) Las etiologías conocidas de tales problemas reproductivos incluyen factores tanto genéticos como ambientales. Además, dentro de los factores ambientales se incluyen multitud de agentes químicos, infecciosos y físicos así como procesos patológicos intrínsecos que pudieran haberse iniciado antes o durante el embarazo en mujeres y antes de la fertilización en hombres.

A pesar de todo, está generalmente asumido que los organismos durante el desarrollo embrionario, incluidos los mamíferos en fases prenatales y postnatales, son más sensibles que los animales adultos a los agentes físicos y químicos. Esta mayor sensibilidad se piensa que puede originar efectos sutiles en los procesos y en los mecanismos de regulación que guían las interacciones celulares del desarrollo embrionario y fetal.

La posible relación entre los CEM y las alteraciones del desarrollo embrionario puede decirse que tienen su apogeo en el gran interés generado por parte de los trabajos procedentes del laboratorio del Dr. Delgado, que describen importantes aumentos en el número de malformaciones de observados en embriones de pollo y rata que fueron expuestos a niveles relativamente bajos de CEM (Delgado, et al., 1982). Estos experimentos no han sido del todo repetidos y confirmados e investigaciones posteriores han coincidido sólo parcialmente con algunos resultados (Berman, et al., 1990). Por otro lado revisiones recientes no encuentran asociación entre estos dos factores (Brent, 1999).

Para poder valorar y predecir la posible importancia que los factores ambientales como los CEM tienen en el desarrollo del embrión, discutiremos brevemente los factores que influyen y pueden perturbar el proceso de reproducción y desarrollo embrionario.

La etiología de las malformaciones congénitas puede dividirse en tres amplias categorías: desconocidas, genéticas y debidas a factores ambientales. La causa de la mayoría de las malformaciones humanas, aproximadamente entre un 65 y un 75%, es desconocida.

Etiología de las malformaciones congénitas humanas observadas durante el primer año de vida

Causa probable	Porcentaje
Desconocida Poligénica Multifactorial (interacciones genes-ambiente) Errores espontáneos del desarrollo Sinergismo entre teratógenos	65 – 75
Genética Enfermedades genéticas autosómicas y ligadas al sexo Nuevas mutaciones Citogenéticas (anormalidades cromosómicas)	10 – 25
Ambiental Condiciones maternas: alcoholismo, diabetes, Endocrinopatías, fenilcetonuria, humo y nicotina, inanición, nutrición Agentes infecciosos: rubeola, toxoplasmosis, sífilis, herpes, mononucleosis, varicela, encefalitis equina venezolana, parvovirus B19 Problemas mecánicos (deformaciones): bandas amnióticas, cordón umbilical estenosado, Disparidad entre continente y contenido uterino Agentes químicos, fármacos prescritos, altas dosis de radiaciones ionizantes, hipertermia	10 4 3 1-2 <1

Pese a la dificultad que entraña la amplia etiología de las malformaciones congénitas, hay diversos aspectos importantes que nos ayudan a valorar los efectos que ciertos agentes ambientales tienen sobre el desarrollo embrionario: 1) *el estadio embrionario*, 2) *la dosis o magnitud de la exposición*, 3) *el concepto de umbral*, y 4) *las diferencias entre especies*. Otros factores como farmacocinética y metabolismo y transporte placentario no son tan importantes al evaluar el riesgo reproductivo de un agente físico externo tal como los CEM. Además, se sabe que más de 30 trastornos asociados a medicamentos están relacionados con el genotipo; según se ha observado en animales de experimentación, ciertos agentes físicos o químicos pueden ser más o menos teratógenos en función de la variabilidad genética del individuo, aunque esto no está comprobado en los seres humanos.

Por otra parte, el hecho de que halle alguna diferencia en cuanto a la susceptibilidad a CEM entre las distintas especies es todavía una cuestión a debatir, pero lo que sí es evidente es que la exposición real se modifica con el tamaño del organismo que está siendo expuesto.

Finalmente, los estados patológicos maternos pueden producir efectos deletéreos sobre el feto difíciles de aislar respecto a aquellos producidos por otras causas. Esto es especialmente relevante para condiciones crónicas tales como la diabetes.

De todo lo anterior puede deducirse fácilmente que establecer una relación clara entre la exposición a CEM y efectos nocivos sobre la reproducción y el desarrollo embrionario es un problema muy complejo.

**Bases en las que se asienta actualmente la investigación experimental sobre la posible relación entre CEM y alteraciones en la reproducción y el desarrollo embrionario.**

Un dogma básico para investigar las posibles malformaciones producidas por los CEM es el hecho de que los teratógenos comparten ciertas características en común y siguen ciertos principios que determinan los aspectos cualitativos y cuantitativos que producen tales malformaciones y alteraciones del desarrollo embrionario. Es un cuidadoso análisis y control de estos parámetros teratológicos los que sirven a las investigaciones en curso sobre el posible efecto de los CEM en el desarrollo embrionario y fetal.

Basándose en revisiones de la literatura, se proponen una serie de mecanismos teratogénicos teóricos cuya variación con y sin CEM debe ser investigada: 1) mutación; 2) aberraciones cromosómicas; 3) interferencia mitótica; 4) alteración de la síntesis y función de ácidos nucleicos; 5) falta de precursores, substratos, o coenzimas para la biosíntesis; 6) alteración de las fuentes de energía; 7) inhibición enzimática; 8) desequilibrio osmolar, alteraciones en la presión de los fluidos, viscosidad, y presión osmótica; y 9) alteración de las características de las membranas. Incluso aunque un agente pueda producir uno o más de estos procesos patológicos, la exposición a tal agente no garantiza que el mal desarrollo

ocurra. Además, es posible que una droga o un agente químico o físico pueda tener más de un efecto sobre la mujer embarazada o sobre el producto de la concepción en desarrollo por lo que la naturaleza del agente o los efectos bioquímicos y fisiológicos del mismo no pueden predecir la existencia o magnitud de las alteraciones en humanos.

El descubrimiento de teratógenos humanos procede principalmente de estudios epidemiológicos. Los estudios en animales e *in vitro* pueden ser de gran ayuda para determinar los mecanismos teratogénicos y la farmacocinética relacionada con dicha teratogénesis. Una lista de los posibles mecanismos incluiría: 1) muerte celular más allá de la capacidad de recuperación del embrión/feto; 2) retraso mitótico: incremento en la longitud del ciclo celular; 3) diferenciación retardada: enlentecimiento o cese en los procesos de diferenciación o migración celular; 4) constricción física e insuficiencia vascular; 5) interferencia con la histogénesis por procesos tales como agotamiento celular, necrosis, calcificación, o fibrosis; y 6) inhibición de la migración y de la comunicación celular.

Distintos estudios están actualmente en curso para determinar el efecto de los CEM sobre estos mecanismos críticos para el desarrollo embrionario. La mayoría de los estudios con animales no mamíferos se llevan a cabo en embriones de aves y con mayor frecuencia en pollos y en palomas. El resultado de estos estudios dista bastante de ser homogéneo. Así la exposición de pollos a CEM de diversas intensidades, antes y después de incubar, no produjo ningún efecto significativo sobre la viabilidad embrionaria, el desarrollo morfológico ni el crecimiento embrionario y fetal (Chernoff, et al., 1992). Por el contrario existen estudios que evidencian efectos nocivos de los CEM sobre el crecimiento embrionario y fetal de embriones de ave, así como sobre la supervivencia de mamíferos en fases prenatales. (Chernoff, et al., 1992; Rommereim, et al., 1990). Posteriormente otros estudios han sido realizados para examinar los efectos del componente magnético de los CEM en el crecimiento y el desarrollo embrionario. En el estudio más extenso hasta ahora publicado, no se han observado efectos en la reproducción ni en el desarrollo tras la exposición a CEM de 60-Hz (Rommereim, et al., 1996). Estos resultados coinciden con otro estudio realizado en Finlandia (Huuskonen, et al., 1993), que llegó a conclusiones similares.

En la actualidad la relación entre la exposición a CEM y alteraciones en el desarrollo embrionario es una cuestión no solamente abierta sino también completamente revisable a la luz del nuevo conocimiento que se tiene sobre los mecanismos celulares y moleculares que gobiernan la reproducción y el desarrollo embrionario.

### **3) DATOS EXPERIMENTALES SOBRE LOS CEM Y SU ACCION SOBRE EL SISTEMA INMUNOLOGICO.**

Como hipótesis para intentar explicar algunos de los efectos nocivos que ciertos estudios epidemiológicos atribuían a la exposición a CEM, se propuso que estos pudieran afectar al sistema inmunitario. Esto condujo a la realización de ciertos trabajos experimentales

La exposición de animales al componente del campo eléctrico de los CEM al parecer no afecta al sistema inmunológico. En una investigación exhaustiva del sistema inmunológico, no se observaron consecuencias en ratas y ratones expuestos a un campo de baja intensidad (150-250V/m) (Morris y Phillips, 1982). Por el contrario, contrastando con la falta aparente de influencia del campo eléctrico sobre el sistema inmunológico "in vivo", el campo magnético de los CEM muestra una influencia muy significativa en las respuestas del sistema inmunitario "in vitro", sobre todo en relación con la proliferación de algunos tipos de células del sistema inmunitario y con su capacidad de respuesta antigénica (Conti, et al., 1983). Más recientemente se han llevado a cabo otros trabajos para calcular la influencia de los CEM en su conjunto sobre distintos aspectos de las funciones celulares del sistema inmune (Walleczek, 1992) y en la actualidad varios laboratorios trabajan en este área. Sin embargo, hasta el momento presente el número de trabajos realizados y sus características no son suficientes para ser concluyentes sobre los efectos experimentales de los CEM sobre el sistema inmune y menos aún para poder confirmar algún tipo de efecto nocivo para la salud humana

#### **4) DATOS EXPERIMENTALES SOBRE LOS CEM Y SU ACCION EN CARCINOGENESIS Y MUTAGENESIS**

Bajo el término "cáncer" se amparan más de 200 formas de la enfermedad. Casi todos los tejidos del cuerpo pueden llegar a desarrollar un estado maligno, y en algunos casos hasta varios tipos distintos. Aunque cada tipo de cáncer tiene características particulares, los procesos básicos que los originan son muy similares. A lo largo de los últimos años se ha producido el esclarecimiento de estos procesos básicos que intervienen en el desarrollo de todo tipo de cáncer y hoy se conocen bien las bases moleculares de los mecanismos por los que diversos agentes físicos o químicos producen la transformación de las células sanas en cancerosas.

Dentro de los principios básicos que gobiernan el desarrollo del cáncer, hoy sabemos que las células de un tumor descienden de una célula ancestral común, que en algún momento, generalmente décadas antes de que el tumor se manifieste, inició un programa de división y diferenciación celular indebido por la acción de uno o varios agentes cancerígenos físicos o químicos. La transformación maligna de una célula acontece después, por acumulación de mutaciones en unos genes muy específicos y concretos, esos genes que son las dianas potenciales de los agentes cancerígenos son la clave para entender las raíces del cáncer. Las alteraciones de estos genes por agentes físicos o químicos pueden ir desde mutaciones hasta cambios en su nivel de actividad, pero si estas alteraciones génicas cambian la cantidad o la calidad (actividad) de la proteína codificada por un gen, pueden perturbar el comportamiento de la célula.

Debido al aumento de los estudios epidemiológicos y a sus resultados, en los que se establecen correlaciones entre los CEM y el cáncer, están en marcha una serie de investigaciones experimentales de considerable interés, que buscan una posible unión entre la exposición a CEM y el riesgo de padecer algunos tipos de cáncer. En las siguientes tablas

se resumen algunos de los datos epidemiológicos más relevantes que han impulsado la investigación experimental sobre CEM y cáncer<sup>2</sup>.

Estudios que relacionan C.E.M. y número de tumores en niños	Tasa más alta que la media ( N° de estudios)	No hay correlación (N° de estudios)
Leucemia	4*	8+
Tumores cerebrales	2**	8++
Tasa global de cáncer	2***	3+++

\*(Wertheimer y Leeper, 1979; Savitz *et al.*, 1988; London *et al.*, 1991; Feychting y Ahlbom, 1993)

\*\* (Wertheimer y Leeper, 1979; Savitz *et al.*, 1988)

\*\*\* (Tomenius, 1986; Olsen *et al.*, 1993)

Las correlaciones no son fuertes y, en general, los estudios no han mostrado una relación dosis-respuesta. Cuando de hecho se miden los campos magnéticos, la correlación desaparece (Savitz *et al.*, 1988; London *et al.*, 1991; Feychting y Ahlbom, 1993)

+(Fulton *et al.*, 1980; Tomenius, 1986; Severson *et al.*, 1988; Coleman *et al.*, 1989; Verkasalo *et al.*, 1993; Olsen *et al.*, 1993; Feychting y Ahlbom, 1993; Gurney *et al.*, 1995; Preston-Martin *et al.*, 1996; Tynes *et al.*, 1997)

++(Tomenius, 1986; Coleman *et al.*, 1989; Verkasalo *et al.*, 1993; Olsen *et al.*, 1993; Feychting y Ahlbom, 1993; Gurney *et al.*, Preston-Martin *et al.*, 1996; Tynes *et al.*, 1997)

+++ (Verkasalo *et al.*, 1993; Feychting y Ahlbom, 1993; Tynes *et al.*, 1997).

Estudios que relacionan C.E.M. y número de tumores en adultos.	Tasa más alta que la media (N° de estudios)	No hay correlación (N° de estudios)
Leucemia	2*	8
Tumores cerebrales	2**	
Tasa global de tumores	2**	

\*(Li *et al.*, 1997) \*\* (Wertheimer y Leeper, 1982)

Salvo en el caso de los informes anteriores, el resto de los estudios no demuestra claramente un incremento de la tasa de tumores en relación con los C.E.M.: (Li *et al.*, 1996; McDowall, 1986; Coleman *et al.*, 1989; Myers *et al.*, 1990; Youngson *et al.*, 1991; Schreiber *et al.*, 1993; Feychting y Ahlbom, 1994; Verkasalo *et al.*, 1996)

Hasta la fecha hay pocos estudios publicados de animales de laboratorio que confirmen o rebatan lo apuntado por los estudios epidemiológicos que hemos resumido, sin embargo es apreciable un claro incremento en el número de investigaciones que están

<sup>2</sup> Véanse también los artículos de C.F. Blackman, E. Espinosa y col. y F. Vargas en este libro (Nota del Editor).

siendo realizadas actualmente sobre el tema de la relación entre CEM y cáncer. A continuación revisaremos las que a nuestro juicio resultan más interesantes de comentar.

Un cierto número de laboratorios emplean para sus experimentos lo que se denominan modelos animales, que pueden ser utilizados para investigar experimentalmente la posible relación entre CEM y cáncer. La elección de un modelo específico depende principalmente de la hipótesis elegida para investigar un problema o mecanismo de carcinogénesis específico. Por ejemplo, si uno desea examinar el potencial de los CEM para comportarse como agentes carcinógenos totales o completos (agente que aplicado aisladamente puede por si mismo causar un aumento en el desarrollo del cáncer). Para esta clase de estudios es necesario emplear animales completos, generalmente ratones o ratas y es preciso que la exposición a CEM de dichos animales sea continua y prolongada. Durante todo ese tiempo de exposición los animales deben estar mantenidos en un ambiente con una mínima exposición a otros posibles agentes cancerígenos que harían confuso el análisis de los experimentos. En tales estudios, la aparición de tumores, los detalles sobre su tamaño, tipo anatomopatológico, y tiempo de desarrollo constituyen los parámetros a analizar y los puntos de interés. Sin duda, los estudios de evaluación de la potencialidad absoluta como carcinógeno de un agente físico o químico son complicados y caros debido a la extensa duración y del número de animales implicados. Por ello no existen en la literatura estudios que sean suficientemente genéricos, rigurosos y concluyentes.

El proceso de carcinogénesis en general es reconocido como un proceso de múltiples etapas, de ahí que la aproximación para abordar los efectos de los CEM sobre el desarrollo de tumores pueda ser examinando su acción bien como iniciadores o bien como promotores tumorales. La "iniciación tumoral" se define como un evento genotóxico donde el agente carcinógeno causa un daño directo en el DNA. La "promoción tumoral" se define de forma más funcional, como el efecto que permite a un determinado agente potenciar un proceso tumoral ya iniciado por otro. La promoción tumoral está ligada a un número de acontecimientos celulares y moleculares que normalmente no tienen que ver con la genotoxicidad, sino que están implicados en la progresión de las células normales en células

cancerígenas. Para evaluar los CEM como agentes iniciadores tumorales, se requiere una exposición prolongada y elevada a CEM seguida de un contacto continuado con un agente promotor tumoral (ej: 12-O-tetradecanoilforbol-13-acetato, TPA). Si, por el contrario los CEM se investigan como promotores de una transformación tumoral ya iniciada, los animales deben ser tratados con un iniciador potente del cáncer (ej: dimetil-benzil-antraceno, DMBA), y posteriormente expuestos a CEM durante un periodo prolongado de hasta varios meses. Estos modelos experimentales de iniciación/promoción están normalmente restringidos a evaluar un número pequeño de tumores en cada experimento y son capaces de suministrar sólo información limitada sobre los posibles mecanismos celulares y moleculares afectados por los CEM en el desarrollo del cáncer.

### **1) Estudios globales de evaluación de los CEM como agentes de carcinogénesis.**

Hasta la fecha son pocos los estudios realizados a muy largo plazo (la mayor parte de la vida del animal) que examinen de forma fiable y global el potencial de los CEM como agentes carcinógenos, aunque varios están en curso de realización (en los EE.UU., Italia, Japón, y Canadá). Sin embargo, varios estudios diseñados para analizar los CEM desde el punto de vista de su valor como promotores del cáncer, incluyen grupos de control que fueron expuestos a campos sin haber sido tratados previamente con ningún carcinógeno químico como iniciador. Estos trabajos incluyen estudios de promoción de tumores de mama en ratas (Beniashvili, et al., 1991), un estudio de promoción tumoral de linfomas en ratones (Svedenstalvy Holmberg, 1993), y un estudio de promoción de tumores de piel en ratones (Rannug, et al., 1993 a). Antes de describir los resultados de estos estudios es preciso aclarar que deben tomarse con cierta prudencia pues en todos ellos el número de los animales empleados pese a ser suficiente no es demasiado grande. El estudio de Beniashvili encontró un incremento en los tumores de las glándulas mamarias en ratas expuestas a 20 $\mu$ T durante 3 horas diarias, en comparación con los animales no expuestos. Los otros dos estudios no mostraron un incremento de los tumores en los animales expuestos durante un largos periodos a CEM (500 o 50 $\mu$ T, respectivamente).

## **2) Estudios selectivos de evaluación de los CEM como agentes iniciadores del proceso de carcinogénesis.**

Aún no han sido descritos en la literatura estudios en los que los CEM se revelen como agentes iniciadores del cáncer. Existe muy poca motivación para estos estudios debido a que la energía asociada a los CEM de baja frecuencia es muy débil y totalmente insuficiente para romper los enlaces químicos del DNA, es decir se descarta un efecto genotóxico o mutagénico directo de los CEM por producción de daños en el DNA. Además estudios *in vitro* no han dado ninguna evidencia de que las moléculas DNA puedan ser dañados por la exposición a 50/60Hz EMF.

## **3) Estudios selectivos de evaluación de los CEM como agentes promotores del proceso de carcinogénesis.**

Basándonos en la posible asociación entre CEM y cáncer sugerida por los resultados epidemiológicos, resulta evidente la necesidad de realizar estudios de promoción tumoral en presencia de CEM. Sin embargo, son relativamente pocos los experimentos *in vivo* que han sido terminados hasta la fecha y sus resultados no son concluyentes. Así por ejemplo, la promoción de tumores en la piel, tras la iniciación cancerígena con DMBA, fue examinado en ratones expuestos a 2mT, 60Hz de campo magnético continuo, 6h/d, 5días/semana desde 21-23 semanas, sin resultados estadísticamente significativos a favor de un mayor desarrollo tumoral en los ratones expuestos a CEM (McLean, et al., 1991). En otros estudios, en los que los campos magnéticos fueron combinados con una administración exógena de TPA, se observó un mayor desarrollo de tumores precoces en los animales que habían estado expuesto a CEM (Stuchly, et al., 1992).

En Suecia se han llevado a cabo estudios con tumores de piel y de hígado (Rannug, et al., 1993 a, b, c). En el estudio de promoción de tumores de piel durante dos años, los ratones fueron tratados con DMBA y luego fueron expuestos a campos magnéticos a 0.5mT o 50μT, 50Hz desde 19-21 horas/día, sin que se detectara ningún efecto por la exposición a CEM en el desarrollo de los tumores en la piel. En el estudio de promoción de tumores

hepáticos, las ratas fueron tratadas con exposiciones a CEM similares durante un periodo de 12 semanas. Los animales expuestos a CEM no mostraron diferencias en el desarrollo tumoral. En una serie de experimentos realizados en Alemania (Mevissen, et al., 1993; Loscher, et al., 1993; Loscher, et al., 1994; Mevissen, et al., 1995), quizás sean los que mejores resultados hayan proporcionado para avanzar en el conocimiento del potencial carcinogénico de los CEM. En estos experimentos las ratas fueron expuestas de 3 a 4 meses a CEM de 50Hz en un rango de intensidades entre 0.1 a 30mT. La iniciación fue realizada con repetidas dosis orales de DMBA, estudiándose posteriormente el desarrollo de tumores de mama. En algunos de los experimentos, la incidencia de los tumores se incrementó en animales expuestos a CEM de forma muy significativa. En otros experimentos de esta serie, el número de tumores por cada animal expuesto a CEM resultó incrementado pero la incidencia total de los tumores en la población de ratas expuestas a CEM no fue afectada de manera significativa. Estas diferencias aparentes en resultados procedentes del mismo laboratorio pueden reflejar diferencias en la respuesta animal a las diferentes intensidades de CEM empleados o puede simplemente ser un reflejo de las diferencias en el tamaño del grupo entre los experimentos.

Anterior al estudio Mevissen, un grupo en Georgia también examinó carcinogénesis mamaria en animales expuestos a CEM en los que la transformación tumoral fue iniciada con N-nitroso-N-metilurea (Beniashvili, et al., 1991). En los grupos de animales expuestos a CEM de 50Hz y 20 $\mu$ T, durante 3 horas/día, por todo el periodo de vida de los animales, hubo un incremento en la incidencia de tumores de mama inducidos en los animales simulados con CEM desde exposiciones de tan solo ½ hora por día. Varios trabajos de investigación están actualmente realizando estudios más amplios sobre CEM y cáncer de mama, aunque revisiones recientes consideran que no hay asociación significativa entre estos factores (Preece, 2000; Committee on Man and Radiation, 2000).

## CONCLUSIONES

Respecto a los efectos observados en cultivos celulares, la mayoría de los resultados han sido la ausencia de alteraciones significativas, se han detectado algunas respuestas

biológicas a intensidades de campos electromagnéticos superiores a los niveles de exposición habituales y a los permitidos por la recomendación de la UE "que no son necesariamente indicativas de efectos nocivos para la salud".

Los resultados de la investigación también indican ausencia de daños sobre el material genético así como de otros efectos directos sobre la expresión de los genes estudiados, cuya alteración se sabe que está implicada en los procesos tumorales. Tampoco se han identificado otros mecanismos biológicos específicos, que permitan establecer una posible relación causal entre la exposición a los campos electromagnéticos y el riesgo de padecer enfermedades como el cáncer o las malformaciones congénitas.

Los estudios de laboratorio que atribuyen efectos patológicos a los CEM como por ejemplo cambios en la química cerebral, alteraciones hormonales y alteraciones en el desarrollo embrionario y la reproducción, fallan en confirmar si estos posibles efectos se deben a una interacción directa del campo electromagnético con los tejidos vivos o a una acción indirecta como pudiera ser por ejemplo que la respuesta fisiológica desencadenada por la detección o la percepción del estímulo sensorial que supone un CEM hace más vulnerable al organismo a los verdaderos agentes etiológicos.

La comunidad científica admite que para establecer unas conclusiones totalmente fiables, la investigación en los laboratorios deberá terminar de contestar a las siguientes preguntas: 1ª) determinar los mecanismos celulares y moleculares por los que los CEM interaccionan con los tejidos y células animales/humanos; 2ª) establecer qué parámetros de una exposición a CEM (intensidad, tiempo etc.) constituyen los límites umbral de los efectos biológicos y los límites máximos o peligrosos para los organismos vivos; 3ª) profundizar en los efectos que han sido observados hasta el momento en la función del sistema nervioso central durante la exposición a CEM; 4ª) aclarar si los campos electromagnéticos pueden o no influir de forma indirecta sobre la evolución del cáncer en general.

Pensamos que dejar sin contestar las citadas cuestiones siempre pondrá en duda y en entredicho los niveles de seguridad que se fijen para vivir y trabajar con campos electromagnéticos.

### **Bibliografía**

- Anderson, L.E. Biological effects of extremely low frequency electromagnetic fields: In vivo studies. In Proceedings of the Scientific Workshop on the Health Effects of Electric and Magnetic Fields on Workers. Public Health Service, NIOSH, Cincinnati, OH, pp 45-89, 1991.
- Anderson, L.E. Interaction of ELF electric and magnetic fields with neural and neuroendocrine systems. In B.W. Wilson, R.G. Stevens, and L.E. Anderson, Eds., *Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields: The question of Cancer*. Battelle Press, Columbus OH, pp 139-158, 1990.
- Barlow, H.B., H.I. Kohn and E.G. Walsh. Visual sensations aroused by magnetic fields. *Am. J. Physiol.* 148: 376, 1947.
- Bassett, C.A.L., S.N. Mitchell and S.R. Gaston. Pulsing electromagnetic field treatment in ununited fractures and failed arthrodeses. *JAMA* 247: 623-628, 1982.
- Beniashvili, D.Sh., V.G. Bilanishvili and M.Z. Menabde. Low-frequency electromagnetic radiation enhances the induction of rat mammary tumors by nitrosomethyl-urea. *Cancer Letters*, 61: 75-79, 1991.
- Berman, E., L. Chacon, D. House, B.A. Koch, W.E. Koch, J. Leal, S. Lovtrup, E. Mantiply, A.H. Martin, G.I. Martucci, K.H. Mild, J.C. Monahan, M. Ssandstrom, K. Shamsaifar, R. Tell, M.A. Trillo, A. Ubeda and P. Wagner. Development of chicken embryos in a pulsed magnetic field. *Bioelectromagnetics* 11: 169-187, 1990.
- Brent, R. L. Reproductive and teratologic effects of low-frequency electromagnetic fields: A review of in vivo and in vitro studies using animal models. *Teratology* 59: 261-286, 1999.
- Chernoff, N., J.M. Rogers and R. Kavet. A review of the literature on potential reproductive and developmental toxicity of electric and magnetic fields. *Toxicology* 74: 91-126, 1992.
- Committee on Man and Radiation: Possible health hazards from exposure to power-frequency electric and magnetic fields – A COMAR Technical Information Statement. *IEEE Eng Med Biol* 19(1): 131-137, 2000.
- Conti, P., G.E. Giganti, M.G. Cifone, E. Alesse, G. Ianni, M. Reale and P.U. Angeletti. Reduced mitogenic stimulation of human lymphocytes by extremely low frequency electromagnetic fields. *FEBS Lett* 162: 156-160, 1983.
- Delgado J.M.R., J. Leal, J.L. Monteagudo and M.G. Gracia. Embryological changes induced by weak, extremely low frequency electromagnetic fields. *J. Anat.* 134: 533, 1982.
- Ehret C.F., R.S. Rosenberg, G.A. Sacher, P.H. Duffy, K.R. Groh and J.J. Russell. *Biomedical Effects Associated with Energy Transmission Systems: Effects of 60-Hz Electric Fields and Circadian and Ultradian Physiological and Behavioral Functions in Small Rodents*. Washington, DC, Annual Report to U.S. Department of Energy, 1980.

- Graves H.B., J.H. Carter, D. Kellmel, L. Cooper, D.T. Poznaniak and J.W. Bankoske. Perceptibility and electrophysiological response of small birds to intense 60-Hz electric fields. *IEEE Trans Power Appar. Syst. PAS 97*: 1070-1073, 1978.
- Hjeresen D.L., W.T. Kaune, J.R. Decker and R.D. Phillips. Effects of 60-Hz electric fields on avoidance behavior and activity of rats. *Bioelectromagnetics 1*: 299-312, 1980.
- Huuskonen, H., J. Juutilainen and H. Komulainen. Effects of low-frequency magnetic fields on fetal development in rats. *Bioelectromagnetics 14*: 205-214, 1993.
- Jaffe R.A., C.A. Lopresti, D.B. Carr and R.D. Phillips. Perinatal exposure to 60-Hz electric fields: Effects on the development of the visual-evoked response in the rat. *Bioelectromagnetics 4*: 327-339, 1983.
- Kato, M., Honma, T. Shigemitsu and Y. Shiga. Effects of exposure to a circularly polarized 50-Hz magnetic field on plasma and pineal melatonin levels in rats. *Bioelectromagnetics 14*: 107- 116, 1993.
- Kaune, W.T., R.D. Phillips, D.L. Hjeresen, R.L. Richardson and J.L. Beamer. A method for the exposure of miniature swine to vertical 60-Hz electric fields. *IEEE Trans Biomed Eng BME 25*: 276-283, 1978.
- Lerchl, A., K.O. Nonaka, K.A. Stokkan and R.J. Reiter. Marked rapid alterations in nocturnal pineal serotonin metabolism in mice and rats exposed to weak intermittent magnetic fields. *Biochem Biophys. Res. Commun. 169*: 102-108, 1990.
- Loscher, W., M. Mevissen, W. Lehmacher and A. Stamm. Tumor promotion in a breast cancer model by exposure to a weak alternating magnetic field. *Cancer Letters 71*: 75-81, 1993.
- Loscher, W., U. Wahnschaffe, M. Mevissen, a. Lerchl and A. Stamm. Effects of weak alternating magnetic fields on nocturnal melatonin production and mammary carcinogenesis in rats. *Oncology 51*: 288-295, 1994.
- Lovely, R.H. Recent studies in the behavioral toxicology of ELF electric and magnetic fields. In M.E. O'Connor and R.H. Lovely, Eds., *Electromagnetic Fields and Neurobehavioral Function*. Liss Inc, New York, pp 327-348, 1988.
- Lovely, R.J., J.A. Creim, W.T. kaune, M.C. Miller, R.D. Phillips and L.E. Anderson. Rats are not aversive when exposed to 60-Hz magnetic fields at 3.03 mT. *Bioelectromagnetics 13*: 351-362, 1992.
- Lovsund, P., P.A., Oberg, S.E.G. Nilsson and T. Reuter. Magnetophosphenes: a quantitative analysis of thresholds. *Med. Biol. Eng. Comput. 18*: 326, 1980.
- Luben, R.A. In vitro systems for study of electromagnetic effects on bone and connective tissue. In: *Biological Effects of Electric and Magnetic Fields*, Vol. 2, D.O. Carpenter and s. Ayrapetyan, eds. Academic Press, San Diego, CA. 1994.
- McLean, J.R.N., M.A. Stuchly, R.E.J. Mitchel, D. Wilkinson, H. Yang, M. Goddard, D.W. Lecuyeer, M. Schunk, E. Callary and S.D. Morrison. Cancer promotion in a mouse-skin model by a 60 Hz magnetic field: II. Tumor development and immune response. *Bioelectromagnetics 12*: 273-287, 1991.
- Mevissen, M., M. Kietzmann, and W. Loscher. In vivo exposure of rats to a weak alternating magnetic field increases ornithine decarboxylase activity in the mammary gland by a similar extent as the carcinogen DMBA. *Cancer Letters 90*: 207-214, 1995.
- Mevissen, M., A. Stamm, S. Buntenkotter, R. Zwingelberg, U. Wahnschaffe and W. Loscher. Effects of magnetic fields on mammary tumor development induced by 7: 12-dimethylbenz(a)anthracene in rats. *Bioelectromagnetics 14*: 131-143, 1993.
- Morris J.E. and R.D. Phillips. Effects of 60-Hz electric fields on specific humoral and cellular components of the immune system. *Bioelectromagnetics 3*: 341-348, 1982.

- National Academy of Sciences Report. Possible Health Effects of Exposure to Residential Electric and Magnetic Fields. National Research Council, Washington, D.C., 1996.
- Preece, A. W., Hand, J. W., et al. Power frequency electromagnetic fields and health. Where's the evidence? *Phys Med Biol* 45: R139-R154, 2000.
- Rannung, A., T. Ekstrom, K. Hansson Mild, B. Holmberg, I. Gimenez-Conti and T.J. Slaga, A study on skin tumor formation in mice with 50 Hz magnetic field exposure. *Carcinogenesis* 14: 573-578, 1993.
- Rannung, A., B. Holmbergm T. Ekstrom and K. Hansson mild. Rat liver foci study on coexposure with 50 Hz magnetic fields and know carcinogens. *Bioelectromagnetics* 14: 17-27, 1993.
- Rannung, A., B. Holmberg and K. Hansson Mild. A rat liver foci promotion study with 50 Hz alternating magnetic fields. *Environ. Res.* 62: 223- 229, 1993.
- Rommereim, D.N., R.L. Rommerein, R.L. Buschbom, M.R. Sikov and L.E. Anderson. Reproduction, growth and development of rats during chronic exposure to multiple field strengths of 60-Hz electric fields. *Fund. Appl. Toxicol.* 14: 608-621, 1990.
- Rommereim, D.N., R.L. Rommerein, D.L. Miller, R.L. Buschbom and L.E. Anderson. Developmental toxicology evaluation of 60-Hz horizontal magnetic fields in rats. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 11: 307-312, 1996.
- Sander, R., J. Brinkmann and B. Kuhne. Laboratory studies on animals and human beings exposed to 50-Hz electric and magnetic fields. In International Conference on Large High Voltage Electrical System. September 1-9, Paris, Abstract number 36-01, 1982.
- Stern S., V.G. Laties, C.V. Stancampiano, C. Cox and J.O. de Lorge. Behavioral detection of 60-Hz electric fields by rats. *Bioelectromagnetics* 4: 215-247, 1983.
- Stevens, R.G., S. Davis, D.B. Thomas, L.E. Anderson and B.W. Wilson. Electric power, pineal function, and the risk of breast cancer. *FASEB* 6: 853-860, 1992.
- Stuchly, M.A., J.R.N. McLean, R. Burnett, M. Goddard, D.W. Lecuyer and R.E.J. Mitchel. Modification of tumor promotion in the mouse skin by exposure to an alternating magnetic field. *Cancer Letters* 65: 1-7, 1992.
- Svedenstal, B.M. and B. Holmberg. Lymphoma development among mice exposed to x-rays and pulsed magnetic fields. *Int. J. Radiation Biol.* 64: 119-125, 1993.
- Tenforde, T.S. Interaction of ELF magnetic fields with living matter. In C. Polk, and E. Postow, Eds., *Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Ragiation*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp 197-225, 1986.
- Walleczek J. Electromagnetic field effects on cells of the immune system: The role of calcium signaling. *FASEB J.* 6: 3177-3185, 1992.
- Wilson B.W., L.E. Anderson, D.I. Hilton and R.D. Phillips. Chronic exposure to 60-Hz electric fields: Effects on pineal function in the rat. *Bioelectromagnetics* 2: 371-380, 1981.
- Wilson, B.W., J.E. Morris, L.B., Sasser, L.E. Anderson and K. Matt. Changes in the hypothalamus and pineal gland of djungarian hamsters from short-term exposure to 60-Hz magnetic fields. DOE/EPRI Contractors Review, Savannah, GA, Oct, 31-Nov 4, 1993.
- Wolpaw, J.R., R.F. Seegal, R.I. Dowman and S. Satya-Murti. Chronic Effects of 60 Hz Electric and Magnetic Fields on Primate Central Nervous System Function. Final Report to the New York State Power Lines Project, Julu, 1987, New York.

## **Los Campos Electromagnéticos y la Fisiología del Sistema Nervioso.**

**Pablo E Gil-Loyzaga**

Catedrático de Neurobiología de la Audición. Dpto. de Cirugía II. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid. Apartado de Correos 60.075, 28080 Madrid.

### **Resumen y Conclusiones**

El sistema nervioso, por su fisiología y características intrínsecas, podría ser especialmente sensible a un amplio rango de ondas y campos electromagnéticos de muy diversas frecuencias e intensidades. Estas radiaciones pueden afectar a las células del sistema nervioso (en especial a las neuronas) como podría deducirse del hecho de que algunos tipos de ondas y campos electromagnéticos parecen ser capaces de potenciar la regeneración de fibras nerviosas lesionadas. Se ha sugerido que esta actividad podría estar mediada por una acción directa sobre las corrientes de  $\text{Ca}^{2+}$  a través de la membrana neuronal, que implicaría un incremento en la liberación de neurotransmisores. Todos estos efectos pueden deberse a un incremento de la temperatura del tejido cerebral provocado por la exposición a campos electromagnéticos (al menos en el caso de las altas frecuencias). En el caso de las altas frecuencias (de tipo similar a las que emiten los teléfonos móviles) se ha identificado un incremento de actividad cerebral; que se manifiesta en los registros electroencefalográficos de individuos despiertos que reciben estímulos complejos, determinadas tareas de memoria, etc. También se han apreciado alteraciones como inducción de sueño o incremento de actividad durante el sueño no-REM. Los investigadores coinciden en afirmar que no han observado alteraciones patológicas en la fisiología ni en el comportamiento en los individuos en estudio. No obstante, se debe considerar que aún es necesario continuar con estas investigaciones, sobre todo en exposiciones más largas o en otros modelos (durante el desarrollo, etc.), ya que no se conoce con certeza si la activación descrita podría derivar en algún tipo de alteración de la fisiología cerebral o del comportamiento cuando se realicen exposiciones continuadas y a muy largo plazo.

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

## **Introducción**

El sistema nervioso es una estructura que utiliza en su fisiología normal modificaciones del potencial eléctrico de la membrana de las neuronas, que son células altamente especializadas en utilizar estas variaciones de potencial en la generación, codificación y transmisión de mensajes. Estas características fisiológicas intrínsecas llevan a considerar al sistema nervioso una estructura que podría ser especialmente sensible a las radiaciones electromagnéticas (Frey, 1993; Burkhardt et al., 1997). No es fortuito, por tanto, que una de las cuestiones que se plantean cada vez con más frecuencia gira en torno a la inocuidad o peligrosidad de la exposición frecuente del sistema nervioso a ondas y campos electromagnéticos. Esta preocupación de la sociedad en general, y especialmente de los científicos, relacionada con diversos tipos de equipo e instalaciones eléctricas, se ha visto muy incrementada desde la introducción masiva, en los últimos años, de los sistemas de comunicación sin cable (antenas y teléfonos móviles) (Burkhardt et al., 1997; Eulitz et al., 1998; Moulder et al., 1999; Huber et al., 2000; Koivisto et al., 2000a y b; Krause et al., 2000).

Los rangos de frecuencias e intensidades a los que se puede exponer el sistema nervioso son muy diversos. La exposición a ondas y campos electromagnéticos similares a los líneas de alta tensión, de los electrodomésticos (incluyendo aquí los ordenadores personales), o de los teléfonos móviles y sus antenas, etc. puede suponer también diferentes respuestas de la fisiología neural. Este hecho permite comprender que, en ocasiones, los datos y resultados obtenidos en los estudios científicos puedan ser aparentemente contradictorios o francamente opuestos. Además de la intensidad o la frecuencia otros parámetros como el campo geomagnético local pueden ser también responsables de estas diferencias (Blackman et al., 1985; 1988a). De hecho la intensidad y orientación/dirección del campo geomagnético ambiental pueden variar mucho entre áreas geográficas alejadas e incluso dentro de un mismo edificio y deben ser tenidos en cuenta en el planteamiento de un protocolo para experimentación científica (Blackman et al., 1985; 1988a).

Todas estas variables y problemas llevan a plantear una revisión bibliográfica de la literatura internacional, recogida de las bases de datos especializadas, que permita evaluar, desde la óptica de la neurobiología, los conocimientos científicos actuales de los efectos sobre la fisiología neural que se puedan derivar de la exposición a ondas y campos electromagnéticos.

Antes de pasar al estudio de los datos recogidos por la exposición experimental a ondas y campos electromagnéticos no se puede pasar por alto la problemática de la exposición accidental a estas radiaciones. En este sentido, en 1997 se dió a conocer un informe que recogía los síntomas y signos que padecieron tres ingenieros expuestos accidentalmente a una radiación electromagnética de alta intensidad (a 785 MHz de frecuencia media) cuando se encontraban instalando una antena de televisión (Schilling, 1997). Entre otros efectos generales, como dolor, diarrea o eritema cutáneo, presentaron también fuertes jaquecas y malestar general. Asimismo, desarrollaron entumecimiento, disestesia, parestesias, y otros síntomas que podrían indicar lesiones de los terminales nerviosos sensitivos (Schilling, 1997). Lo más interesante es que el principal síntoma que se hizo crónico fue el dolor de cabeza que se originaba, principalmente, en la zona que había recibido la mayor exposición durante el accidente y que se exacerbaba por la exposición al sol o por el calor, lo que llevó a plantear que el efecto primario de la lesión sería de tipo térmico (Schilling, 1997). También se han recogido en la bibliografía otros accidentes de trabajadores que recibieron una exposición aguda a radiaciones electromagnéticas de alta intensidad (ver revisión en: Schilling, 1997). En general, los pacientes presentaron una sintomatología similar a la descrita en el momento de la exposición aguda, mientras que en revisiones ulteriores sólo algunos comentaron padecer fuertes dolores de cabeza, insomnio o irritabilidad.

Aunque estos resultados no pueden ser soslayados también es cierto que en las exposiciones a radiaciones no ionizantes, ionizantes o en cualquier traumatismo o accidente, que suponga la absorción de energía mecánica o de cualquier otro tipo, el tiempo es un factor absolutamente fundamental. Experimentalmente se demuestra que no se derivan los

mismos resultados de exposiciones mínimas recibidas durante un largo periodo de tiempo que en una exposición masiva instantánea. Por todo ello, y sin reducir la importancia orientativa de los resultados descritos, no puede ser considerados como extrapolables a los efectos que se puedan derivar de la exposición a niveles de uso cotidiano de electrodomésticos, aparatos de telecomunicación u otros.

### **Validez de modelos y métodos de estudio**

Son numerosos los modelos experimentales que están siendo utilizados para analizar los efectos de las ondas electromagnéticas sobre el sistema nervioso, desde estudios con células aisladas in vitro, embriones de aves, aves y mamíferos adultos, etc. a estudios de electroencefalografía y comportamentales realizados en seres humanos (ver información y revisiones bibliográficas en: Blackman et al., 1985; 1988a; 1989b; Frey, 1993; Burkhardt et al., 1997; Schilling, 1997; Eulitz y col., 1998).

Para que un modelo experimental de exposición del sistema nervioso a cualquier tipo de ondas electromagnéticas, y en especial a las frecuencias correspondientes a los teléfonos móviles, sea considerado como válido debe cumplir una serie de características que delimitan claramente Burkhardt et al. (1997):

1- La exposición debe ser a un campo de características similares al que realmente se exponga a los individuos. Por tanto, los científicos se han interesado por un amplio rango de frecuencias: las bajas y medias frecuencias y, en especial, las radiofrecuencias (100 kHz-300 GHz). Entre las radiofrecuencias tienen un especial interés por su amplia utilización en la sociedad actual: las microondas (300MHz-300GHz), la ultraaltafrecuencia (300MHz-3GHz) (teléfonos móviles, hornos microondas, ondas de televisión, etc.), y la superaltafrecuencia (3GHz-30GHz) (ondas de radar, satélites, y otros sistemas de comunicación por microondas) (ver comentarios y clasificación en Schilling, 1997).

2- Cuando se utilicen animales el modelo debe considerar que la tasa específica de absorción en el tejido nervioso del animal debe ser similar a la que tendría el cerebro de

un ser humano expuesto a esa onda o campo electromagnético. Como comenta Schilling (1997) la absorción de la energía de las ondas y campos electromagnéticos por el organismo depende de la frecuencia, de la energía por unidad de superficie, también depende de la capacidad de absorción de la estructura orgánica.

3- Debe de existir una escasa dispersión de la exposición garantizando un bajo nivel de exposición para el resto del organismo. En este sentido es necesario evitar los artefactos derivados del sobrecalentamiento del resto del organismo del animal.

4- Que el nivel de stress derivado del propio experimento sea lo más reducido posible para el animal de experimentación. Deben evitarse todos los sistemas que limiten excesivamente la libertad del animal, debiéndose permitir el máximo grado posible de movimientos durante la prueba.

### **Efectos de las ondas y campos electromagnéticos sobre las neuronas**

Hace bastante tiempo que se conoce que la corriente continua, incluso a bajas intensidades, puede modificar la capacidad mitótica, la capacidad de migración y orientación de las células vivas, como se ha demostrado con técnicas de cultivos celulares (Frey, 1993). Este efecto podría justificar la mejor recuperación observada en lesiones neurales inducidas experimentalmente, en ratas, cobayas, gatos o perros, y tratadas bajo corriente de este tipo (Wilson y Jagadeesh, 1976; Orgel et al., 1984; revisión en Frey, 1993). La mejor recuperación neurofuncional observada en estos animales fue discreta pero significativa, aunque requirió un largo periodo de tratamiento tras la lesión (Frey, 1993). Estos resultados podrían indicar que este tipo de corrientes puede favorecer una mejor regeneración de las fibras nerviosas lesionadas (Wilson y Jagadeesh, 1976; Orgel et al., 1984; revisión en Frey, 1993), aunque este sigue siendo un campo de estudio experimental que no ha concluído aún.

Los campos magnéticos tienen, asimismo, capacidad de actuar sobre las neuronas (ver revisión en Blackman, 2001), lo que se demuestra experimentalmente en especies

animales muy primitivas en las que su aplicación puede modificar el potencial de membrana neuronal; como ejemplo valga el estudio realizado sobre la neurona del caracol de mar (*Aplysia*) estimulada con un campo magnético de 60 Hz (Frey, 1993).

Por su parte, los campos electromagnéticos pulsátiles de ultrabaja frecuencia (0.5 a 18 Hz) también parecen favorecer la cicatrización de heridas, de todo tipo, induciendo un efecto trófico positivo sobre el tejido de granulación, al tiempo que presentan efectos positivos sobre la regeneración de las fibras nerviosas amputadas (revisión en Scardino et al., 1998).

Estudios ya clásicos se orientaron a evaluar el efecto de las ondas y campos electromagnéticos sobre la actividad unitaria de neuronas de diversos centros encefálicos (Faitel'berg-Blank y Perevalov 1977). Los resultados obtenidos entonces indicaban un incremento de la actividad de las neuronas hipotalámicas o del hipocampo, mientras que en las neuronas de la formación reticular o de determinados núcleos talámicos presentaban, sobre todo, una respuesta de tipo inhibitorio (Faitel'berg-Blank y Perevalov 1977).

Estudios experimentales, realizados desde la década de los '70 (ver revisión en Blackman, 2001), plantean que las ondas y campos electromagnéticos (en particular muy bajas frecuencias, o radiofrecuencias moduladas a muy bajas frecuencias) tienen capacidad de facilitar o incrementar el flujo de salida de  $Ca^{2+}$ , a través de la membrana celular, de neuronas (u otros tipos celulares) expuestas a un campo electromagnético uniforme (Joines y Blackman, 1981; Blackman et al., 1985; 1988a). De hecho, la modulación de las corrientes iónicas de  $Ca^{2+}$ , a través de la membrana celular, podría ser el patrón básico mediante el cual los campos electromagnéticos (50-60 Hz) actúan sobre la fisiología neuronal (Frey, 1993). Asimismo, este mecanismo podría explicar que las neuronas sometidas a este tipo de campos electromagnéticos sufran modificaciones (en general incremento) en la liberación de sus neurotransmisores (ver revisiones en: Frey, 1993; Blackman, 2001; Cabo y Represa, 2001). Recientemente, y durante estudios en humanos sometidos a campos electromagnéticos de alta frecuencia del tipo de la telefonía móvil, se ha sugerido que un

incremento de liberación de neurotransmisores, derivado del efecto calórico de la exposición a dichos campos, puede facilitar la transmisión sináptica y, por tanto, la actividad cerebral (Koivisto et al., 2000b). Todos los resultados presentados parecen coincidir en que, en general, las ondas y campos electromagnéticos tienen una tendencia al incremento de actividad encefálica, probablemente vinculado a un aumento de liberación de neurotransmisores.

### **Efectos de la aplicación de campos electromagnéticos de baja frecuencia en neurofisiología humana**

Las ondas electromagnéticas de muy bajas frecuencias (por debajo de los 20 Hz) pueden inducir modificaciones en el EEG de los humanos y en diversos grupos animales (por ejemplo: conejos, gatos, monos) (ver revisión en Bell et al., 1994). Esto parece ser especialmente cierto cuando se trata de ondas de frecuencia próxima a la de las propias ondas cerebrales (ver revisión en Bell et al., 1994). En un estudio electroencefalográfico realizado con 19 sujetos sanos que recibieron una exposición de dos segundos a campos electromagnéticos (1.5-10 Hz; 0.2-0.4 gauss) se encontró que durante el tiempo de exposición a estos campos se producía una alteración del registro electroencefalográfico (Bell et al., 1994). En cualquier caso este resultado puede tener que ver con el hecho de que la actividad eléctrica del cortex cerebral humano se sitúa también por debajo de 20 Hz (Niedermeyer, 1987), ya que experimentos similares llevados a cabo con ondas de 35-40 Hz o de 60 Hz no se han encontrado modificaciones de la actividad cerebral en humanos (ver revisión en Bell et al., 1994). En el mismo sentido, no se apreciaron modificaciones en el registro de los potenciales evocados auditivos, visuales y somatosensoriales de monos que habían sido expuestos a los efectos combinados de campos eléctricos (60Hz) y magnéticos (Dowman et al., 1989). Si bien algunas de las condiciones de estudio permitieron evidenciar una reducción significativa de los potenciales somatosensoriales que, según los autores, se debía al efecto directo de la exposición a dichos campos (Dowman et al., 1989).

En cualquier caso, no se han realizado estudios complementarios para evidenciar si estos cambios en el EEG se mantienen en registros realizados con posterioridad a la exposición a dichos campos (Scardino y col., 1998). No obstante, en estudios realizados en perros que fueron expuestos a campos electromagnéticos pulsátiles de 0.5-8 Hz (del tipo de los utilizados en tratamientos de heridas y suturas) no se han encontrado alteraciones en el EEG, aunque estos sistemas si resultaron de utilidad en el tratamiento de las heridas quirúrgicas que se estaban analizando (Scardino y col., 1998).

**Efectos de la aplicación de campos electromagnéticos de alta frecuencia (en especial los originados por telefonía móvil) en neurofisiología humana.**

Los teléfonos móviles emiten un campo electromagnético pulsátil de alta frecuencia (entorno a los 900-1800 MHz) que penetra la piel y el hueso del cráneo (Eulitz et al., 1998) permitiendo que parte de la radiación electromagnética sea absorbida por la cabeza y, particularmente, por el cerebro (Krause et al., 2000). Parece por tanto posible que la exposición a ondas y campos electromagnéticos podría ser motivo de alteraciones de la actividad cerebral, en particular tras estímulos auditivos, o del comportamiento (Eulitz et al., 1998).

La actividad cortical espontánea analizada mediante el registro de EEG en individuos, normales y despiertos, sometidos campos electromagnéticos (de características similares a los teléfonos móviles) no presenta ningún tipo de alteración (Eulitz et al., 1998; Krause et al., 2000; Koivisto et al., 2000a). Tampoco se apreciaron alteraciones significativas en los potenciales evocados auditivos y visuales obtenidos mediante la exploración standar (Eulitz et al., 1998; Urban et al., 1998). Por el contrario, se han observado modificaciones de la exploración funcional de la vía auditiva cuando los sujetos son expuestos a campos electromagnéticos de alta frecuencia mientras reciben estímulos acústicos considerados relevantes (por ejemplo: voz humana); sin embargo, estas modificaciones no se evidencian con estímulos acústicos irrelevantes (por ejemplo: tonos puros utilizados habitualmente como

estímulo en la exploración auditiva) (Eulitz et al., 1998). Esto hace muy importante la restricción de uso de teléfonos móviles mientras se realizan otras tareas que requieren gran atención (especialmente conducción de vehículos), ya que a la propia distracción derivada de la conversación se le une la que provocan los campos electromagnéticos cuando el mensaje es considerado relevante. Como consecuencia, y en gran relación con lo expuesto, es lógico añadir que también se han observado modificaciones durante la realización de tareas de memoria (Krause et al., 2000; Koivisto et al., 2000a).

En la actualidad, no se conoce aún si estas variaciones de la actividad cerebral pueden suponer un riesgo para la salud, o si pueden influir de alguna forma en el comportamiento o en los niveles de capacidad cognitiva, en las tareas de memoria o en otras funciones (Eulitz et al., 1998; Koivisto et al., 2000b). Tal vez inducen modificaciones neurofisiológicas de tan baja intensidad o relevancia comportamental que es difícil evidenciarlas (Eulitz et al., 1998; Koivisto et al., 2000b). En los estudios de comportamiento se han obtenido diversos resultados que parecen indicar que la exposición a campos electromagnéticos (de tipo similar a los emitidos por los teléfonos móviles) acorta el tiempo de respuesta en reacciones simples y en las tareas de vigilancia, al tiempo que reduce el tiempo de análisis necesario en las tareas aritméticas y en las tareas de memoria que incluyen al menos tres items (Koivisto et al., 2000a y b).

La exposición a este tipo de ondas y campos electromagnéticos parece tener un efecto facilitador de la fisiología cerebral (Koivisto et al., 2000a y b; Krause et al., 2000; Lebedeva et al., 2000), especialmente en las tareas que requieren análisis de información y de memoria. En el momento actual no se puede predecir cuál puede ser el resultado, a largo plazo, de la utilización continuada de teléfonos móviles sobre la fisiología cerebral (Krause et al., 2000).

La exposición accidental a ondas y campos electromagnéticos de alta intensidad supuso la aparición de alteraciones del sueño en los afectados (Schilling, 1997). Por este motivo, se deben analizar los efectos sobre el sueño de la exposición a ondas y campos electromagnéticos de cualquier tipo de instalaciones o equipos de uso corriente (con

independencia de su frecuencia). Así, se ha comunicado que la exposición nocturna (intervalos de 15 min) a campos electromagnéticos pulsátiles de alta frecuencia (similares a los de los teléfonos móviles) puede inducir el sueño (Borbély et al., 1999). Por otra parte, este tipo de campos electromagnéticos (con este y otros modelos de exposición durante el periodo de sueño), parecen provocar alteraciones (incremento de potencia de las espigas) del registro electroencefalográfico obtenido en la fase no-REM (Borbély et al., 1999; Huber et al., 2000). Cuando se sometió a los individuos a campos electromagnéticos de estas características durante los 30 min. previos al sueño se observaron estas alteraciones durante los 30 min iniciales del sueño (en la fase no-REM) aunque desaparecieron totalmente a las tres horas de sueño (Huber et al., 2000). Esto demuestra que el efecto de los campos electromagnéticos (de características similares a los teléfonos móviles) sobre el sueño tiene carácter transitorio y se limita a un periodo próximo y posterior a la exposición (Huber et al., 2000). Todos estos resultados no han sido confirmados y suponen un cierto grado de controversia (Koivisto et al., 2000b).

### **Comentarios y perspectivas.**

Como se ha reiterado en muchos trabajos científicos, incluidos los capítulos de este libro, los conocimientos actuales permiten sugerir que las ondas y campos electromagnéticos, a las intensidades y frecuencias de uso social y siguiendo las legislaciones existentes, no parecen presentar efectos nocivos significativos sobre el sistema nervioso. Ahora bien, esto no quiere decir en absoluto que no actúen sobre la fisiología neuronal, como hemos comentado con numerosos ejemplos en los que se han analizado, incluso, algunos efectos beneficiosos en la regeneración de fibras nerviosas, etc. No obstante, es muy importante señalar que se requieren aún estudios a medio y largo plazo para poder conocer si existen o no efectos perniciosos derivados de la exposición continuada a las ondas y campos electromagnéticos con independencia de su frecuencia e intensidad. Esto es especialmente importante para la utilización totalmente segura de aparatos o antenas de telefonía móvil. Aunque los estudios realizados con exposición

prolongada no han mostrado alteraciones verdaderamente patológicas, se debe continuar la investigación para llegar a conocer cuáles serán sus efectos en exposiciones casi continuas (al menos durante la jornada laboral) durante muchos años de utilización.

## Bibliografía

- Bell GB, Marino AA, Cheson AL. Frequency-specific responses in the human brain caused by electromagnetic fields. *J Neurological Sciences* 123 (1994) 26-32.
- Blackman CF. Campos eléctricos y magnéticos ELF: Efectos biológicos y posibles mecanismos. En: *Ondas Electromagnéticas y Salud*. Gil-Loyzaga P y Úbeda A Eds. Internet Saludigital. Cap.7 (2001) (en prensa).
- Blackman CF, Benane SG, Rabinovitz JR, House DE, Joines WT. A role for the magnetic field in the radiation-induced efflux of calcium ions from brain tissue in vitro. *Bioelectromagnetics* 6 (1985) 327-37.
- Blackman CF, Benane SG, Elliot DJ, House DE, Pollock MM. Influence of electromagnetic fields on the efflux of calcium ions from brain tissue in vitro: a three model analysis consistent with the frequency response up to 510Hz. *Bioelectromagnetics* 9 (1988a) 215-27.
- Blackman CF, House DE, Benane SG, Joines WT, Spiegel RJ. Effect of ambient levels of power-line-frequency electric fields on a developing vertebrate. *Bioelectromagnetics* 9 (1988b) 129-40.
- Borbély AA, Huber R, Graf T, Fuchs B, Gallmann, Achermann P. Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. *Neurosci. Letts.* 275 (1999) 207-10.
- Burkhardt M, Spinelli Y, Kuster N. Exposure setup to test effects of wireless communications systems on the CNS. *Health Phys.* 73/5 (1997) 770-8.
- Cabo R, Represa, J. La aproximación experimental para determinar los efectos biológicos de los campos electromagnéticos: Estudios de laboratorio. En: *Ondas Electromagnéticas y Salud*. Gil-Loyzaga P y Úbeda A Eds. Internet Saludigital. Cap.9 (2001) (en prensa).
- Dowman R; Wolpaw JR, Seegal RF, Satya-Murti S. Chronic exposure of primates to 60-Hz electric and magnetic fields. III Neurophysiologic effects. *Bioelectromagnetics* 10/3 (1989) 303-317.
- Eulitz C, Ullsperger P, Freude G, Elbert T. Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. *NeuroReport* 9 (1998) 3229-32.
- Faitel'berg-Blank VR, Perevalov GM. Selective action of decimeter waves on central brain structures. *Neurosci. Behav. Physiol.* 8/2 (1977) 172-6.
- Frey AH. Electromagnetic field interactions with biological systems. *FASEB Journal* 7/2 (1993) 272-81.
- Huber R, Graf T, Cote KA, Wittman L, Gallmann, Matter D, Schuderer J, Kuster N, Borbély AA, Achermann P. Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuroreport* 11/15 (2000) 3321-5.
- Joines WT, Blackman CF. Equalizing the electric field intensity within chick brain immersed in buffer solution at different carrier frequencies. *Bioelectromagnetics* 2 (1981) 411-3.

- Koivisto M, Krause Ch, Revonsuo A, Laine M, Hämäläinen H. The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. *Neuroreport* 11/8 (2000a) 1641-3.
- Koivisto M, Revonsuo A, Krause Ch, Haarala Ch, Sillanmäki L, Laine M, Hämäläinen H. Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport* 11/2 (2000b) 413-5.
- Krause Ch, Sillanmäki L, Koivisto M, Häggqvist A, Saarela C, Revonsuo A, Laine M, Hämäläinen H. Effects of electromagnetic field emitted by cellular telephones on the EEG during a memory task. *Neuroreport* 11/4 (2000) 761-4.
- Lebedeva NN, Sulimov AV, Sulimova OP, Kotrovskaya TI, Gailus T. Cellular phone electromagnetic field effects on bioelectrical activity of human brain. *Crit. Rev. Biomed. Eng.* 28 (2000) 323-37.
- Moulder JE, Erdreich LS, Malyapa RS, Merritt J, Pickard WF, Vijayalaxmi. Cell phones and cancer: What is the evidence for a connection?. *Radiation Research*, 151 (1999) 513-31.
- Niedermeyer E (1987) The normal EEG of the waking adult. En: Niedermeyer E, Lopes da Silva FH: *Electroencephalography*. 2ª Ed. Editorial Urban & Schwarzenberg.
- Orgel MG, O'Brien WJ, Murray HM. Pulsing electromagnetic field therapy in nerve regeneration: an experimental study in the cat. *Plst. Reconstr. Surg.* 73/2 (1984) 173-82.
- Scardino MS, Swaim SF, Sartin EA, Steiss JE, Spano JS, Hoffman ChE, Coolman SL, Peppin BL. Evaluation of treatment with a pulsed electromagnetic field on wound healing clinicopathologic variables, and central nervous system activity of dogs. *Am J Veterinary Research* 59 (1998) 1177-81.
- Schilling Ch J. Effects of acute exposure to ultrahigh radiofrequency radiation on three antenna engineers. *Occupational Environm. Medic.* 54 (1997) 281-4.
- Urban P, Lukas E, Roth Z. Does acute exposure to th electromagnetic field emitted by a mobile phone influence visual evoked potentials?. A pilot study. *Cent. Eur. J. Public. Health.* 6/4 (1998) 288-90.
- Wilson DH, Jagadeesh P. Experimental regeneration in peripheral nerves and the spinal cord in laboratory animals exposed to a pulsed electromagnetic field. *Paraplegia* 14/1 (1976) 12-20.

## **Ondas Electromagnéticas y Enfermos del Corazón.**

**Oscar Bernal, Ricardo Morales y José Zamorano\*.**

\*Jefe Laboratorio de Ecocardiografía.

Instituto Cardiovascular ICV. Hospital Clínico San Carlos. 28040 Madrid.

### **Resumen y Conclusiones**

Las ondas electromagnéticas pueden producir alteraciones en el funcionamiento de los dispositivos cardiacos, pero la probabilidad es muy baja y la posibilidad que estas alteraciones originen síntomas aún es más baja. Sin embargo a pesar que la probabilidad es pequeña se deben seguir algunas precauciones para evitar alteraciones en estos dispositivos. Con respecto a los teléfonos móviles se recomienda usar la tecnología analógica, no llevarlos encendidos cerca del generador, mantener una distancia de seguridad mínima de 15 centímetros de separación entre la antena y el generador, usarlo en la oreja contralateral con respecto al generador. Los pacientes con estos dispositivos no deben trabajar en industrias siderometalúrgicas, centrales de producción y distribución de energía eléctrica. Se debe evitar la exposición prolongada a los sistemas antirrobo y detectores de metales. En caso de radioterapia usar un protector sobre el generador, o bien se puede cambiar la posición del generador al lado contralateral del sitio donde se va a realizar la radioterapia. Si es necesario realizar un procedimiento como ablación por radiofrecuencia, cardioversión, utilización de electrocauterio, resonancia magnética nuclear se deben desactivar estos dispositivos y, con posterioridad a la realización de la prueba, estudiar el funcionamiento del mismo. Los electrodomésticos utilizados en la casa no generan alteraciones.

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

## 1. - INTRODUCCIÓN

En la última década han despertado mucho interés los efectos que pueden tener los campos electromagnéticos (CEM) sobre los dispositivos cardiacos como los marcapasos y los desfibriladores automáticos implantables. Estos efectos de los CEM sobre los dispositivos cardiacos se conocen con el nombre de: "INTERFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS" (IEM), pudiendo producir en algunas ocasiones disfunciones en estos dispositivos. Las fuentes que generan estos CEM son aparatos que se utilizan rutinariamente en la casa; encontramos también en dispositivos presentes en el ambiente público, laborable y médico. Debido a la utilización más frecuente de aparatos y sistemas (antirrobo, detectores de metales, etc.) que generan CEM ha aumentado la preocupación por los efectos y consecuencias clínicas que puedan producir.

## 2. - FUENTES QUE GENERAN CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Las fuentes de producción de los CEM las podemos dividir en cuatro grandes grupos: Ambiente doméstico, ambiente médico, ambiente público y ambiente laboral.

En el ambiente doméstico los aparatos que generan CEM son: hornos de microondas, radio, televisión, mandos a distancia, batidora, licuadora, máquinas de afeitar eléctricas, taladro doméstico, cortacésped, motosierra.

En el ambiente médico: radiaciones ionizantes, ondas de litotricia, resonancia magnética nuclear, ablación por radiofrecuencia, diatermia, electrocauterio, cardioversión, estimuladores eléctricos nerviosos, electroshock, balón de contrapulsación intraaórtico, monitor fetal y procedimientos odontológicos.

En el ambiente público: máquinas electrónicas de pasatiempos, escaleras mecánicas, puertas automáticas, teléfonos móviles, sistemas de control antirrobo.

En el ambiente profesional: hornos de fundición de hierro y acero, talleres de soldadura eléctrica, taller de reparación de aparatos electrónicos, instalaciones de

producción de energía eléctrica, taller de soldadura eléctrica, instalaciones de emisión de radio y televisión, pilotos de avión.

### 3. MEDIDAS DE PROTECCIÓN

Los dispositivos cardiacos actuales tienen varias medidas de protección contra los CEM, descritos por W. Irnich y S. Barold (1), con el objetivo de impedir que penetren en el circuito del generador y en el caso que lo consigan que sean reconocidos como tales y por tanto no originen disfunción del dispositivo cardiaco.

Las medidas de protección que traen consigo los actuales dispositivos cardiacos son:

- a) Blindaje metálico con titanio: su objetivo es impedir que los CEM ingresen en los circuitos del generador, tiene el inconveniente que no cubre el área de la conexión del cable.
- b) Diodos Zener: su acción consiste en limitar el voltaje de entrada a los circuitos, rechaza los voltajes por encima de 12 V. Tiene el problema de que posee una capacidad máxima por encima del cual se satura y permite el paso altos voltajes.
- c) Filtros del circuito de sensado: rechazan las corrientes de alta frecuencia y muy alta frecuencia, permiten el paso al circuito de sensado las frecuencias de 10 a 100 Hz; no rechaza las corrientes de baja frecuencia.
- d) Sistema de detección de ruido: impide la entrada de las corrientes continuas o pulsadas superior a 9 Hz, además asegura en el caso de interferencias una estimulación de seguridad en modo DOO o VOO (estimula aurícula derecha y ventrículo derecho o sólo ventrículo derecho)
- e) Circuito magnético: se activa ante la presencia de un campo magnético rechazando las ondas provenientes de este campo; tiene una acción limitada en las funciones de

telemetría pudiendo en ocasiones facilitar los cambios en la programación del dispositivo.

A pesar de todos estos sistemas de protección ninguno de ellos ni todos juntos ofrecen una protección completa contra las IEM, por tanto el problema no está actualmente resuelto, aunque la probabilidad de producirse alteraciones en estos dispositivos es pequeña.

#### **4. INTERFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS**

Se conoce con este nombre a los efectos que produce un campo electromagnético sobre aparatos con sistema eléctrico o electrónico, alterando su funcionamiento de forma temporal o definitiva.

Los marcapasos y el desfibrilador automático implantable son dispositivos electrónicos y por lo tanto pueden sufrir interferencias electromagnéticas.

Los tipos de corrientes que producen las IEM son (2):

- a) Corriente conducidas directamente: en este tipo de interferencia es necesario que exista un sistema conductor desde la fuente de CEM al paciente. También se necesita que el electrodo capte la energía y lo conduzca al generador. Este tipo de corriente se produce con la diatermia, ablación por radiofrecuencia, electrocauterio, cardioversión.
- b) Corriente radiada: no necesitan un sistema conductor, la corriente se transmite directamente de la fuente al paciente. También necesitan que el electrodo conduzca la energía al generador. Es el caso de la radio, televisión, mandos a distancia, litotricia, resonancia magnética nuclear, detectores de metales.
- c) Corriente transmitida: el efecto se produce por acción directa de la energía sobre los circuitos del generador sin necesidad de sistema conductor ni de la conducción de la energía del electrodo al generador. La corriente transmitida es el mecanismo de

producción de IEM de las ondas de choque de la litotricia y de las radiaciones ionizantes.

## 5. EFECTOS DE LAS IEM SOBRE LOS MARCAPASOS

Estos efectos que se pueden producir en los marcapasos dependen de una serie de factores relacionados con la fuente de la interferencia, el tipo de marcapaso y su programación, la potencia del campo electromagnético, la distancia entre la fuente y el marcapaso, la frecuencia de la corriente y su duración. Es más frecuente con los marcapasos unipolares que con los bipolares, con mayor duración y mayor potencia de la fuente y de la corriente que genera, a menor distancia entre la fuente y el dispositivo.

Se puede producir una inhibición de la salida del estímulo que puede ser mortal en pacientes que dependen del marcapasos (la posibilidad es baja), a veces la IEM se interpreta como un evento auricular produciéndose en este caso una estimulación ventricular inadecuada en los marcapasos que estimulan la aurícula y ventrículo derecho (modo DDD), en otras ocasiones las IEM se interpretan como ruido eléctrico lo que produce que el marcapasos funcione en modo de reversión del ruido ocasionando una estimulación asincrónica.

Los efectos más frecuentes son las alteraciones del sensado, también se pueden afectar los circuitos de programación, salida o de telemetría; estas alteraciones suelen ser temporales mientras persiste la exposición a la fuente que produce la IEM no obstante también se pueden producir disfunciones permanentes, pero estas últimas son raras.

Las alteraciones que pueden producirse en los marcapasos por las IEM son:

- a) Sensado de señales externas: Inhibición del impulso, pasa a modo asincrónico.
- b) Alteraciones de los circuitos: pérdida de la telemetría, inhibición del impulso, cambio en la frecuencia de estimulación.
- c) Alteración de la telemetría: cambio en la programación.

- d) Agotamiento de la batería: paso a modo de indicación de recambio.
- e) Alteración en la interfase electrodo-endocardio: Por una lesión térmica se puede producir una pérdida de captura, alteración de sensado y debido a un trauma eléctrico existe predisposición a arritmias como fibrilación auricular, extrasístoles ventriculares o fibrilación ventricular.

## 6. EFECTOS DE LAS IEM SOBRE LOS DESFIBRILADORES

La afectación de los DAI por los CEM depende de los mismos factores expuestos cuando hablamos de los marcapasos.

Los DAI tiene una ventaja con respecto a los marcapasos, están implantados en planos musculares más profundos, por esta razón la posibilidad de que se originen interferencias es menor, sin embargo la posibilidad existe y se han publicado varios casos de disfunción del DAI por acción de los CEM. Tienen una desventaja, no disponen en su programación de antitaquicardia de un modo de cambio, los marcapasos pueden pasar a un modo de estimulación asincrónico (V00, D00).

W. Irnich (3) comprobó que corrientes de 3 Hz pueden producir descargas espurias si el tiempo de exposición supera el requerido por la programación del dispositivo.

Se puede afectar la función de diagnóstico no reconociendo una arritmia ventricular potencialmente mortal, otras veces el dispositivo interpreta los ruidos eléctricos como un ritmo cardíaco anormal generando descargas inapropiadas o bien aplicando de forma errónea una terapia antitaquicardia que puede ser potencialmente arritmogénica. Otro efecto que se puede producir es la inhibición de la función de marcapasos, generando síncope en los pacientes dependientes. Achenbach (4) describió que por la acción de un campo electromagnético se pueden calentar los electrodos produciendo daño en la superficie del endocardio.

Resumiendo las IEM pueden producir en los DAI las siguientes alteraciones:

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

- Descargas inapropiadas
- No detección de arritmias ventriculares
- Activación de estimulación antitaquicardia con potencial arritmogénico
- Calentamiento excesivo del electrodo con daño al miocardio
- Inhibición de la función de marcapasos
- Daño permanente del dispositivo

## **7. - IEM EN LA VIDA ORDINARIA**

### **7.1 MARCAPASOS**

Irnich (5), Barold (6), Hardaje (7) han estudiado los efectos de las IEM en la vida ordinaria sobre los marcapasos. Son anecdóticos las interferencias detectadas, y la probabilidad de que tengan manifestación clínica es muy baja.

Los hornos de microondas actuales traen consigo un sistema de aislamiento, lo que ha disminuido bastante la posibilidad de generar interferencias.

Los electrodomésticos que están conectados a la red de energía eléctrica no tienen riesgo de producir efectos.

Radios, televisión, batidora y licuadora emiten CEM de tan baja intensidad que no produce interferencias.

Los mandos a distancia pueden generar interferencias en el caso de que se accionen a corta distancia y dirigiendo el haz de ondas hacia el generador, pero esta situación es muy raro que se produzca en la vida real.

Las máquinas de afeitarse eléctricas durante el afeitado no producen interferencias, pero se ha visto en estudios in vivo (5) que si se colocan sobre la zona del generador pueden inhibir al marcapaso, siendo la frecuencia de este suceso rara.

## **7.2 DESFIBRILADOR AUTOMATICO**

Por las características en la emisión de la frecuencia y pulso de las OEM generadas por los electrodomésticos usados en la vivienda la probabilidad de que se produjera IEM en los DAI es ínfima.

Es recomendable seguir los mismos consejos expuestos en el apartado anterior de pacientes con marcapasos, para evitar posibles alteraciones en el funcionamiento del DAI.

## **8.- IEM EN EL AMBIENTE PUBLICO**

Las escaleras mecánicas y puertas automáticas no generan CEM capaces de producir IEM.

Las máquinas electrónicas de pasatiempos generan un campo electromagnético de intensidad variable, no se han publicado interferencias con estos aparatos.

En este apartado ha adquirido mucho interés por su amplia utilización y difusión los teléfonos móviles y los sistemas antirrobo, los primeros casos de interferencias fueron publicados en el año 1994 y desde entonces se publicaron varios estudios de las IEM que producen estos dispositivos.

Los detectores de metales y sistemas de control antirrobo lo podemos encontrar en numerosos sitios como los aeropuertos, tiendas de ventas, en los centros comerciales, así como en cualquier lugar donde es necesario un sistema de control para evitar robos o por razones de seguridad.

### **8.1 TELEFONIA MOVIL Y MARCAPASOS**

Existen dos modalidades de teléfonos móviles, el sistema analógico (emite onda continua) y el sistema digital (emite pulsos de ondas), se ha demostrado la existencia de más IEM con el sistema digital. Actualmente en Europa se está utilizando con más frecuencia el

sistema de telefonía digital porque están protegidos contra las interferencias y tienen mayor capacidad de comunicación.

Las características del teléfono y del marcapaso influyen en la aparición de IEM. Hayes y col. (8) encontraron más alteraciones con los teléfonos de sistema digital que con el sistema analógico. Los teléfonos analógicos tuvieron interferencias en el 2,5% frente al 23,7% de los digitales. ( $p < 0,001$ ). La potencia de emisión también influye en la aparición de IEM; B. Naegely (9) y V. Barbaro (10) demostraron que a mayor potencia de emisión mayor grado de interferencias sobre todo con una potencia de emisión superior a 8W. La posición de la antena del teléfono con respecto al generador también tiene importancia. V. Barbaro (11) describió que existe mayor probabilidad de interferencia cuando la antena se encuentra a menos de 10 cm. del generador y cuando el teléfono se coloca en la oreja ipsilateral al dispositivo cardíaco.

El sitio más frecuente de entrada de las interferencias en el marcapasos es a nivel del bloque conector. Algunos modelos de la marca Pacemaker incorporan un sistema de filtro llamado Fee-through, este sistema de filtro conecta el bloque conector con la carcasa, derivando de esta forma hacia el exterior el ruido electromagnético. Hayes (8) encontró menos interferencias ( $p < 0,001$ ) en los marcapasos con el sistema de filtro Fee-through; en este mismo estudio de 980 pacientes Hayes observó más incidencias de IEM en los modos de estimulación bicameral con respecto al unicameral ( $p < 0,001$ ), sin embargo Barbaro (10) y Naegely (9) con menos pacientes estudiados no encontraron diferencias entre uni y bicamerales. La polaridad del marcapaso es otro factor que influye, Naegely (9) encontró mayor riesgo de IEM en los unipolares que en los bipolares. Barbaro (10, 11) y Naegely (9) encontraron una relación directa entre la sensibilidad y la incidencia de IEM, por esta razón se recomienda programar la sensibilidad al mínimo posible.

Las alteraciones que se encontraron por acción de los teléfonos móviles fueron: inhibiciones auriculares o ventriculares, aceleración de la estimulación ventricular por sensado a nivel del circuito auricular, paso a modo asincrónico e infrasensado. No se produjeron cambios en la programación ni daños en los circuitos del marcapaso. En todos

los estudios estas alteraciones duraron menos del 50% del tiempo que duró la llamada, excepto en el estudio de Barbaro (10) que describió algunos casos en que duró hasta que se terminó la comunicación.

Hayes (8) estudió los síntomas que presentaron los pacientes portadores de marcapasos durante las IEM. La mayoría de las IEM no produjeron síntomas, solo el 7% de los pacientes estudiados refirieron síntomas (palpitaciones, vértigos y el 0,2% pre-síncope). Como vemos en el raro caso que se produjera IEM en los dispositivos cardiacos la posibilidad que se originen síntomas es muy baja.

## **8.2 TELEFONIA MOVIL Y DAI**

Son escasos los estudios que evalúen la posible disfunción de los DAI por las IEM generadas por los teléfonos móviles. Bassen (12) describió un caso de descarga de un DAI en contacto con teléfono digital. Sin embargo Stanton (13) estudió esta posibilidad en 25 pacientes (sistemas análogos y digitales) no encontrando alteraciones en ninguno de ellos. Madrid (14) y Sanmartín (15) con alrededor de 50 pacientes estudiados tampoco encontraron interferencias importantes, solamente se encontraron alteraciones en la función de telemetría.

## **8.3 SISTEMAS ANTIRROBOS EN MARCAPASOS Y DAI**

Pueden generar en los marcapasos inhibiciones, aceleración de la respuesta ventricular, paso a modo asincrónico (Beaugeard 16). En los DAI no se han descrito alteraciones, pero los estudios son escasos en este tema y con pequeña muestra poblacional.

Aunque la posibilidad de producirse alteraciones provocadas por los sistemas antirrobo es diminuta, se recomienda no estar expuesto durante mucho tiempo a estos

sistemas, pero esta recomendación se realiza sólo por precaución debido a que no existe una suficiente cantidad de estudios realizados para llegar a una conclusión firme.

## **9.- IEM EN EL AMBIENTE LABORAL**

Los pacientes portadores de marcapasos y DAI que trabajan en centros de radiocomunicaciones, sub-estaciones eléctricas o industrias siderometalúrgicas son los que tienen mayor riesgo de presentar alteraciones en el funcionamiento del dispositivo cardiaco.

Astridge (17) en un estudio con 22 pacientes demostró que son más frecuentes las IEM a mayor intensidad de la corriente, más vulnerables los marcapasos unipolares y a mayor sensibilidad programada, más disfunción. Tiovonen (18) en otro estudio con 15 pacientes obtuvo semejantes conclusiones. Gamarra (19) describió que en casos de exposición prolongada en industrias siderometalúrgicas se producen en los marcapasos inhibiciones, paso a modo asincrónico y daño del generador. Toff (20) simulando entornos de radiotransmisión y emisión de radar, es decir creando una situación similar a la que están expuestos los pilotos de avión, encontró alteraciones en los marcapasos unipolares (inhibición y paso a modo asincrónico).

## **10.- IEM EN EL AMBIENTE MEDICO**

### **10.1 ABLACION POR RADIOFRECUENCIA**

Se han descrito alteraciones en el generador y lesión del endocardio por sobrecalentamiento de la interfase electrodo-endocardio. Pfeiffer (21) y Ellenbourgen (22) estudiaron la incidencia de IEM en pacientes portadores de marcapasos que fueron sometidos a un procedimiento de ablación por radiofrecuencia, la incidencia de IEM fue alrededor del 50%. Las alteraciones encontradas fueron de inhibición, paso a modo asincrónico, paso a modo de ERI (parámetros de agotamiento), cambios en la programación y fallos de captura; en ninguno de estos pacientes fue necesaria la

explantación del marcapaso. Vanerio (23) encontró la misma incidencia de IEM, sin embargo el 33% de los pacientes estudiados presentaron una disfunción grave que necesitó la explantación.

## **10.2 CARDIOVERSION**

Las alteraciones encontradas por Levine (24), Altamura (25), Palac (26), Gould (27) y Das (28) en pacientes portadores de marcapasos y que fueron sometidos a cardioversión eléctrica con una intensidad de 25 a 400 Julios fueron: fallos de captura, elevación del umbral de estimulación, fallos de sensado, cambios en la programación y lesión térmica del endocardio. Se asocia a mayor incidencia de alteraciones con mayor número de choques, mayor cantidad de energía utilizada, marcapasos unipolares, aplicación antero-anterior y cuando una de las palas de aplicación se apoyó cerca del generador. Las alteraciones producidas en gran porcentaje fueron irreversibles.

## **10.2 ELECTROCAUTERIO**

El estudio con mayor población (48 pacientes) referido a este tema es el publicado por Hayes (29), describió paso a modo asincrónico, inhibición del impulso, lesión térmica del endocardio. Las alteraciones fueron más frecuentes con los marcapasos unipolares y los bicamerales. Erdman (30) demostró la mayor frecuencia de IEM cuando la orientación del circuito del electrocauterio se dirige hacia el generador y cuanto más próximo se encuentre a este.

## **10.3 LITOTRIZIA**

Tienen más riesgo de sufrir alteraciones cuando se implantan en la región epicárdica. Se pueden producir inhibición del impulso, aceleración de la respuesta

ventricular en los casos de modo DDD, paso a modo asincrónico y cambios en la frecuencia de estimulación. Ninguna de estas alteraciones reportadas fueron irreversibles.

#### 10.4 RADIACIONES IONIZANTES

Las radiaciones utilizadas para radiodiagnóstico no producen interferencias en los dispositivos cardiacos.

Las radiaciones utilizadas en radioterapia sí pueden producir alteraciones en los marcapasos y en los DAI.

Venselaar (31) en un estudio in vitro con 67 marcapasos describió las diferencias de susceptibilidad entre diferentes marcapasos, no existiendo relación con la dosis de radiación, algunas alteraciones se originaron con dosis mínimas y otras con dosis altas, estas diferencias según Souliman (32) se deben a la diferente conformación de los componentes del circuito. Las alteraciones en los marcapasos se producen por un efecto directo de las radiaciones sobre el generador, siendo la mayoría irreversibles. Las disfunciones que encontraron Salmio (33), Venselaar (31) y Rait (34) fueron: pérdida de la sensibilidad, alteraciones en la telemetría, cambios en la frecuencia de estimulación, cambios en la energía de salida, paso a modo de agotamiento. Estos defectos dependen sobre todo de la dosis acumulada, de la velocidad de administración y de la potencia utilizada en la radiación, aunque no debemos olvidar que se describieron disfunciones con dosis mínimas. Por tanto los pacientes que tiene mayor probabilidad de tener disfunciones en sus marcapasos son aquellos que reciben radioterapia torácica, sobre todo en caso de cáncer de mama o pulmón.

Rodríguez (35) observó en pocos pacientes descargas inapropiadas del DAI al ser sometidos a radioterapia, esta alteración se relacionó directamente con la cantidad total de irradiación, es decir por un efecto acumulativo.

No existe contraindicación para la realización de radioterapia en pacientes con dispositivos cardiacos pero se recomienda utilizar un protector en la zona del generador y evaluar el funcionamiento después de cada sesión.

### 10.5 RESONANCIA MAGNETICA NUCLEAR

Gimbel (36) y Fetter (37) describieron disfunciones graves en el funcionamiento de los marcapasos de pacientes sometidos a esta exploración diagnóstica, sin embargo en otros estudios recientes no se observaron estas disfunciones graves, Hayes (38), Jonsos (39), Alagona (40), Imbar (41), el motivo de esta diferencia es la programación del marcapaso, se observó menos alteración cuando los marcapasos se programan en modo asincrónico con la función de imán apagada.

Con los DAI existen pocos estudios, Gimbel (36) y De Cock (43) con una población estudiada menor a 30 pacientes describieron en tres pacientes alteraciones en el funcionamiento del DAI, en uno de ellos ocurrió fallecimiento del paciente por fibrilación ventricular. Aunque no disponemos de estudios con una muestra suficiente para elaborar conclusiones, se recomienda que en el caso de ser necesaria la realización de una resonancia magnética nuclear en estos pacientes se deben desactivar todas las formas de terapia del DAI para evitar disfunciones de este dispositivo.

### Bibliografía

1. - Irnich W, Barold S. Interference protection in Cardiac pacemakers. In Barol SS: Modern Cardiac Pacing. Chapter 38:839-855. FUTURA. New York, 1985
2. - Pérez L, Castro A. Influencias ambientales en los marcapasos: MARCAPASOS 1999; 14: 235-266
3. - Irnich W: Mobile Telephones and Pacemakers. PACE 1996, 19: 1407-9
4. - Achenbach S, Moshagem W, Diem B. Effects of magnetic resonance imaging on cardiac pacemakers and electrodes: AM HEART J 1997, 134: 467-473
5. - Irnich W. Interference in pacemakers. PACE 1984; 7: 1021-1048

6. - Barold SS, Falkoff M, Ong L. Interference in cardiac pacemakers: exogenous sources. In Nabil El-Sheriff & Phillip Samet. "Cardiac Pacing and Electrophysiology, 3rd. Chapter 35: 608-633. W.B. Saunders Co. Philadelphia, 1991
7. - Hardaje M, Marbach J, Winsor D. The pacemaker patient in the therapeutic and diagnostic device environment. En Barold SS: Modern cardiac pacing. Chapter 39: 857-886. FUTURA. New York 1985
8. - Hayes DL, Wang P, Reynolds D, Steffens R. Interference with cardiac pacemakers by cellular telephones. N Eng J Med 1997; 336:1473-1479
9. - Naegely B, Osswald S, Deola M. Intermittent pacemaker dysfunction caused by digital Movable telephones. J Am Coll Cardiol 1996; 27:1471-1477
10. - Barbaro V, Bartolini P, Donato A, Militello C. Electromagnetic interference of analog cellular telephones with pacemakers: PACE 1996; 19: 1410-1418
11. - Barbaro V, Bartolini P, Donato A, Militello C. Do European GSM mobile cellular phones pose a potential risk to pacemaker patients?. PACE 1995; 18: 1218-1224
12. - Bassen H, Moore H, Ruggera P. Cellular phone interference testing of implantable cardioverter defibrillators (abstract). CIRCULATION 1995, 92: 738
13. - Stanton M, Grice S, Trusky J. Safety of various cellular phone technologies with implantable cardioverter defibrillators. PACE 1996; 19:583
14. - Madrid A, Sanchez A, Bosch E. Dysfunction of implantable defibrillators caused by slot machines. PACE 1997, 20: 212-214
15. - Sanmartín M, Lozano I, Marquez J. Ausencia de interferencia entre teléfonos móviles GSM y desfibriladores implantables. REV ESP CARDIOL 1997, 50: 715-719
16. - Beaugeard D, Kacet S, Bricout M, Camblin J. Interferences entre les stimulateurs cardiaques et les détecteurs de vol dans les magasins. ARCH MAL CŒUR 1992 ; 85 : 1457-1461
17. - Astridge PS, Kaye GC. The response of implanted dual chamber pacemakers to 50 Hz extraneous electrical interference. PACE 1993; 16: 1966-1974
18. - Tiovonen L, Vañjus J, Hongisto M, Metso T. The influence of elevated 50 Hz electric and magnetic fields on implanted cardiac pacemakers: the role of the lead configuration and programming of the sensitivity. PACE 1991; 14:2114-2122
19. - Gamarra AC. Interferencias electromagnéticas de los marcapasos en industrias siderometalúrgicas. MEDICINA Y SEGURIDAD DEL TRABAJO. 1988; 139: 35-55
20. - Toff WD, Camm AJ. Implanted devices and aviation. EUR HEART J. 1988; 9 (supplement G): 133-138
21. - Pfeiffer D, Tebbenjohanns J. Pacemaker function during radiofrequency ablation. PACE 1995; 18: 1037-1044
22. - Ellenbogen KA, Wood MA, Stambler B. Acute effects of radiofrequency ablation of atrial arrhythmias on implanted permanent pacing systems. PACE 1996; 19: 1287-1295
23. - Vanerio G, Maloney J, Rashidi R. The effects of percutaneous catheter ablation on pre-existing permanent pacemakers. PACE 1990; 13(I): 1637-1645
24. - Levine PA, Barold S, Fletcher RD. Adverse acute and chronic effects of electrical defibrillation and cardioversion on implanted unipolar cardiac pacing systems. J AM COLL CARDIOL 1983; 1: 1413-1422

25. - Altamura G, Bianconi L, Lo Bianco F. Transthoracic DC shock may represent a serious hazard in pacemaker dependent patients. PACE 1995; 18: 194-189
26. - Palac RT, Hwang MH, Klodnycky ML. Delayed pulse generator malfunction after DC countershock. PACE 1981; 4: 163-167
27. - Gould L, Patel S, Gomes GI. Pacemaker failure following external defibrillation. PACE 1981; 4: 575-577
28. - Das G, Eaton J. Pacemaker malfunction following transthoracic countershock. PACE 1981; 4: 487-490
29. - Hayes L, Trusty J, Christiansen J. A prospective study of electrocautery's effect on pacemaker function. PACE 1987; 10: 686
30. - Erdman S, Levinsky L, Servadio C. Management of pacemaker patients while using electrocautery in surgical procedures. PACE 1987; 10: 672
31. - Venselaar JLM, Van kerkoerle JL, Vet AJ. Radiation damage to pacemakers from radiotherapy. PACE 1987; 10: 538-542.
32. - Souliman SK, Christie J. Pacemaker failure induced by radiotherapy. PACE 1994; 17 (I): 270-273
33. - Salmi J, Eskola HJ, Pitkannen MS, Malmivuo JAV. The influence of electromagnetic interference and ionising radiation on cardiac pacemakers. Onkol 1990; 116: 153-156.
34. - Raitt MH, Stelzer KJ, Laramore GE, Bardy GH. Runaway pacemaker during high-energy neutron radiation therapy. Chest 1994; 106:995-957
35. - Rodriguez F, Filimonov A, Henning A. Radiation induced effects in multiprogramable pacemakers and implantable defibrillators. PACE 1991, 14: 2143-2153
36. - Gimbel JR, Johnson D, Levine PA, Wilkoff B. Safe performance of magnetic resonance imaging on five patients with permanent cardiac pacemakers. PACE 1996; 19:913-919
37. - Fetter J, Aram G, Holmes DR, Gray JE, Hayes DL. The effects of nuclear magnetic resonance imagers on external and implantable pulse generators. PACE 1984; 7:720-727.
38. - Hayes D, Holmes D, Gray J. Effect of 1.5 tesla nuclear magnetic resonance imaging on five implanted permanent pacemakers. J AM COLL CARDIOL 1987; 10: 782-786
39. - Jonsos D, Magnetic resonance imaging effects a consideration with permanent cardiac pacemaker. PACE 1994; 17(II): 772.
40. - Alagona P, Toole JC, Maniscalco BS, Glover MU, Abernathy GT, Prida XE. Nuclear magnetic resonance imaging in a patient with a DDD pacemaker (letter). PACE 1989; 12(I): 619.
41. - Imbar S, Larson J, Burt T, Mafee M, Ezri MD. Case report: nuclear magnetic resonance imaging in a patient with a pacemaker. Am J Med Sci.1993; 305

## **Ondas Electromagnéticas y Cáncer.**

**Enrique Espinosa, Pilar Zamora y Manuel González Barón.**

Servicio de Oncología Médica. Hospital La Paz. Pº de la Castellana, 261. 28046 Madrid.  
oncopaz@ene.es

### **Resumen y Conclusiones**

Hay poca base teórica para afirmar que las radiaciones de baja potencia produzcan cáncer. A pesar de ello, varios trabajos científicos ofrecen datos en este sentido, lo cual ha llevado a realizar multitud de estudios. Las líneas de alta tensión no parecen peligrosas para la salud de los niños y ni siquiera está demostrada la relación con las leucemias. En cuanto a los adultos que trabajan en el sector eléctrico, tampoco se ha podido constatar esta relación. El personal de vuelo sufre una mayor incidencia de tumores de la piel, si bien en este caso la fuente de radiación es el sol. Los pequeños electrodomésticos, que también producen radiación de baja potencia, no parecen implicados en la producción de cáncer. Entre estos dispositivos destacan los teléfonos móviles.

### **Introducción**

El cáncer es una de las enfermedades que más preocupan en el mundo civilizado. No en vano, se trata de la segunda causa de muerte, por detrás de las afecciones cardiovasculares. Pero, al contrario que estas últimas, el cáncer despierta más temor, porque se asocia con el dolor y con el sufrimiento. Por este motivo, cada vez que se habla de que "algo" puede producir cáncer, tiene lugar una pequeña conmoción social. Recordemos el caso reciente de los soldados que acudieron en misiones de paz a la antigua Yugoslavia:

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

algunos medios de comunicación indicaron que parecía haber más casos de tumores entre estas personas, quizá como consecuencia de la exposición a uranio empobrecido o a alguna otra sustancia tóxica que hubiera en la zona. Posteriormente se demostró que esta alarma había sido injustificada, pero hasta entonces muchos familiares de aquellos soldados vivieron preocupados.

¿Por qué se produce el cáncer? En teoría, todas las células de nuestro organismo saben cuándo y cuánto tienen que multiplicarse, pero los mecanismos que regulan estos procesos pueden llegar a funcionar mal. Si esto sucede, las células comienzan a proliferar sin control e, incluso, adquieren la capacidad de invadir otros órganos. En la mayoría de las ocasiones, no se sabe por qué sucede esto, si bien se conocen algunas causas. Por ejemplo, los fumadores tienen un riesgo muy aumentado de padecer varios tipos de cáncer. Otras sustancias químicas también son peligrosas (asbesto, benceno, cloruro de vinilo, por ejemplo), pero la población general no suele estar expuesta a las mismas. En casos contados, la infección crónica por algunos tipos de virus puede aumentar el riesgo de sufrir cáncer. Un último grupo de riesgo lo constituyen las radiaciones. Después nos centraremos en las radiaciones. De todos modos, tal y como hemos indicado, en la mayoría de las personas que padecen un cáncer no se identifican factores desencadenantes; solemos pensar, a falta de una explicación mejor, que es el puro azar el responsable.

### **Radiaciones como productoras de cáncer**

Las radiaciones existen de forma natural. El Sol es la principal fuente de radiación electromagnética en nuestro entorno, pero también se genera radiación en la propia Tierra. Desde finales del siglo pasado, a estas fuentes naturales se han añadido gran cantidad de aparatos creados por el hombre - líneas eléctricas, electrodomésticos y máquinas industriales. Estos aparatos nos exponen a una radiación adicional, pero dependemos tanto de ellos que la radiación que producen es casi tan inevitable como la natural. Como es lógico, no todas las radiaciones tienen la misma potencia. Las más potentes se llaman

ionizantes, y son los rayos gamma, los rayos X y la luz ultravioleta. Las menos potentes se llaman no ionizantes: entre ellas figuran los infrarrojos y las debidas a la mayoría de los aparatos (MGB). El peligro que entrañan las radiaciones ionizantes está bien definido y los trabajadores que pueden llegar a exponerse a ellas llevan unos aparatos denominados dosímetros que miden la radiación acumulada a lo largo de un tiempo. En esta revisión nos centraremos en las radiaciones no ionizantes, es decir, las de baja energía, puesto que son las presentes entre la población general y aquellas sobre cuyo peligro existe polémica.

La primera constatación de que las radiaciones podían ser peligrosas provino del descubrimiento de los rayos X. Los radiólogos pioneros se exponían sin protección a estos rayos durante buena parte de su vida profesional, y se observó que algunos desarrollaban tumores de la piel. Por este motivo, el personal de un servicio de radiología debe trabajar detrás de un cristal protector. Además, los equipos se han modernizado para producir menos radiaciones, de modo que el riesgo al que se someten los enfermos sea prácticamente nulo, incluso aunque necesiten realizarse radiografías periódicamente. Lógicamente, las radiaciones más potentes son más peligrosas y buena prueba de ello fue lo sucedido tras las explosiones atómicas de la Segunda Guerra Mundial, un tema del que luego hablaremos más despacio.

¿Por qué las radiaciones son peligrosas? Es fácil intuir que las radiaciones son energía y que la energía puede dañar el ADN. El ADN es una gran molécula presente en todas las células del organismo que contiene todos nuestros genes. Entre sus funciones, se encuentran aquellas encargadas de que las células se dividan y, en consecuencia, den lugar a nuevas células. Las células nuevas sustituyen continuamente a las que mueren para que la vida continúe. Si el ADN se estropea, puede ocurrir que la célula comience a dividirse sin control, lo cual es el primer paso para la aparición del cáncer. No en vano, el cáncer está considerado como un grupo de enfermedades genéticas. Cada vez se conocen mejor los genes involucrados en la aparición y la progresión del cáncer aunque, como ya dijimos antes, se sabe menos sobre la causa última que altera estos genes.

La teoría de que las radiaciones pueden dañar el ADN no ha sido perfectamente aclarada. Varios investigadores aplicaron campos electromagnéticos sobre diversos tipos de células y fueron incapaces de encontrar genes dañados (Loberg y cols., 2000; Saffer y cols., 1995). Esto no significa que las radiaciones no sean peligrosas, sino que desconocemos dónde se produce el daño. Hoy en día se piensa que las radiaciones no lesionan directamente al ADN, pero aumentan el riesgo de que falle el mecanismo de división de la célula (Goodman y Shirley-Henderson, 1990).

### **Bombas atómicas y cáncer**

Las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki expusieron a una gran población a dosis altas de radiaciones. Además de las muertes inmediatas, pocos años después comenzaron a aparecer más casos de leucemias de los esperados. Cuando transcurrió más tiempo, también aumentó la incidencia de otros tumores. Obviamente, en nuestro medio no estamos expuestos a radiaciones tan intensas, pero nos interesa comentar este asunto para hablar de los métodos de estudio en las poblaciones.

Relacionar la radiación de las bombas con las leucemias fue relativamente sencillo. El número de casos comenzó a elevarse a los dos años de las explosiones y se hizo muy llamativo a partir del quinto año. Por supuesto, antes del bombardeo ya se daban casos de leucemias entre la población (el azar), pero después aparecieron más casos de los previsibles: esto es lo importante. Además, se observó que la población infantil era más susceptible al efecto de las radiaciones, es decir, que el aumento del número de leucemias se daba principalmente en niños.

En cuanto a otros tumores, el asunto fue bastante más complicado. Para averiguar lo que sucedió y sigue sucediendo con aquella población expuesta a la radiación de las bombas atómicas, se ha venido realizando un seguimiento a gran escala. Por ejemplo, en un estudio se está vigilando periódicamente a 120.000 personas que por entonces vivían cerca de Hiroshima y Nagasaki y que, consecuentemente, recibieron cierta dosis extra de

radiación. No se eligió a los habitantes más expuestos, porque está muy claro que éstos sufrieron problemas de salud. Es lo mismo que ha sucedido en el área de Chernobil después del accidente de una central nuclear: las personas que vivían muy cerca y sus descendientes padecen secuelas graves, pero interesa saber también lo que sucede a cierta distancia, allí donde la radiación recibida fue menor. Gracias a este tipo de estudios se ha sabido que, a partir de los diez años de las explosiones atómicas comenzó a incrementarse el número de cánceres de tiroides, de piel y otros (Ron y cols., 2000). No fue un incremento tan llamativo como en el caso de las leucemias: en una población tan grande, habrían aparecido de todas maneras miles de casos con el paso del tiempo, por puro azar. En consecuencia, el aumento del número de cánceres habría pasado desapercibido si no se hubieran realizado ciertos cálculos. El exceso de tumores tampoco tuvo lugar de repente, sino poco a poco a lo largo de más de 40 años. En Chernobil, parece haber aumentado ya el número de leucemias, pero aún ha pasado poco tiempo para que ocurra lo mismo con otros tipos de cáncer.

Es importante contar lo difícil que resulta conseguir estos datos porque suele creerse – erróneamente - que casi todas las personas expuestas a radiaciones van a sufrir un cáncer y que éste va a aparecer al poco tiempo de la exposición. Hablamos, por supuesto, de exposiciones relativamente bajas, como fue el caso de aquellas personas que vivían a cierta distancia de las bombas o del accidente nuclear. De este ejemplo sacamos una conclusión interesante: para saber si un factor (radiaciones o cualquier otro) aumenta el riesgo de padecer cáncer, habrá que estudiar al mayor número posible de personas expuestas durante mucho tiempo.

### **Radiaciones artificiales en nuestro entorno**

Afortunadamente, los casos de exposición masiva a radiaciones han sido la excepción a lo largo de la historia. Pero sigue habiendo fuentes de radiación a nuestro alrededor, fuentes de baja potencia. Durante las últimas décadas, se ha prestado mucha

atención al riesgo que podían entrañar las líneas de alta tensión. Se ha hablado de casos de leucemias entre los niños que vivían cerca de estos tendidos. Después hablaremos de este tema. También se han estudiado los tumores que aparecían entre operarios expuestos a emisiones electromagnéticas en su puesto de trabajo. Incluso se ha debatido respecto a las populares mantas eléctricas y, más recientemente, los teléfonos móviles.

Cualquiera de estas fuentes de radiación es poco potente. Tras lo que hemos comentado en el apartado anterior, se puede deducir que debe de ser muy difícil demostrar que estas fuentes supongan un riesgo. En efecto, se han realizado muchos estudios sobre los tendidos de alta tensión, algunos a gran escala, y todavía no se puede dar una respuesta categórica. El problema es que vivimos rodeados de aparatos que emiten ondas electromagnéticas y que ya no podemos prescindir de ellos. Las líneas eléctricas pueden enterrarse, pero ¿qué hacemos con los teléfonos, los electrodomésticos de la cocina, los televisores, los ordenadores, etcétera?

Siempre habrá radiaciones electromagnéticas artificiales a nuestro alrededor, hemos de aceptar este hecho, pero no podemos obsesionarnos con el tema. Lo lógico es estudiar con rigor las fuentes sospechosas para saber si realmente entrañan un peligro y, en caso afirmativo, obrar en consecuencia. La información debe provenir de estudios serios y no de opiniones o de conclusiones obtenidas por personas que no sean expertas. Los medios de comunicación son proclives a desvelar datos preocupantes sin prestar mucha atención a los detalles. Hace ya una década, un investigador norteamericano denunciaba que cierta prestigiosa revista había informado sobre la relación entre los campos electromagnéticos y el cáncer, basándose en información poco fidedigna (Jauchem, 1992). Los periodistas consultaron estudios cuya validez estaba seriamente cuestionada por la comunidad científica. El problema se magnificó cuando terceras personas emitieron juicios basados en la información aparecida en la revista.

Veamos ahora lo que se sabe sobre la maquinaria y las líneas de alta tensión. Después nos ocuparemos de los teléfonos móviles y otras fuentes de radiaciones.

## Tumores infantiles<sup>1</sup>

Los estudios más importantes sobre radiaciones y cáncer infantil provienen de Norteamérica, Gran Bretaña y los países nórdicos. Estos estudios se llaman de casos y controles, porque las mediciones de campo electromagnético se realizan en la zona de residencia de las personas enfermas y de otras personas tomadas al azar (los controles). Lo primero que debe definirse es la zona de riesgo. En el caso de las líneas de alta tensión, la densidad del campo magnético está elevada en los 500 metros más próximos. La densidad del campo magnético se mide en micro-teslas ( $\mu\text{T}$ ) y a partir de un valor de 0,2 se considera alto. Lógicamente, cuanto más nos aproximamos a la fuente, más se eleva el valor y, a menos de 50 metros, puede llegar a 0,5  $\mu\text{T}$  o más<sup>2</sup>. Hay que tener en cuenta que el campo electromagnético detectado no sólo se debe a las líneas eléctricas, sino a cualquier aparato que funcione en la casa.

Se ha sugerido que las radiaciones electromagnéticas artificiales podrían elevar la incidencia de algunos tumores infantiles, como leucemias y linfomas (los linfomas son tumores de los ganglios linfáticos). Así se desprendería de los estudios realizados hasta principios de la década de los noventa. Sin embargo, los resultados de tales estudios fueron cuestionados: era discutible el modo en el que se medía la exposición y no se tenía en cuenta la variabilidad del campo electromagnético (Jauchem y Merritt, 1991).

Varios estudios escandinavos mejor realizados y publicados a primeros de los años noventa reflejaban pequeños aumentos de incidencia en algunos tumores infantiles. En 1995 se publicó un análisis que combinaba tres de estos estudios (Ahlbom y cols., 1993). Se encontró que los niños que vivían en zonas con un campo magnético de 0'2 a 0'5  $\mu\text{T}$  tenían el doble de riesgo de sufrir una leucemia que el resto de la población. En un grupo de personas que vivía en zonas con alta densidad de campo electromagnético, la frecuencia llegaba a ser cinco veces superior a la esperada. El riesgo respecto al linfoma era menor, pero aún así superior a lo esperado. Puede pensarse que todo ello debió de hacer saltar la

---

<sup>1</sup> Ver también el artículo de F. Vargas y los apéndices correspondientes en este libro (Nota del Editor).

<sup>2</sup> Para información más amplia, véase el artículo de C. Llanos (Nota del Editor).

alarma social, pero los propios investigadores recomendaron interpretar con cautela sus resultados. El motivo era bien sencillo: aunque matemáticamente el número de tumores estaba aumentado, se trataba de cifras muy pequeñas, debido a que los tumores infantiles son relativamente raros y a que el número de personas que vivía cerca de las fuentes de radiación era también pequeño. Cuando se trabaja con estas cifras, el riesgo de que los cálculos sean inexactos es muy alto. A veces, los cálculos se realizaban sólo con 3 ó 4 casos y esto deja un margen de error elevado.

Más recientemente se publicó un trabajo británico que analizaba casi 4.000 casos de tumores infantiles y 8.000 controles (UK Childhood Cancer Study Investigators, 1999). Se incluían poblaciones expuestas a campos de densidad baja, que es lo habitual en nuestro medio. No se encontró relación con las leucemias ni con los tumores cerebrales. Idéntico resultado arrojaron dos trabajos canadienses (McBride y cols., 1999; Green y cols., 1999), pero a éstos se les puede criticar el pequeño número de casos analizados (menos de 500). En 1997 apareció un trabajo muy bien realizado en Estados Unidos, que no encontró relación entre las radiaciones electromagnéticas y la leucemia (Linnet y cols., 1997). Este es uno de los estudios que tiene más peso en la opinión actual sobre el tema.

En el año 95 apareció un análisis que combinaba los resultados de varios estudios previos (Meinert y Michaelis, 1996). El resultado final no podía considerarse concluyente. Parecía existir un pequeño incremento en la incidencia de leucemias, que eran 1'6 veces más frecuentes cuando los niños vivían expuestos a campos electromagnéticos, mientras que en cuanto al resto de los tumores no había evidencia de riesgo. Los autores comentaban que, de todos modos, los estudios podían tener algunos defectos de método, especialmente, que establecían los puntos de corte después de tener los resultados, lo cual restaría credibilidad a las conclusiones.

Para terminar con el capítulo de tumores infantiles, otro trabajo analizó el papel que podían jugar las radiaciones recibidas por la madre durante el embarazo (y en los períodos anterior y posterior al mismo) (Sorahan y cols., 1999). Se estudiaron más de 15.000 casos y

otros tantos controles y no se encontró relación entre la exposición y ningún tipo de tumor infantil, incluyendo las leucemias y los tumores cerebrales.

Podemos resumir diciendo que no parece que vivir cerca de fuentes de radiación electromagnética (como las líneas de alta tensión) aumente el riesgo de cáncer infantil. Aunque algunos investigadores hablan de una incidencia ligeramente mayor de leucemia, sus estudios tienen problemas de método que los hacen criticables. De todas maneras, en nuestro país cada vez quedan menos líneas de alta tensión cercanas a las zonas residenciales, por lo que no parece que este tema vaya a ser causa de preocupación en el futuro.

### **Cáncer en el adulto**

Ya hemos visto que los niños pueden estar expuestos a campos electromagnéticos provenientes de las líneas de alta tensión o de los aparatos del hogar. En el caso de los adultos, se suma la exposición laboral, que afecta especialmente a los trabajadores del sector eléctrico. También hay que hacer constar la exposición a otras sustancias peligrosas, como el tabaco, disolventes o colorantes. Comentaremos brevemente algunos trabajos realizados en adultos.

Un estudio sueco comparó la exposición laboral de 250 enfermos de leucemia, 261 de tumores cerebrales y de 1.210 controles tomados al azar (Floderus y cols., 1993). En las personas más expuestas a radiaciones se advirtió un aumento del número de leucemias crónicas (2 veces más frecuentes) y de tumores cerebrales (1'5 veces más frecuentes). De Noruega proviene un trabajo que investigó a más de 37.000 personas del sector eléctrico. Los datos se compararon con los de la población general. Llamó la atención el número de leucemias, que fue 1'4 veces superior entre las personas expuestas. La relación con las leucemias también fue encontrada por unos investigadores canadienses, que estudiaron a 31.000 trabajadores del sector eléctrico (Villeneuve y cols., 2000). El mayor riesgo - diez veces por encima de la media - aparecía entre las personas con una exposición más intensa a lo

largo de 20 años de ejercicio profesional. En Francia se analizó la frecuencia de cáncer y la exposición a radiaciones en 170.000 trabajadores del sector eléctrico (Guenel y cols., 1996). Estas personas sufrieron una incidencia de tumores cerebrales tres veces superior a la de la población general, pero no pareció haber relación con las leucemias. Otro trabajo europeo ha encontrado los mismos resultados (Savitz y cols., 2000).

Los resultados repasados hasta ahora apuntan en la misma dirección, pero también hay estudios que indican lo contrario, es decir, que no encuentran relación entre las radiaciones y el cáncer en el adulto. Aquí destaca un trabajo danés que reunió 32.000 trabajadores de 99 compañías y analizó lo sucedido entre los años 1968 y 1993 (Johansen y Olsen, 1998). Se observaron 3.000 tumores, pero ello no supuso un incremento respecto a lo esperado. Concretamente, la incidencia de leucemias o de tumores cerebrales fue similar a la de la población general. Lo mismo respecto a los tumores cerebrales se encontró en otro estudio de una cohorte de 84.000 trabajadores canadienses (Harrington y cols., 1997).

Dos estudios han analizado las tasas de tumores entre la población adulta que residía cerca de equipos de transmisión eléctrica y no ha encontrado una mayor incidencia (Schreiber y cols., 1993; Dolk y cols., 1997). En los años noventa también se relacionó el cáncer de mama con la exposición a emisiones electromagnéticas, pero varios estudios encontraron resultados poco concluyentes. Una revisión de todos estos estudios sobre cáncer de mama recomendaba continuar investigando y no se atrevía a emitir conclusiones (Caplan y cols., 2000).

Todos estos estudios tienen el mismo problema que señalábamos al hablar del cáncer infantil: hay muy pocas personas que, por su trabajo, estén habitualmente expuestas a campos electromagnéticos intensos. Parece que estas personas tienen un riesgo mayor de padecer cáncer y sería aconsejable que sus empresas adoptaran algunas precauciones, como podría ser la rotación de puestos. La mayoría de los trabajadores del sector eléctrico conviven con campos menos intensos y aquí la asociación con el cáncer está menos clara. Resumiendo, hoy en día no se puede afirmar categóricamente que el trabajo en el sector eléctrico sea inocuo pero, de existir algún riesgo, éste es pequeño.

### **Pequeños electrodomésticos**

Las populares mantas eléctricas fueron puestas en el punto de mira hace varios años. Se sugirió que podían incrementar el riesgo de padecer algunos tumores, como el de mama o el de próstata. Sin embargo, varios estudios realizados al respecto no han encontrado semejante asociación (Gammon y cols., 1998; Zheng y cols., 2000; Zhu y cols., 1999). A tenor de lo expuesto en los apartados previos, sería extraño pensar que un aparato que sólo se utiliza de vez en cuando pudiera incrementar significativamente el riesgo de cáncer.

No hemos encontrado datos sobre pantallas de ordenador u hornos microondas, que son otros aparatos domésticos que emiten radiaciones de baja frecuencia.

### **Personal de vuelo**

Se ha debatido mucho sobre el tema del personal de vuelo. En el caso de estos profesionales, la fuente de radiación es natural. Los aviones vuelan por encima de la capa de protección del ozono, por lo que las radiaciones solares podrían dañar la piel e incrementar el riesgo de padecer tumores cutáneos. Unos investigadores noruegos estudiaron a los pilotos que habían trabajado entre los años 1964 y 1994 en su país (Haldorsen y cols., 2000). Aparecieron 200 tumores, cuando lo esperable hubiera sido 188. El aumento más llamativo correspondía al melanoma (1'8 veces más frecuente) y a otros tumores de la piel (2'4 veces más frecuentes). La incidencia de otros tipos de cáncer no se vio significativamente aumentada. Los autores, sin embargo, dudaban a la hora de atribuir los tumores de piel a las radiaciones solares; señalaban que estos profesionales también se exponían al sol con frecuencia en su tiempo libre.

Este estudio sirve, una vez más, como ejemplo típico de todos los trabajos comentados, indicando que resulta muy difícil extraer conclusiones definitivas. En 2000 apareció publicado un análisis que combinaba los resultados de seis estudios realizados entre los años 1986 y 1998. Se incluían pilotos y personal auxiliar de vuelo (Ballard y cols.,

2000). Se encontró que la mortalidad por melanoma era 11 veces superior que en la población general, tanto entre los pilotos como entre las azafatas. Existían pequeños aumentos de incidencia en los tumores cerebrales, de próstata y de mama. El análisis combinado sirve, en este caso, para obtener resultados un poco más claros que con cada estudio individual. En el caso del personal de vuelo, la relación con los tumores de la piel puede considerarse bien establecida.

### **Teléfonos móviles**

Hemos dejado para el final el tema de más actualidad. Los teléfonos móviles son los aparatos que más rápidamente han pasado a formar parte de nuestra vida diaria. En casi todos los hogares hay, por lo menos, un teléfono móvil. De ahí la inquietud producida por la sugerencia de que su uso podría dar lugar a tumores cerebrales. Por supuesto, resulta difícil creer que esto vaya a suceder si el teléfono se emplea de vez en cuando, pero muchas personas pasan varias horas al día conversando a través del mismo.

Una de las primeras menciones sobre la posible relación entre los teléfonos móviles y el cáncer fue a través de una conocida cadena de televisión norteamericana. El ciudadano entrevistado aseguraba que su esposa había fallecido a causa de un tumor cerebral porque se pasaba la vida hablando por teléfono. A pesar de que esta afirmación se basaba en la experiencia de un solo caso y que, por tanto, no tenía valor científico, cundió la alarma.

¿Hay posibilidad de que la energía emitida por uno de estos aparatos sea peligrosa? Los teléfonos móviles emiten una señal de radiofrecuencia de 800 a 2000 megahertzios. El calor que puedan producir no sería capaz de elevar la temperatura del cerebro más allá de 0'1 grados, luego no cabe esperar un daño por calentamiento. En cuanto a las radiaciones, emiten las agrupadas con el nombre de no ionizantes, es decir, de baja potencia. Un estudio realizado en ratones demostró que la exposición diaria a pulsos de 900 mega-hertzios aumentaba la incidencia de linfoma (Repacholi y cols., 1997). Lo que sucede es que tales experimentos no se pueden extrapolar directamente a los humanos. Una

revisión de los estudios de laboratorio concluyó que no existía una base razonable para relacionar los teléfonos móviles con el cáncer (Moulder y cols., 1999).

A pesar de todo ello, la alarma social obligó a realizar una serie de estudios epidemiológicos. Esta alarma, dicho sea de paso, ha sido relativa, puesto que el número de usuarios no ha dejado de aumentar y quizá tenga más que ver con las demandas interpuestas por los familiares de algunas personas fallecidas por tumores cerebrales.

Recientemente han aparecido cinco estudios sobre el tema (Rothman y cols., 1996; Hardell y cols., 1999; Muscat y cols., 2000; Johansen y cols., 2001; Inskip y cols., 2001). En uno de ellos los resultados son dudosos, pero los otros cuatro son categóricos al afirmar que no hay relación entre el uso de teléfonos móviles y el cáncer. Incluso entre las personas que más tiempo pasaban hablando tampoco se observaba ningún riesgo. Tampoco es cierto, como se había llegado a afirmar, que aumentara el número de tumores en el lado del cerebro más cercano al teléfono.

Siempre habrá quien considere insuficientes todos estos datos. No se puede negar que el seguimiento es todavía corto y que no sabemos con seguridad lo que ocurrirá cuando el público lleve más años utilizando rutinariamente estos aparatos, pero hoy por hoy se puede afirmar que los teléfonos móviles no aumentan el riesgo de padecer un tumor cerebral.

¿Puede decirse lo mismo de los niños? Este tema no se ha estudiado. Cabe la posibilidad de que los niños, con un cerebro en crecimiento, pudieran ser más susceptibles a las emisiones electromagnéticas. Nadie ha podido demostrarlo, entre otras cosas porque hay muchos menos niños que adultos utilizando a diario teléfonos móviles y el asunto sería muy difícil de analizar. Por el momento, algunas organizaciones han aconsejado prudencia a la hora de permitir que los niños empleen rutinariamente teléfonos móviles.

## Bibliografía

- Ahlbom A, Feychting M, Koskenvuo M, Olsen J, Pukkala E, Schulgen G, Verkasalo P. Electromagnetic fields and childhood cancer. *Lancet* 1993;342:1295-6
- Ballard T, Lagorio D, de Angelis G, Verdecchia A. Cancer incidence and mortality among flight personnel: a meta-analysis. *Aviat Space Environ Med* 2000;71:216-24
- Caplan LS, Schoenfeld ER, O'Leary ES, Leske MC. Breast cancer and electromagnetic fields. A review. *Ann Epidemiol* 2000;10:31-44
- Dolk H, Elliott P, Shaddick G, Walls P, Thakrar B. Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. *Am J Epidemiol* 1997;145:10-7
- Floderus B, Persson T, Stenlund C, Wennberg A, Ost A, Knave B. Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukemia and brain tumors: a case-control study in Sweden. *Cancer Causes Control* 1993;4:465-76
- Gammon MD, Schoenberg JB, Britton JA, Kelsey JL, Stanford JL, Malone KE y cols. Electric blanket use and breast cancer risk among younger women. *Am J Epidemiol* 1998;148:556-63
- González Barón M, Casado E. Cáncer y medio ambiente. Ed. Noesis, Madrid 1997
- Goodman R, Shirley-Henderson A. Exposure of cells to extremely low-frequency electromagnetic fields: relationship to malignancy? *Cancer Cells* 1990;8:1-7
- Green LM, Miller AB, Villeneuve PJ, Agnew DA, Greenberg ML, Li J y cols. A case-control study of childhood leukemia in southern Ontario, Canada, and exposure to magnetic fields in residences. *Int J Cancer* 1999;82:161-70
- Guenel P, Nicolau J, Imbernon E, Chevalier A, Goldberg M. Exposure to 50-Hz electric field and incidence of leukemia, brain tumors and other cancers among French electric utility workers. *Am J Epidemiol* 1996;144:1107-21
- Haldorsen T, Reitan JB, Tveten U. Cancer incidence among Norwegian airline pilots. *Scand J Work Environ Health* 2000;26:106-11
- Hardell L, Nasman A, Pahlson A, Hallquist A, Hansson Mild K. Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: a case-control study. *Int J Oncol* 1999;15: 113-6
- Harrington JM, McBride DI, Sorahan T, Paddle GM, van Tongeren M. Occupational exposure to magnetic fields in relation to mortality from brain cancer among electricity generation and transmission workers. *Occup Environ Med* 1997;54:7-13
- Inskip PD, Tarone RE, Hatch EE, Wilcosky TC, Shapiro WR, Selker RG y cols. Cellular telephone use and brain tumors. *N Engl J Med* 2001;344:79-86
- Jauchem JR. Epidemiologic studies of electric and magnetic fields and cancer: a case study of distortions by the media. *J Clin Epidemiol* 1992;45:1137-42
- Jauchem JR, Merritt JH. The epidemiology of exposure to electromagnetic fields: an overview of the recent literature. *J Clin Epidemiol* 1991;44:895-906
- Johansen C, Olsen KH. Risk of cancer among Danish utility workers: a nationwide cohort study. *Am J Epidemiol* 1998;147:548-55
- Johansen C, Bice JD, McLaughlin JK, Olsen JH. Cellular telephones and cancer: a nationwide cohort study in Denmark. *J Natl Cancer Inst* 2001;93:203-7

- Linnet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, Robison LL, Kaune WT, Friedman DR y cols. Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. *N Engl J Med* 1997;337:1-7
- Loberg LI, Engdahl WR, Gauger JR, McCormick DL. Expression of cancer-related genes in human cells exposed to 60 Hz magnetic fields. *Radiat Res* 2000;153:679-84
- McBride ML, Gallagher RP, Theriault G, Armstrong BG, Tamaro S, Spinelli JJ y cols. Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada. *Am J Epidemiol* 1999;149:831-42.
- Meinert R, Michaelis J. Meta-analyses of studies on the association between electromagnetic fields and childhood cancer. *Radiat Environ Biophys* 1996;35:11-8
- Moulder JE, Erdreich LS, Malyapa RS, Merritt J, Pickard WF, Vijayalaxmi. Cell phones and cancer: what is the evidence for a connection? *Radiat Res* 1999;151:513-31
- Muscat JE, Malkin MG, Thompson S, Shore RE, Stellman SD, McRee D y cols. Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *JAMA* 2000;284:3001-7
- Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, Noonan D, Finnie J, Harris AW. Lymphomas in E mu-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat Res* 1997;147:631-40
- Ron E, Preston DL, Mabuchi K. Solid cancer incidence and mortality in the life span of atomic bomb survivors. *Natl Academy Press* 2000, "http://www.nap.edu/openbook".
- Rothman KJ, Loughlin JE, Funch DP, Dreyer NA. Overall mortality of cellular telephone customers. *Epidemiology* 1996;7:303-5
- Saffer JD, Thurston SJ, Lacy-Hulbert A, Wilkins RC, Hesketh TR, Metcalfe JC. Cancer risk and electromagnetic fields. *Nature* 1995;375:22-3
- Savitz DA, van Caj J, Wijngaarden E, Loomis D, Mihlan G, Dufort V y cols. Case-cohort analysis of brain cancer and leukemia in electric utility workers using a refined magnetic field job-exposure matrix. *Am J Ind Med* 2000;38:417-25
- Schreiber GH, Swaen GM, Meijers JM, Slangen JJ, Sturmans F. Cancer mortality and residence near electricity transmission equipment: a retrospective cohort study. *Int J Epidemiol* 1993;22:9-15
- Sorahan T, Hamilton L, Gardiner K, Hodgson JT, Harrington JM. Maternal occupational exposure to electromagnetic fields before, during and after pregnancy in relation to risks of childhood cancers: findings from the Oxford Survey of Childhood Cancers, 1953-1981 deaths. *Am J Ind Med* 1999;35:348-57
- UK Childhood Cancer Study Investigators. Exposure to power-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer. *Lancet* 1999;354:1925-31
- Villeneuve PJ, Agnew DA, Miller AB, Corey PN, Purdham JT. Leukemia in electric utility workers: the evaluation of alternative indices of exposure to 60 Hz and magnetic fields. *Am J Ind Med* 2000;37:607-17
- Zheng T, Holford TR, Mayne ST, Owens PH, Zhang B, Boyle P y cols. Exposure to electromagnetic fields from use of electric blankets and other in-home electrical appliances and breast cancer risk. *Am J Epidemiol* 2000;151:1103-11
- Zhu K, Weiss NS, Stanford JL, Daling JR, Stergachis A, McKnight B y cols. Prostate cancer in relation to the use of electric blanket or heated water bed. *Epidemiology* 1999; 10:83-5



## **Evaluación del Riesgo para la Salud de los Campos Electromagnéticos.**

**Francisco Vargas Marcos.**

Subdirector General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral. Dirección General de Salud Pública y Consumo. Ministerio de Sanidad y Consumo.

### **Resumen y Conclusiones**

Es difícil imaginar la sociedad actual sin el uso de la electricidad, los electrodomésticos, la radio, la televisión o la telefonía que son aplicaciones que utilizan las ondas electromagnéticas.

Nadie cuestiona la utilidad de estos avances tecnológicos que hacen más cómoda la vida cotidiana. Sin embargo, en los últimos años se ha generado una cierta preocupación por los hipotéticos efectos de los campos electromagnéticos (CEM) sobre la salud humana. La inquietud se ha visto incrementada por el despliegue masivo de las antenas de telefonía móvil y por el uso generalizado de los teléfonos portátiles o celulares que funcionan en el espectro de las radiofrecuencias.

El objetivo de este trabajo es describir de forma general los aspectos más relevantes de la evaluación del riesgo como una metodología eficaz para fundamentar las decisiones de control sanitario de los CEM del espectro de 0Hz a 300 Hz.

Se señalan los elementos más destacados de la percepción del riesgo, se revisan las medidas de gestión del riesgo adoptadas por las organizaciones internacionales y las autoridades competentes, se comenta el principio de precaución y se resume la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos de 0Hz-300Hz 199/519/CE.

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

## 1. INTRODUCCIÓN. PERCEPCIÓN DEL RIESGO.

Es bien cierto que las noticias alarmistas son más atractivas para los medios de comunicación que las buenas noticias. En relación con los CEM las informaciones que destacan los efectos negativos suelen disponer de más atención y espacio en la mayoría de los medios. Parte de esta inquietud procede de la publicación de algunos trabajos que han asociado la exposición de los CEM de baja frecuencia a la aparición de varias enfermedades como la leucemia infantil y diversos tipos de cáncer. Esta preocupación se ha disparado en nuestro país por la instalación de la red de estaciones base necesarias para dar cobertura a los teléfonos portátiles o móviles.

La mayoría de los investigadores y las organizaciones internacionales coinciden en afirmar que actualmente no se han demostrado efectos negativos para la salud derivados de la exposición a CEM en los niveles recomendados por la Unión Europea. Tampoco existe un modelo biológico plausible que pueda explicar el desarrollo de enfermedades asociadas a la exposición de CEM. A pesar de ello persisten las dudas sobre posibles riesgos.

Un factor importante de cómo se percibe el riesgo es que los CEM, salvo la luz visible, no se pueden ver, oler, oír o tocar. Los posibles riesgos son intangibles, no se perciben de forma clara y con frecuencia se refieren a potenciales consecuencias negativas a largo plazo. La exposición a CEM se valora como un riesgo invisible susceptible de ser controlado por las autoridades sanitarias. 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 "otras" entidades, sean estas públicas o privadas. Prueba de ello es la preocupación social por las líneas de alta tensión o por la instalación de antenas de telefonía móvil, en cuyo rechazo por parte de algunos ciudadanos hay motivos económicos y de impacto visual curiosamente. 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 es consecuencia de la alerta suscitada por la instalación de las "estaciones de base" de telefonía móvil en el casco urbano y en el medio rural. Hay evidentes razones estéticas o paisajísticas en el rechazo a la instalación de antenas de telefonía móvil. Sin duda se ha convertido en un medio de movilización política y social utilizado por todos los partidos y organizaciones sociales. Son numerosos los Ayuntamientos que han adoptado decisiones injustificadas para alejar las antenas de telefonía o incluso han decidido suspender la autorización de las instalaciones. Esta decisión puede dar votos pero impide que funcionen los aparatos de telefonía móvil. Al mismo tiempo el alejamiento de las antenas obliga a incrementar la potencia de emisión consiguiendo un efecto contrario al que teóricamente se persigue. La realidad actual es que se está poniendo en peligro el funcionamiento de la telefonía sin disponer de una base científica que lo justifique.

Sí sabemos los efectos biológicos que producen los CEM pero ello no significa que tengan consecuencias para la salud. Sin embargo, los ciudadanos perciben la palabra "radiación" como peligrosa, asociada a la radiación ionizante (rayos X) y, por si acaso, se oponen a algo que les es desconocido. Es curioso que los CEM procedentes de los aparatos electrodomésticos, trenes, TV, radio, ordenadores etc., no despierten el mismo rechazo que los de las líneas de alta tensión o la telefonía móvil (efecto fobia). Conviene recordar que no existe el riesgo cero, todos estamos expuestos a numerosos agentes químicos, físicos y biológicos que están relacionados con la presentación de numerosas enfermedades. También es legítimo el derecho a reclamar que se adopten las medidas más eficaces para garantizar que no estamos expuestos a radiaciones superiores a las admitidas por los organismos internacionales.

En este sentido las autoridades sanitarias deben velar por evitar o reducir la emisión de sustancias o riesgos que puedan provocar daños a la salud. De esta manera se reducirá el temor a los efectos de los CEM.

Un factor clave que ha contribuido a incrementar el alarmismo ha sido la ausencia de una normativa reguladora de las antenas de telefonía que estableciera los límites de

exposición y las condiciones para autorizar su instalación mediante un proceso claro y transparente.

Parece sorprendente que los CEM sean tratados como si fueran contagiosos. Las radiofrecuencias no son agentes infecciosos, no hay evidencia que justifique decisiones drásticas al menos hasta que se detecte algún riesgo por pequeño que sea. Todos estos elementos conforman la percepción actual del riesgo en nuestro país. La forma más eficaz de mejorar esta situación es transmitir una información objetiva, científica e independiente en términos comprensibles.

## 2. EVALUACIÓN DEL RIESGO

Para proporcionar una información rigurosa sobre los riesgos para la salud de los CEM y como pueden controlarse es necesario realizar una evaluación del riesgo. 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.).

En relación con sus efectos sabemos que los CEM producen los siguiente efectos agudos derivados de su acoplamiento con el cuerpo humano:

- Cargas, corrientes y estimulación eléctrica.
- Reacciones químicas, formación dipolos.
- Aumento de temperatura 1-2° C. Efectos térmicos.
- El SNC puede afectarse por densidades de corriente  $> 10 \text{ m A/m}^2$ .
- Reacciones y respuestas biológicas no perjudiciales.
- Modificación de la permeabilidad celular (iones calcio).
- Alteración de dispositivos sanitarios o implantes médicos.
- No se han demostrado mecanismos biológicos que expliquen la interacción de los sistemas biológicos y los CEM.

### **Radiaciones de Baja Frecuencia**

Respecto a los efectos sobre la salud merece la pena resumir las conclusiones de uno de los estudios más exhaustivos realizado por el National Institute of Environmental Health Sciences (USA). Las principales conclusiones de este trabajo fueron las siguientes:

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

- La evidencia epidemiológica sobre cáncer en niños y adultos es inconsistente, no conclusiva e insuficiente.
- Existen algunas asociaciones entre la exposición y el cáncer, pero no se han identificado sistemas mecanicísticos ni evidencia en experimentación animal que explique las asociaciones observadas.
- Es una hipótesis que debe ser más estudiada.
- Adoptando el criterio del IARC<sup>1</sup>, el Grupo de Trabajo (19/28) concluyó que la exposición a CEM es un "posible" carcinógeno humano.
- Esta conclusión se basa en una limitada evidencia de un riesgo incrementado de leucemia infantil y de leucemia linfocítica crónica asociada con exposición ocupacional.
- Respecto a otros cánceres y otras enfermedades relacionadas, los datos experimentales no proporcionan evidencia
- Las asociaciones estudiadas sobre leucemia infantil y leucemia linfocítica crónica no pueden ser rechazadas o clasificadas como negativas.
- La probabilidad de que la exposición a los CEM sea un peligro para la salud es actualmente pequeña.
- La exposición a los CEM no puede ser reconocida como totalmente segura.
- No están justificadas medidas regulatorias agresivas pero, debido a la amplia y diaria exposición, es necesario adoptar medidas regulatorias pasivas y educar al público para reducir la exposición. Igual que recomendamos no someternos a exposiciones intensas de luz solar por su relación con el cáncer de piel.

Los estudios epidemiológicos más recientes realizados con CEM de baja frecuencia han demostrado que los resultados observados son poco consistentes y que raramente se ha

encontrado una relación dosis respuesta. 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 (Ahlbon y col. y Greenland y col.) que reanalizaron estudios epidemiológicos ya publicados. En el primer trabajo se observó un aumento del riesgo significativo en niños expuestos a niveles superiores a 0,3  $\mu\text{T}$ , en el estudio de Greenland, este efecto se observó en niveles de 0,4  $\mu\text{T}$ . La explicación de este riesgo es desconocida aunque podría deberse a sesgos del estudio.

Como resumen de ambos estudios los autores afirman que en el 99,2% de los niños estudiados, que residen en casas con niveles de exposición menores a 0,4  $\mu\text{T}$  no se observaron incrementos en el riesgo de desarrollar leucemia, mientras que el 0,8% de los niños, con exposición mayor a 0,4  $\mu\text{T}$ , 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. En el estudio de Greenland y colaboradores se afirma 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. Esta conclusión será de gran utilidad en el futuro a la hora de decidir la realización de estudios epidemiológicos.

### **Efectos en radiofrecuencias**

Son pocos los estudios realizados hasta el momento sobre exposición a CEM de radiofrecuencias y cáncer de cerebro en adultos.

---

<sup>1</sup> IARC: International Agency for Research on Cancer. Véase la clasificación IARC en el Adendum al capítulo escrito por C. F. Blackman (Nota del Editor).

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. La conclusión del estudio fue 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). Según estos autores sus 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 períodos de latencia largos.

En un estudio publicado en febrero de 2001 (Johansen y col.) se valoró la incidencia de cáncer, en personas que utilizaron teléfonos móviles desde 1982 a 1995, en Dinamarca. No se observó ningún exceso del riesgo en los cánceres de cerebro, sistema nervioso, leucemia o glándulas salivares. Los autores concluyen que los resultados no apoyan la hipótesis de una asociación entre el uso de los teléfonos móviles y la aparición de tumores. Los autores también señalan que el estudio disponía de pocas personas con una utilización prolongada de la telefonía móvil.

La revisión de los estudios epidemiológicos y experimentales revelan que no hay, actualmente, evidencia para adoptar medidas más estrictas que las establecidas por la Unión Europea. ¿Entonces qué medidas deben aplicarse para garantizar la salud de la población?. A la luz de estas evidencias, ¿cómo gestionamos el riesgo observado, aunque este sea muy pequeño?.

### 3. GESTIÓN DEL RIESGO

El resultado final de la evaluación de riesgo nos permite formular las recomendaciones o medidas que deben aplicarse para reducir o evitar los riesgos aunque estos sean mínimos. En relación con las radiofrecuencias no existen evidencias de riesgos para la salud. El único riesgo real detectado es en los conductores de vehículos que utilizan el teléfono móvil. El riesgo de colisión se ha estimado (Redelmeier y Tibshirani, 1997) en 4 veces más en los que estaban usando el teléfono o acababan de recibir una llamada. En este caso sí están justificadas diversas medidas para evitar el uso del teléfono mientras se conduce.

Puede plantearse la cuestión de que ahora no tenemos suficiente información debido al poco tiempo transcurrido desde la introducción de la telefonía móvil. Por eso actualmente están en marcha varios estudios destinados a evaluar la relación del uso de los teléfonos móviles y algunos tipos de cáncer. Entre ellos debe mencionarse al US National Cancer Institute que está realizando un estudio caso-control sobre 700 casos de cáncer y 100 de neurinomas del acústico. También el IARC está coordinando el proyecto "Interphone", estudio caso-control en 13 países, 8 en Europa, que utilizarán un mismo protocolo, los resultados se publicarán en el año 2004 (Citado por Rothman, 2000).

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.

La inquietud por algunos de los resultados obtenidos en determinados estudios es la que justifica que la Unión Europea haya adoptado el Principio de Precaución como fundamento de la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad y como fundamento de la gestión del riesgo observado en exposiciones agudas a CEM procedentes de diversas fuentes.

Pero ¿qué es el principio de precaución?. Este se definió como principio fundamental en artículo 174 del Tratado de la Comunidad Europea y ha sido ratificado en el Consejo de Niza. Su aplicación está directamente relacionada con la gestión del riesgo, 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 a 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.**

La Recomendación, ya citada, esta inspirada en estos principios y en la evaluación de la evidencia actual. De forma resumida los fundamentos de la iniciativa europea son los siguientes:

- \* Protección de la salud de los ciudadanos.
- \* Dirigida a los efectos agudos comprobados.
- \* Establecer límites de exposición del público.
- \* Armonizar los criterios de protección a nivel europeo.
- \* Compatibilizar la protección de la salud con la utilización de las telecomunicaciones.

- \* Basada en la información científica disponible (ICNIRP, Comité Científico Director, evaluación periódica de evidencias).
- \* Desarrollo de normas para el diseño, pruebas de equipos y métodos de medición de CEM.
- \* No afecta los productos sanitarios (prótesis metálicas, marcapasos, etc.).
- \* Posibilidad de que los Estados Miembros establezcan niveles más estrictos.

Las recomendaciones se basan en el establecimiento de un marco de Restricciones Básicas y unos Niveles de Referencia que no deben ser superados para garantizar la protección de la salud.

Las responsabilidades de los Estados Miembros se dirigen a las siguientes actividades:

- Evaluar la exposición (Anexo III). Métodos o normas nacionales o europeos.
- Evaluar las situaciones que implican fuentes de más de una frecuencia (Anexo IV), en términos de restricciones básicas y de niveles de referencia.
- Tener en cuenta duración de la exposición, partes del cuerpo expuestas, edad y condiciones sanitarias.
- Analizar riesgos/beneficios.
- Proporcionar al ciudadano información en un formato adecuado.
- Promover la investigación sobre CEM y salud humana.
- Elaborar informes sobre experiencias obtenidas. Informar a los 3 años a la Comisión.

Por su parte la Comisión Europea debe asumir las siguientes tareas:

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

- Establecer normas europeas para los procedimientos de cálculo y medición.
- Fomentar investigación de los efectos a corto y largo plazo.
- Participar en los trabajos de las Organizaciones Internacionales. Consensuar directrices y consejos sobre medidas de protección y prevención.
- Revisar la aplicación de esta Recomendación. Profundizar en el principio de precaución. Elaborar un informe en el plazo de 5 años.

En cumplimiento de la Recomendación Europea el Ministerio de Sanidad y Consumo y el Ministerio de Ciencia y Tecnología han elaborado un proyecto de Real Decreto que recoge los límites de exposición previstos en los anexos de la Recomendación. No cabe duda que su publicación oficial contribuirá a disminuir los temores no justificados sobre los peligros potenciales de los CEM.

Recientemente un Grupo de Expertos coordinados por la Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral, de la Dirección General de Salud Pública del Ministerio de Sanidad y Consumo, ha publicado un trabajo titulado "Campos Electromagnéticos y Salud Pública" ([www.msc.es/salud/ambiental/home.htm](http://www.msc.es/salud/ambiental/home.htm)) que respalda la aplicación en nuestro país de la Recomendación Europea. Al mismo tiempo se decanta por mantener un enfoque preventivo, actualizar la información científica y promover campañas de información ciudadana.

En relación con las radiofrecuencias el Grupo de Expertos propone las siguientes Recomendaciones:

- Cumplimiento de la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la U.E.
- Realizar campañas informativas (uso racional, reducir exposiciones innecesarias en personas sensibles, conducción de vehículos).

- Clarificar el procedimiento de solicitud, autorización, instalación e inspección de antenas de telefonía móvil.
- Clasificar y etiquetar los teléfonos móviles en función de sus potencias de emisión.
- Evitar instalar antenas de telefonía móvil cerca de escuelas, centros de salud, hospitales o parques públicos.

La aplicación efectiva de las Recomendaciones de este Grupo de Expertos y la aprobación del Real Decreto citado es una medida eficaz para garantizar la salud pública de los ciudadanos. Sin embargo, las autoridades sanitarias deberán estar al día de los nuevos avances que puedan producirse en el conocimiento de los efectos de los CEM y deberán promover la investigación sobre CEM y salud humana.

Por último, se ofrecen algunas direcciones de internet relacionadas con los CEM y la salud pública.

- *American Radio Relay League: [www.arrl.org](http://www.arrl.org)*
- *American National Standards Institute: [www.ansi.org](http://www.ansi.org)*
- *Bioelectromagnetics Society: [www.bioelectromagnetics.org](http://www.bioelectromagnetics.org)*
- *COST 244 (Europe): [www.radio.fer.hr/cost244](http://www.radio.fer.hr/cost244)*
- *DOD: [www.brooks.af.mil/AFRL](http://www.brooks.af.mil/AFRL) (select radiofrequency radiation)*
- *European Bioelectromagnetics Association: [www.ebea.org](http://www.ebea.org)*
- *Electromagnetic Energy Association: [www.elecenergy.com](http://www.elecenergy.com)*
- *Federal Communications Commission: [www.fcc.gov/oet/rfsafety](http://www.fcc.gov/oet/rfsafety)*
- *ICNIRP (Europe): [www.icnirp.de](http://www.icnirp.de)*
- *IEEE: [www.ieee.org](http://www.ieee.org)*
- *IEEE Committee on Man & Radiation: [www.seas.upenn.edu/~kfoster/comar.htm](http://www.seas.upenn.edu/~kfoster/comar.htm)*
- *International Microwave Power Institute: [www.impi.org](http://www.impi.org)*
- *Microwave News: [www.microwavenews.com](http://www.microwavenews.com)*
- *J.Moulder, Med.Coll.of Wisc.: [www.mcw.edu/gcrc/cop/cell-phone-health-FAQ/toc.html](http://www.mcw.edu/gcrc/cop/cell-phone-health-FAQ/toc.html)*
- *National Council on Radiation Protection & Measurements: [www.ncrp.com](http://www.ncrp.com)*

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

- .. *NJ Dept Radiation Protection: [www.state.nj.us/dep/rpp](http://www.state.nj.us/dep/rpp) (select non-ionizing radiation)*
- .. *Richard Tell Associates: [www.radhaz.com](http://www.radhaz.com)*
- .. *US OSHA: [www.osha-slc.gov/SLTC](http://www.osha-slc.gov/SLTC) (select subject: radiofrequency radiation)*
- .. *Wireless Industry (CTIA): [www.wow-com.com](http://www.wow-com.com)*
- .. *Wireless Industry (PCIA): [www.pcia.com](http://www.pcia.com)*
- .. *World Health Organization EMF Projetc: [www.who.ch/peh-emf](http://www.who.ch/peh-emf)*
- .. *Ministerio de Sanidad y Consumo: [www.msc.es/salud/ambiental/home.htm](http://www.msc.es/salud/ambiental/home.htm)*

## 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.
- 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.
- Communication de la Comisión sur le recours au principe de précaution. Comisión 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
- 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.
- Johansen C, Óbice J Jr, McLaughlin J, Olsen J. Cellular telephones and cancer a nationwide cohort study in Denmark *J Natl cancer Inst.* 2001 Feb 7;93 (3):166-7
- 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.
- 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 *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.
- Peter Inskip y cols. Uso de telefonos celulares y cancer del cerebro. *NEJM.* 2001; 344: 79-86.
- 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.
- Represa, J. Y Llanos, C. Cinco años de investigación sobre los efectos biológicos de los campos electromagnéticos de frecuencia industrial en los seres vivos. Universidad de Valladolid, CSIC, UNESA y Red Eléctrica de España. Marzo 2001.
- Rothman K. Epidemiological evidence on health risks of cellular phones. Lancet 2000 ;356:1837-1840.
- Stewart W. Mobile Phones and Health. Independent Expert Group on Mobile Phones. May. 2000. <http://www.iegmp.org.uk/IEGMPtxt.htm>
- Téléphones mobiles et santé. Direction Générale 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).
- Ubeda A, Trillo MA. Radiaciones Rf de antenas de telefonía y salud pública: el estado de la cuestión. Radioprotección 1999 ; 20 Vol VII .
- Vargas, F. Riesgos para la salud humana de las exposiciones ambientales a campos eléctricos y magnéticos. Física y Sociedad. n°10 Monográfico. 1999.

## **Apéndice a los Efectos Biológicos de los Campos Electromagnéticos.**

### **Revisión de Datos Epidemiológicos en Grupos Expuestos a Campos Electromagnéticos de Frecuencia Industrial (50/60 Hz)**

Sección tomada del documento: "CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS Y SALUD PÚBLICA", Informe Técnico elaborado por el Comité de Expertos comisionados por la Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral, Dirección General de Salud Pública y Consumo, Ministerio de Sanidad y Consumo < [www.msc.es/salud/ambiental/home.htm](http://www.msc.es/salud/ambiental/home.htm) >

**COORDINADORES : Francisco Vargas y Alejandro Úbeda**

#### **MIEMBROS DEL COMITÉ**

- Azanza Ruiz, María Jesús.
- Ferrero Andreu, Lluís.
- Kogevinas, Manolis.
- Martínez Búrdalo, Mercedes.
- Represa de la Guerra, Juan José.
- Sebastián Franco, José Luis.
- Úbeda Maeso, Alejandro.
- Vargas Marcos, Francisco.
- Zabala Lekue, Eduardo.

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

## ANÁLISIS Y REVISIÓN DE LOS 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> 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>. Para estimar la exposición se valoró la distancia entre las casas y los cables eléctricos, teniendo en cuenta el tipo de

---

<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  $p < 0,05$ ).

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>).

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.

---

<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.

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 (Pollán, 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.**

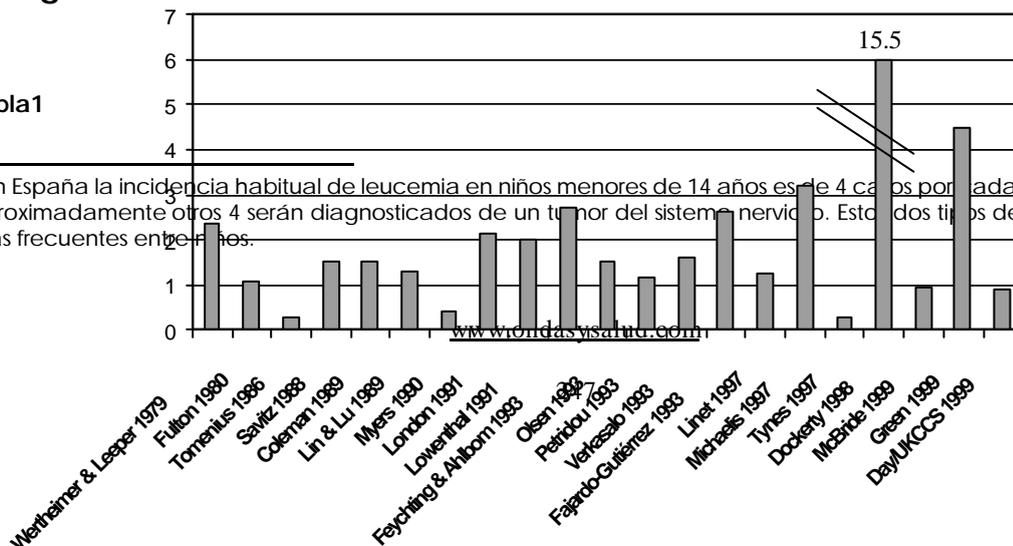
Estudios de exposición residencial en adultos. Se estudió la exposición debida a la presencia de cables de conducción eléctrica, así como la procedente de aparatos eléctricos de uso doméstico. Varios estudios epidemiológicos de tipo caso-control han llevado a cabo evaluaciones precisas de la exposición. 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>. 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. (Linet,1997).

### Riesgos Relativos

Tabla1

<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.



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>5</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%
< 0,1mT	1 (grupo de referencia)
0,1- 0,2mT	1,08 (0,86-1,32)
0,3- 0,4mT	1,12 (0,84-1,51)
>0,4mT	2.08 (1,30-3,33)
Greenland y cols 2000	
£0,1mT	1 (grupo de referencia)

<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.

>0,1- £0,2mT	1.0 (0.81-1.22)
>0,2- £0,3mT	1.13 (0.92-1.39)
>0,3mT	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)

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

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.

#### **ALGUNAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL COMITÉ Seleccionadas por su relación con los efectos de campos de bajas frecuencias**

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.

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.

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.

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.

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.

## **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.

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.

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

- 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>]
- 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.
- 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.
- 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.
- Pollán M. Breast cancer, occupation and exposure to electromagnetic fields among Swedish men. *American Journal of Industrial Medicine.* 2001,39-3:276-285.
- 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.
- 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.
- 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.
- Wertheimer N, Leeper E, Electric wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 1979; 109: 273-84.

## Telefonía Móvil y Salud Pública <sup>1</sup>

**Alejandro Úbeda Maeso**

Servicio de Bioelectromagnética. Dpto. Investigación. Hospital Ramón y Cajal. 28034 Madrid.

### Resumen y Conclusiones

El uso generalizado de la telefonía móvil ha dado lugar a un incremento de la exposición del público a campos electromagnéticos en el rango de los GHz. Este tipo de exposiciones es relativamente reciente, por lo que la información que poseemos para evaluar correctamente sus posibles efectos sobre la salud, aunque es muy amplia, debe ser todavía completada en algunos de sus aspectos. El presente capítulo revisa la evidencia existente sobre posibles influencias de la exposición a señales de telefonía móvil en la salud de los ciudadanos. Esta evidencia comprende estudios experimentales, en animales y humanos, y estudios epidemiológicos o basados en encuestas. Los posibles efectos revisados incluyen la etiología del cáncer, procesos implicados en la electrogénesis cerebral, efectos neuroendocrinos, efectos neurológicos y problemas de compatibilidad electromagnética para implantes activos. En su conjunto, los datos revisados no son indicativos de una relación causal entre exposición a señales de baja potencia -a las que están típicamente expuestos los usuarios de teléfonos móviles y las personas que viven cerca de las antenas de telefonía- y la iniciación, promoción o progresión de procesos cancerosos. En lo concerniente a los diversos estudios sobre voluntarios, las respuestas observadas hasta hoy no han aportado pruebas de efectos nocivos. Sí se han observado indicios de respuestas fisiológicas y reversibles a niveles de potencia supuestamente incapaces de provocar incrementos significativos en la temperatura de los tejidos expuestos. Estas respuestas de origen aparentemente no térmico deben ser estudiadas en

---

<sup>1</sup> Algunos párrafos incluidos en el presente texto han sido publicados previamente por el autor en: Salud y Ondas Electromagnéticas. Segundo Ciclo de Primavera de la Salud. Ed. Fundación Complutense, Madrid (2001, en prensa). Dichos párrafos se reproducen aquí con el permiso de los editores del trabajo original.

detalle, si bien, dada su naturaleza, se interpretan como reacciones fisiológicas normales ante un estímulo físico y no se las considera relevantes desde un punto de vista patológico. En cualquier caso, la realización de mejores estudios, tanto epidemiológicos como experimentales, es considerada prioritaria por la Organización Mundial de la Salud y por otras agencias y organismos internacionales. Varios de estos estudios se encuentran en fase de ejecución y proporcionarán resultados definitivos en los próximos años.

## 1. INTRODUCCIÓN

La rápida expansión de la telefonía móvil lleva aparejada una elevación significativa de los niveles ambientales de campos electromagnéticos (CEM) no ionizantes en el rango de las radiofrecuencias-microondas (RF-MW), principalmente en algunas áreas urbanas. Las posibles consecuencias sobre la salud humana de la exposición a dichos campos son objeto de interés creciente por parte del público y de autoridades responsables de salud ambiental. En respuesta a dicho interés, la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), un comité de expertos comisionado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), elaboró en 1998 una directiva para la protección del público en general y de los trabajadores contra posibles efectos nocivos de exposiciones agudas a CEM no ionizantes. La directiva especifica los niveles de referencia y las restricciones básicas que deben ser respetados para garantizar la seguridad de los ciudadanos frente las exposiciones. Los criterios y conclusiones de ICNIRP-OMS fueron adoptados por el Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea (CUE), que les dio forma de Recomendación en 1999 (1999/519/CE). Los países firmantes del documento se comprometieron a desarrollar en un plazo breve las estrategias oportunas, legales y técnicas, para dar cumplimiento a las medidas establecidas en la Recomendación. Así lo ha hecho España, cuyo Parlamento aprobó en septiembre de 2001 una ley, en forma de Real Decreto (RD 1066/2001)<sup>2</sup>, redactada conjuntamente por los Ministerios españoles de Ciencia y Tecnología y de Sanidad y Consumo. Dicha ley, que tiene entre sus objetivos fundamentales la salvaguarda

---

<sup>2</sup> Ver texto en [www.mcyt.es](http://www.mcyt.es). Ver también el capítulo de J. Cañadas en este libro.

de la salud pública ante potenciales efectos nocivos de los campos no ionizantes emitidos por sistemas de radiocomunicación, se basa en las conclusiones de diversos grupos de expertos, incluyendo el ICNIRP, el CUE y el Comité de Expertos Independientes coordinado por el Ministerio español de Sanidad y Consumo<sup>3</sup>. El presente artículo contiene datos básicos sobre las características de las exposiciones a CEM de fuentes relacionadas con la tecnología de la telefonía móvil, y revisa de forma resumida la evidencia científica y experimental que justifica la adopción de medidas dirigidas a restringir la exposición del público a dichos CEM.

## **2. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO Y LOS CEM NO IONIZANTES**

Existen diversas fuentes naturales y artificiales que generan energía en forma de ondas electromagnéticas. Estas ondas consisten en campos eléctricos y magnéticos oscilatorios que son capaces de interactuar de formas diferentes con los sistemas biológicos, incluidos los seres humanos. En términos generales, y a igualdad de otros factores y parámetros, la forma en que las ondas electromagnéticas afectan a los sistemas biológicos viene determinada por la intensidad y la frecuencia de la señal. Así, los campos o radiaciones electromagnéticas pueden clasificarse en “ionizantes” y “no ionizantes” (RNI)<sup>4</sup>. Las radiaciones ionizantes corresponden a señales electromagnéticas de frecuencias extremadamente altas, como los rayos X y los rayos gamma, que transmiten a los sistemas biológicos energía suficiente como para romper enlaces atómicos y dividir moléculas en iones, positivos y negativos. A este fenómeno se le conoce como “ionización.” La denominación de campos no ionizantes se aplica a la porción del espectro electromagnético que posee energías demasiado débiles para romper las uniones atómicas. Incluso a altas intensidades, los campos no ionizantes son incapaces de provocar ionización en sistemas biológicos. En el rango de las frecuencias no ionizantes se incluyen:

---

<sup>3</sup> Ver texto en [www.msc.es/salud/ambiental/home.htm](http://www.msc.es/salud/ambiental/home.htm).

<sup>4</sup> Ver también el capítulo de A. Hernando y el diagrama del espectro electromagnético en Fig. 1 del capítulo de J.E. Moulder de este libro.

parte del espectro ultravioleta (UV), la luz visible y la infrarroja, las microondas (MW) y radiofrecuencias (RF), los campos de frecuencias medias, bajas y extremadamente bajas (ELF) y los campos eléctricos y magnéticos estáticos.

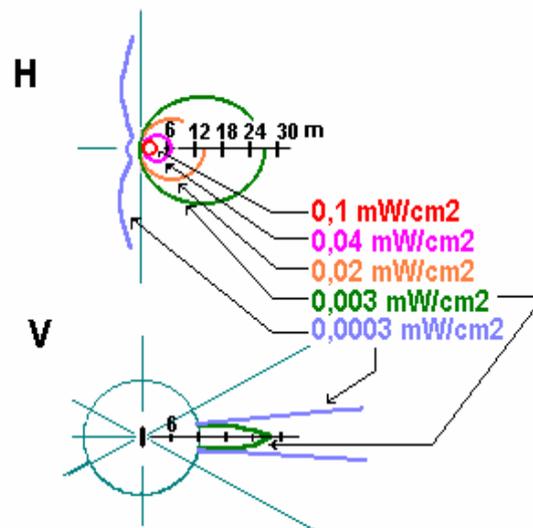
### **3. LOS CEM NO IONIZANTES EN TELEFONÍA MÓVIL.**

En la actualidad, la telefonía móvil europea utiliza mayoritariamente señales de 900 MHz (sistemas analógicos) o de 900 y 1800 MHz (sistemas digitales, GSM), de amplitud modulada a 16 Hz y 217 Hz, generalmente. En estos rangos de frecuencia, las exposiciones recibidas por el público tienen dos fuentes fundamentales: las antenas de las estaciones base (BTS), situadas en azoteas (áreas urbanas) o sobre mástiles emplazados en promontorios (áreas rurales, principalmente), y los propios teléfonos móviles. Si la distancia que media entre la fuente y el sujeto es muy superior a la longitud de la onda (centímetros en el caso de las frecuencias de telefonía móvil) se dice que la exposición tiene lugar en "campo lejano" y su caracterización es relativamente sencilla mediante el empleo de unidades como la densidad de potencia de la radiación (en  $W/m^2$ ). Es el caso de las exposiciones para personas que se encuentran en las proximidades (decenas de metros, como mínimo) de antenas fijas. Por el contrario, en el caso del teléfono, que se aplica a distancias más cortas que la longitud de onda de la señal, la exposición tiene lugar en "campo próximo" y su caracterización es mucho más compleja, siendo necesario acudir a estimaciones de la tasa de absorción específica o SAR (en  $W/kg$  de tejido) en las que intervienen parámetros como las dimensiones y morfología del cuerpo expuesto y las características eléctricas de los distintos tejidos que lo componen.

### **4. LA EXPOSICIÓN A RF CERCA DE ANTENAS FIJAS.**

Las antenas de una estación base dan servicio a un número limitado de teléfonos presentes en un momento dado dentro del área de acción, o célula, de la estación. Esta área de acción puede alcanzar distancias de varios kilómetros (macrocélulas) en medios

rurales, o reducirse a radios de 200 – 300 metros (microcélulas) en espacios urbanos, donde la estación debe dar servicio simultáneo a un número mucho más elevado de teléfonos. Un incremento en el número de usuarios en una zona determinada hará necesaria la instalación de un mayor número de antenas. Cuando alguien envía una llamada a nuestro teléfono móvil, la estación BTS en cuya célula nos encontramos nos localiza y comienza a actuar como receptor y reemisor de las señales RF correspondientes a la comunicación de doble vía que deseamos mantener. Si nos encontramos en movimiento y nos desplazamos hasta una célula adyacente, la nueva BTS se hará cargo inmediatamente de la comunicación. Tales estrategias, además de ser fundamentales para mantener la continuidad y calidad de la comunicación sin restringir la libertad de movimiento del usuario, permiten una máxima economía en la potencia de las emisiones.

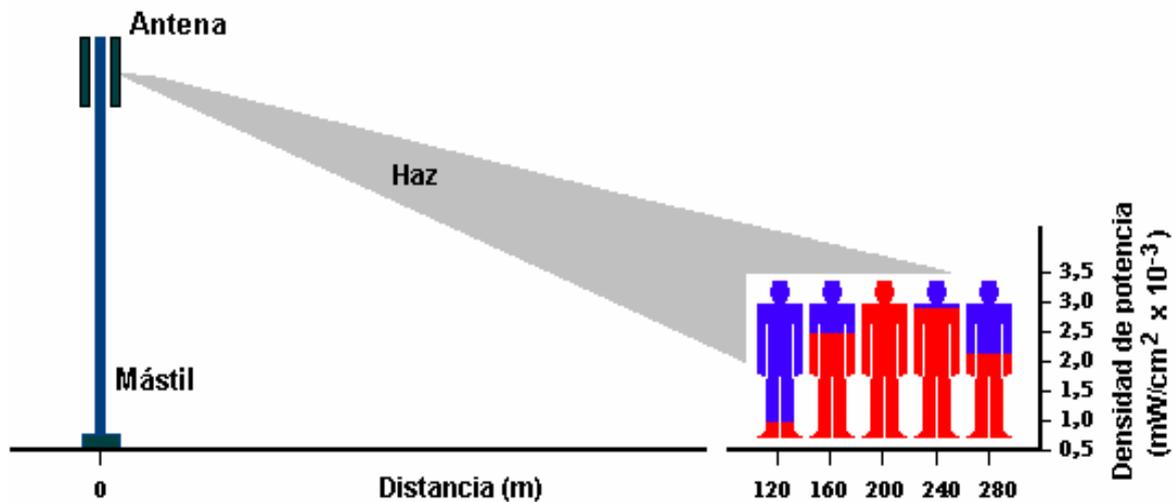


**Figura 1:** Niveles teóricos de emisión en una antena sectorial para una potencia de 300 W. H: Sección transversal de la emisión (horizontal). V: Sección axial (vertical). A partir de Úbeda y Trillo (1999), y esta a partir de Moulder (1998).

**Exposición a cortas distancias.** En la figura 1 se muestran los niveles teóricos de emisión de una antena en una BTS típica, operando a su máxima potencia: 300 W. Como puede observarse, a 2 metros de la antena en el plano horizontal (H) podrían registrarse densidades de potencia de hasta 0,1 mW/cm<sup>2</sup>, mientras a distancias superiores a 30 metros el valor se reduciría a 0,003 mW/cm<sup>2</sup>. En la vertical de la antena (V) los valores son mucho más bajos debido a la estrecha apertura del haz.

Estos cálculos han sido confirmados experimentalmente exponiendo modelos humanos ("phantoms" o maniqués), confeccionados con materiales que reproducen las características eléctricas de los tejidos internos y externos, a las emisiones (frecuencia de 935 MHz, potencia de 40 W rms) de una antena típica de estaciones urbanas. Los resultados revelaron que los límites marcados por ICNIRP y CUE sólo se excedieron cuando la distancia entre la antena y el modelo era inferior o igual a 65 cm [Cooper y col., 2000].

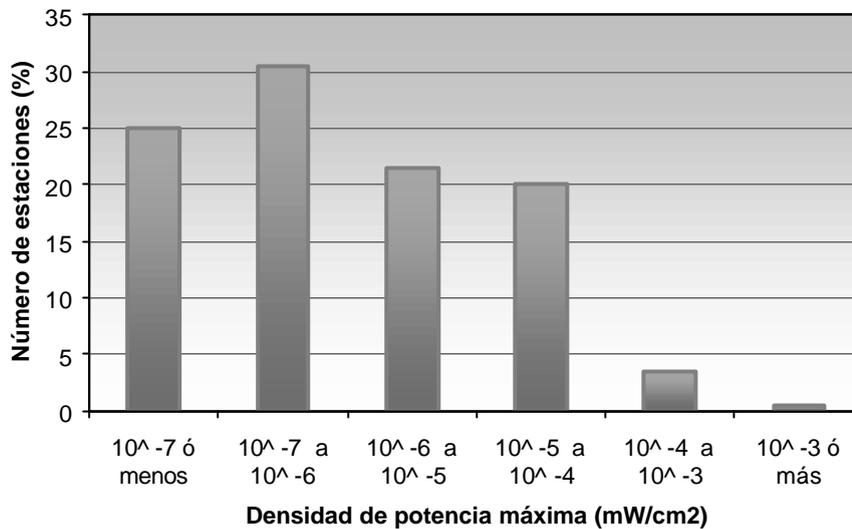
**A mayores distancias,** la exposición depende, entre otros factores, del número y características de las antenas, de su potencia de emisión, de la presencia de superficies que puedan alterar las señales, de la distancia (en el plano horizontal) que medie entre la estación y el punto a estudiar y de la diferencia de altura (en el plano vertical) entre el punto y las antenas. La figura 2 se basa en datos publicados por la British Medical Association (2001), y representa las densidades de potencia a que se verían expuestos sujetos situados a diferentes distancias de una antena GSM emitiendo a 900 MHz y ubicada en un mástil, a 15 metros de altura sobre el suelo. El eje central del haz principal de la emisión (apertura aproximada 6°) incidiría sobre el suelo a una distancia del mástil de aproximadamente 200 m. Los valores son válidos para situaciones en las que el haz alcanzaría directamente a los sujetos, sin haber sufrido perturbaciones causadas por la presencia de cuerpos entre la fuente y el punto de incidencia. Como puede observarse, los mayores índices de exposición se registran a distancias próximas a los 200 m ( $1 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3}$  mW/cm<sup>2</sup>).



**Figura 2:** Niveles de exposición (área roja en los histogramas antro-morfos) en función de la distancia a una antena GSM 900 típica. Los niveles más elevados ( $1,0 \cdot 10^{-3} - 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ mW/cm}^2$ ) se dan a distancias entre 100 y 300 m.

Por otra parte, mediciones reales llevadas a cabo en viviendas próximas a las antenas han proporcionado valores significativamente más bajos que los calculados para señales imperturbadas. Ello se debe a dos causas principales. En primer lugar, la potencia nominal de 300 W, empleada arriba a efectos de cálculo, no coincide con la potencia real de emisión, que no suele superar valores de 50 W en medios urbanos. En segundo lugar, los materiales con que están contruidos los tejados y muros de los edificios (telas asfálticas, tejas, ladrillos) pueden absorber o reflejar una parte sustancial de la radiación electromagnética. La figura 3 resume el resultado de mediciones realizadas en las proximidades de 200 estaciones base de telefonía móvil [Neubauer, 2000]. El gráfico muestra el número (en porcentaje) de estaciones en las que se registraron valores (densidades de potencia) máximos que caían dentro de los rangos indicados al pie de cada barra. Los

datos revelan que sólo en un porcentaje inferior al 5% de las estaciones (8/200) se registraron densidades máximas superiores a  $10^{-4}$  mW/cm<sup>2</sup>; la mayoría de los valores medidos (76%) eran inferiores a  $10^{-5}$  mW/cm<sup>2</sup>.



**Figura 3** Resultado de mediciones en las proximidades de 200 estaciones base. A partir de Neubauer (2000).

**A la hora de evaluar, en función de la distancia a las antenas,** el cumplimiento de las restricciones a la exposición establecidas por la Recomendación europea y por el Real Decreto 1066/2001, los anteriores valores deben ser comparados con los contenidos en la Tabla II del presente capítulo, sobre Niveles de Referencia ICNIRP-CUE: 0,45 y 0,90 mW/cm<sup>2</sup> para frecuencias de 900 y 1800 MHz, respectivamente<sup>5</sup>. De esta comparación, y de los datos experimentales de Cooper y col. (2000) descritos arriba, se desprende: 1) que en la base de los mástiles de las estaciones, y en las viviendas situadas debajo estas, los niveles de exposición son mínimos, 2) que en la horizontal de las antenas, los niveles máximos recomendados sólo se superan a distancias muy cortas (desde unos centímetros a unos pocos metros, dependiendo de las características de la estación BTS).

<sup>5</sup> Ver también los cálculos incluidos en el capítulo escrito por J. Cañadas de este libro.

Tomando en consideración lo anterior, deberemos concluir que regulaciones como las propuestas por algunas autoridades locales en Italia, que conllevan la imposición de respetar distancias mínimas de hasta 1000 m entre una estación base y la vivienda más próxima [Vecchia, 2001], carecen del respaldo de la evidencia científica. De hecho, tal tipo de estrategias parece contraproducente, ya que, además de poder comprometer o limitar el servicio telefónico al usuario, obligaría a emplear unas potencias de emisión muy elevadas que supondrían un incremento de los niveles de exposición para personas que permanecieran en exteriores cercanos a las estaciones.

## **5. La exposición en usuarios de teléfonos móviles**

Según se dijo más arriba, la exposición del usuario de un terminal de telefonía móvil tiene lugar en el "campo próximo", zona en la cual los componentes eléctrico y magnético de la señal se distribuyen heterogéneamente, y sus interrelaciones son complejas. Las características de este tipo de exposición son difíciles de definir, ya que no es posible acudir para ello a cálculos simples basados en mediciones de intensidades de campo eléctrico o magnético tomadas en el aire, a diferentes distancias del aparato. Si se asume que la cantidad de energía absorbida por un sistema vivo sería el factor predominante en la inducción de respuestas biológicas en dicho sistema<sup>6</sup>, se llega a la conclusión que la mejor valoración de los posibles efectos de una exposición determinada vendría dada por la tasa de absorción específica (SAR) de la radiación. La SAR ha de calcularse; no puede medirse directamente, ya que depende, entre otros factores, de las características eléctricas de los distintos tejidos que componen el órgano expuesto, o de la presencia de objetos metálicos o superficies reflectantes en las proximidades. Además, en las condiciones de exposición a las emisiones de los teléfonos, intervienen características propias del terminal (potencia de

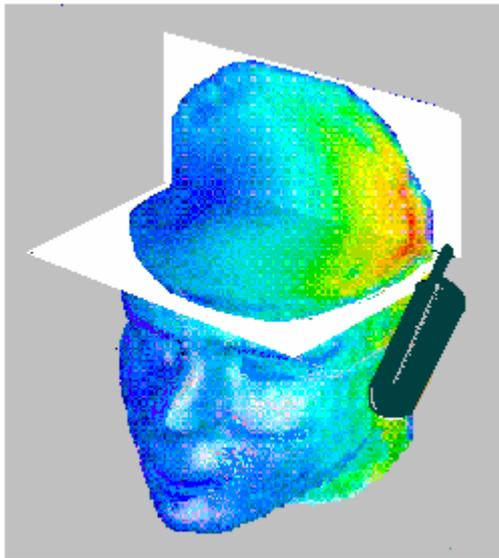
---

<sup>6</sup> Esta asunción es defendida por una mayoría de expertos. Sin embargo, se ha objetado que otras características de la señal (forma, modulación ELF, entre otras) pueden también influir significativamente en la respuesta biológica. Ver en este mismo libro el capítulo de C.F. Blackman, para una descripción resumida de tales puntos de vista.

emisión, morfología y dimensiones, ángulo y superficie de apoyo en el rostro, tipo y propiedades de su antena) así como características de la comunicación (calidad de la cobertura durante la conversación).

En estas condiciones, para la estimación de la SAR se utilizan dos estrategias complementarias entre sí. En la primera se utiliza un modelo o "phantom" de cabeza humana construido con materiales de características eléctricas similares a las de los tejidos correspondientes. En su interior se inserta una sonda que permite registrar valores de campo eléctrico en distintos puntos y a diferentes profundidades del modelo cuando se aplica a este un terminal en funcionamiento. Una segunda estrategia consiste en la realización de simulaciones mediante ordenador. Para ello, conociendo las características dieléctricas de los distintos tejidos expuestos (piel, grasa, músculo, cartilago, hueso, meninges, tejido nervioso, líquido cefalorraquídeo), y utilizando imágenes digitalizadas del cerebro, se asigna a los tejidos de la imagen los valores correspondientes y se simula mediante ordenador la respuesta de esos tejidos a los CEM, también simulados, del teléfono. Los resultados obtenidos mediante ambas estrategias son coherentes y complementarios. Como muestra la figura 4 y la tabla correspondiente, las mayores SAR se registran en el pabellón auditivo y en sus inmediaciones, decreciendo estos valores significativamente con la distancia a la antena. Así, para un teléfono emitiendo a su máxima potencia (media = 0,25 W), el valor máximo de SAR registrado para la piel es de 1,2 W por Kg de tejido expuesto (valor promediado para 10 gramos de tejido). En regiones del cerebro próximas al punto donde se sitúa la antena del teléfono, se han calculado SAR máximas de hasta 0,5 W/kg. Sin embargo, dado que la intensidad de los campos decae significativamente con la distancia, se calcula que la mayor parte del cerebro recibe SAR promedio inferiores a 1,0  $\mu$ W/kg. Si estos valores son comparados con los correspondientes a las Restricciones Básicas en la Recomendación europea (2,0 W/kg para cabeza y tronco, Tabla II) habría que concluir que la energía absorbida por órganos como el oído interno, el ojo o el cerebro, es muy débil y no representaría riesgos para la salud del usuario. Esta visión ha sido objetada por algunos autores, que resaltan la existencia de algún estudio que ha registrado efectos biológicos en

sistemas expuestos a SAR inferiores a 2 W/kg, o sugieren la posibilidad de que se den “puntos calientes” en algunas estructuras del cerebro, donde la energía pudiera, hipotéticamente, concentrarse y dar lugar a alteraciones de procesos fisiológicos importantes.



**TABLA I**

TEJIDO	SAR máximo (W/kg)
	Potenc. Emisión: 250 mW
Piel	1,2
Músculo	1,1
Hueso	0,9
Líquido céfalo- raquídeo	0,5
Ojo	0,0
T. Nervioso	0,5

*Figura 4 y Tabla I: Valores SAR en un modelo de cabeza humana. Los niveles más altos (rojo) se dan en tejidos próximos a la antena del teléfono. Todos los valores quedan dentro de los niveles recomendados por ICNIRP-CUE y el Real Decreto 1066/2001*

En cualquier caso, se calcula que bajo las peores condiciones de empleo y con terminales analógicos de alta potencia de emisión podrían darse, en zonas intracraneales inmediatas a la antena del teléfono, microincrementos de temperatura inferiores o iguales a 0,11 °C. Sin embargo, en condiciones reales y teniendo en cuenta que el cerebro, por sus requerimientos energéticos y su necesidad de equilibrio térmico, está muy fuertemente vascularizado, se admite que los hipotéticos microincrementos de temperatura serían disipados inmediatamente por la sangre circulante y, en consecuencia, “no cabe esperar efectos duraderos derivados de la exposición” [Van Leeuwen y col., 1999].

## 6. LA REGULACIÓN EUROPEA PARA LA PROTECCIÓN ANTE CEM EMPLEADOS EN RADIOCOMUNICACIÓN SE BASA PRINCIPALMENTE EN EFECTOS TÉRMICOS

Identificada la necesidad de establecer criterios adecuados de seguridad ante exposiciones a los CEM no ionizantes, la ICNIRP elaboró de un paquete de normas para la protección de los ciudadanos ante dichas exposiciones [ICNIRP 1998]. El Consejo de ministros de sanidad de la Unión Europea, basándose en los criterios y conclusiones de ICNIRP elaboró una Recomendación para la protección del público en general ante eventuales efectos nocivos de la exposición a campos electromagnéticos en el espectro 0 Hz – 300 GHz [CUE, 1999]<sup>7</sup>. España, al igual que la mayor parte de los países europeos, firmó la Recomendación.

El grupo de expertos de la ICNIRP llevó a cabo un estudio exhaustivo de la literatura científica y realizó una “evaluación de la credibilidad de los datos publicados.” En esta evaluación sólo se tuvieron en cuenta aquellos efectos que los citados expertos calificaron como “bien establecidos.” Concretamente, la potencial inducción de enfermedades (determinados tipos de cáncer, principalmente) por exposición crónica a CEM no fue considerada bien establecida y, por tanto, los límites ICNIRP están basados en efectos inmediatos sobre la salud. Efectos que en el caso de los CEM en el rango que nos ocupa (RF-MW) consistirían en incrementos de temperatura de los tejidos causados por absorción de energía durante la exposición.

De hecho, la evidencia experimental indica que exposiciones de 30 minutos a CEM con SAR de entre 1 y 4 W/kg pueden provocar en humanos en reposo incrementos de temperatura iguales o inferiores a 1 °C. Los estudios experimentales han mostrado indicios de la existencia de un umbral en el mismo rango de SAR para respuestas conductuales en mamíferos de laboratorio. La exposición a SAR más intensos puede superar la capacidad termorreguladora de los sujetos y provocar niveles peligrosos de hipertermia. Un número importante de trabajos sobre roedores ha puesto de manifiesto el amplio rango de daño tisular provocado por incrementos de temperatura de 1 – 2 °C en todo el cuerpo o en

---

<sup>7</sup> Ver también los capítulos incluidos en la sección dedicada a *Legislación Sobre Ondas y Campos Electromagnéticos*.

diferentes órganos o miembros. La sensibilidad específica de cada uno de los distintos tejidos del cuerpo varía enormemente, pero el umbral para efectos irreversibles, incluso en los tejidos más sensibles, está por encima de los 4 W/kg. Estos datos constituyen la base sobre la que ICNIRP ha establecido el nivel de los 0,08 W/kg como límite de seguridad recomendado para exposiciones de cuerpo entero a las que pudiera verse sometido el público en general (Tabla 2). Y dado que ni los estudios experimentales ni la epidemiología han aportado pruebas firmes de una asociación significativa entre efectos nocivos para la salud y exposiciones crónicas a CEM en el espectro de las radiofrecuencias, ICNIRP, CUE y otros comités de expertos independientes entienden que los datos disponibles no justifican el establecimiento de restricciones más severas para exposiciones prolongadas<sup>8</sup>.

Es necesario, no obstante, señalar que existe evidencia experimental de que pueden darse respuestas biológicas en algunos sistemas expuestos a SAR inferiores a los citados 4 W/kg. Por ejemplo, se ha descrito recientemente un incremento significativo de síntesis de proteínas de choque térmico en invertebrados expuestos a la acción de niveles atérmicos de RF [De Pomerai y col., 2000]. Asimismo, Wang y Lai (2000) han indicado que ratas expuestas a RF pulsadas (SAR = 1,2 W/kg) durante 1h pueden ver mermada su memoria-a-largo-plazo. Aunque estos datos experimentales no constituyen en absoluto una prueba de potenciales efectos nocivos sobre la salud humana de las citadas exposiciones, algunos expertos han visto en ellos una base suficiente para objetar la validez de las actuales regulaciones basadas en criterios térmicos. En cualquier caso los indicios sobre potenciales efectos no térmicos de los CEM no ionizantes RF-MW merecen ser estudiados mejor, y los mecanismos de respuesta atérmica deben ser investigados y descritos.

---

<sup>8</sup> Ver el capítulo de W. Stewart en este libro, o el Informe técnico del Comité de Expertos Independientes (Ministerio de Sanidad y Consumo) [www.msc.es/salud/ambiental/home.htm](http://www.msc.es/salud/ambiental/home.htm).

Frecuencia	RESTRICCIONES BÁSICAS		Frecuencia	NIVELES DE REFERENCIA	
	900 MHz	1800 MHz		900 MHz	1800 MHz
SAR medio de cuerpo entero (W/kg)	0,08	0,08	Intensidad campo E (V/m)	41,25	58,33
SAR localizado (cabeza-tronco) (W/kg)	2,00	2,00	Intensidad campo H (A/m)	0,11	0,16
SAR localizado (miembros) (W/kg)	4,00	4,00	Campo B ( $\mu$ T)	0,13	0,19
			Densidad de potencia equivalente de onda plana ( $mW/cm^2$ )	0,45	0,90

**Tabla 2.** Restricciones básicas y niveles de referencia para exposiciones del público a señales empleadas en telefonía móvil (ICNIRP, 1998; CUE, 1999 y el Real Decreto 1066/2001)

## 7. LOS SUPUESTOS EFECTOS NO TÉRMICOS DE LAS RF-MW DE USO EN TELEFONÍA MÓVIL: SUS IMPLICACIONES EN MATERIA DE SALUD

En su conjunto, la información contenida en los apartados anteriores revela que las potencias de las RF-MW a que está expuesto el público en general como consecuencia del funcionamiento de equipos de telefonía móvil, se encuentran por debajo de los máximos recomendados por ICNIRP y CUE. Dado que tales recomendaciones proporcionan un elevado nivel de seguridad ante posibles efectos térmicos, no cabe esperar daños originados por incrementos de la temperatura en tejidos u órganos de sujetos expuestos, en condiciones normales, a señales de telefonía móvil. Sin embargo, como se dijo más arriba, la existencia de evidencia experimental sobre posibles bioefectos de origen atérmico ha llevado a algunos expertos a cuestionar la validez de las regulaciones basadas exclusivamente en criterios térmicos. Eso, a pesar de que no existe hasta el presente un

modelo que explique de forma eficaz los mecanismos de las presuntas respuestas a RF-MW no ligadas a incrementos de temperatura<sup>9</sup>

En el presente apartado describiremos de forma resumida la evidencia epidemiológica y experimental que relaciona la exposición a niveles no térmicos de RF-MW de telefonía móvil con posibles efectos nocivos para la salud.

### **7.1.- Carcinogénesis: Evidencia Experimental y Datos Epidemiológicos<sup>10</sup>**

Al igual que ha ocurrido durante los últimos 20 años para los CEM de frecuencias extremadamente bajas, la principal área de interés sobre los posibles bioefectos de las señales de telefonía móvil ha sido, tanto para el público como para los investigadores, la eventual influencia en procesos cancerígenos. Clásicamente, este tipo de procesos se ha considerado dividido en varias etapas consecutivas: La iniciación, durante la cual un agente cancerígeno (iniciador) físico o químico provoca un daño a nivel molecular en el material genético celular. Si ese daño no fuese neutralizado a través de los mecanismos de reparación propios de los biosistemas, la célula afectada podría iniciar un proceso de división anormal; esto sucede en la denominada fase de promoción. Los agentes capaces de acelerar o favorecer este proceso se denominan promotores. El desarrollo subsiguiente del cáncer tiene lugar en la fase de progresión, con formación y diseminación de metástasis, la cual también puede verse influida por agentes exo- o endobióticos.

#### **7.1.1 Evidencia experimental en animales (in vivo)**

Según quedó establecido en apartados anteriores, los CEM no ionizantes, espectro al que pertenecen las RF-MW de telefonía móvil, carecen de la energía necesaria para provocar roturas en la molécula de ADN. Se admite, en consecuencia, que estos campos no

---

<sup>9</sup> Véase también el capítulo escrito por C.F. Blackman, para un resumen de diferentes criterios de interpretación de la evidencia científica como base para la evaluación de riesgos.

podrían actuar como iniciadores. Por este motivo las investigaciones se han dirigido preferentemente a estudiar las posibles influencias de estas señales en los procesos de promoción o progresión tumoral. Para ello se han empleado generalmente animales pretratados con agentes iniciadores, o especímenes modificados genéticamente para favorecer el inicio del proceso.

Tomados en su conjunto, los resultados obtenidos de estudios en animales expuestos a CEM de telefonía móvil no han proporcionado respuestas definitivas sobre los posibles efectos de estas señales en la promoción o progresión tumoral. Repacholi y colaboradores (1997) emplearon ratones transgénicos, con modificaciones genéticas que les hacían proclives al desarrollo de linfomas. Los animales fueron expuestos intermitentemente (1 h/día) durante 18 meses, a RF intensas de señal modulada, imitando las características de las ondas típicas de telefonía móvil. Al final del estudio se encontró un incremento modesto, pero estadísticamente significativo, en la frecuencia de linfomas en la muestra expuesta a RF. No se encontraron cambios en la frecuencia de otros tipos de cánceres. Este trabajo, a pesar de sus potenciales repercusiones, todavía no ha sido replicado independientemente, por lo que no es posible valorar en términos de salud humana la relevancia de los datos descritos.

Más recientemente, Adey y col. (1999; 2000) han estudiado la incidencia de cánceres de sistema nervioso, espontáneos o inducidos químicamente, en ratas expuestas a señales de telefonía móvil durante dos años a partir de los 19 días de gestación. Se emplearon señales de 836,55 MHz pulsadas o moduladas en amplitud, con SAR que simulaban los registrados en el cerebro humano durante el uso de un teléfono móvil. Ninguna de las condiciones de exposición empleadas provocó incrementos en la incidencia de cánceres, ya fueran espontáneos o inducidos. En los animales expuestos a la señal pulsada se registró una tendencia a la reducción en la incidencia de los dos tipos de cánceres, cuando se compararon con animales no expuestos o expuestos a la señal no

---

<sup>10</sup> Para una revisión ampliada de estudios sobre RF y carcinogénesis, ver el capítulo de este libro, escrito por J.E. Moulder, o la página web de este mismo autor <http://www.mcw.edu/gcrc/cop/cell-phone-health-FAQ>.

pulsada. Este último dato, que los autores achacan a las diferencias entre los dos tipos de señal empleada, es de difícil interpretación.

### **7. 1.2: Epidemiología de distintos tipos de cáncer entre usuarios de teléfonos móviles.**

En los últimos años se han publicado varios trabajos que estudiaban posibles incrementos de riesgo de desarrollar tumores cerebrales entre los usuarios de teléfonos móviles [Rothman y col., 1996; Dreyer y col., 1999; Hardell y col., 1999; Kelsh y col., 2000; Muscat y col., 2000; Inskip y col., 2001]. En general, estos trabajos concluyen que los datos no muestran correlación entre el uso de los teléfonos y el desarrollo de los citados cánceres. Sin embargo, los autores de los estudios coinciden en señalar que sus conclusiones son parciales y que es necesario ampliar el conocimiento en la materia. Entre las limitaciones de estos trabajos se han citado el tamaño relativamente pequeño de las muestras, posibles sesgos en la selección de los sujetos, el periodo relativamente corto de uso del teléfono entre los individuos seleccionados (menos de 5 años en promedio) y el hecho de que la mayoría de los sujetos no hicieron un uso exhaustivo (en frecuencia y duración de las llamadas) de sus teléfonos.

Durante la redacción del presente texto (junio de 2001), un equipo sueco [Hardell y col., 2001] presentó en un congreso internacional el resumen de un trabajo realizado sobre 1617 usuarios de teléfonos móviles diagnosticados de tumores cerebrales. Los resultados, que fueron objeto de gran interés en la prensa no especializada, muestran que los usuarios de teléfonos analógicos (modelos antiguos, 450-900 MHz) presentaban tumores con una frecuencia 1,26 (odds ratio) veces mayor que los no usuarios de dichos modelos. La mayor incidencia se daba para sujetos con más de 10 años de uso del teléfono y para neurinomas de nervio acústico (tumores benignos) localizados en la región temporal del mismo lado del cerebro en el que se usaba el teléfono. No se encontró ninguna tendencia similar en usuarios de teléfonos digitales o inalámbricos. La potencial relevancia de estos resultados es difícil de evaluar en el presente debido a la concurrencia de las siguientes circunstancias: 1) aunque

la muestra poblacional es relativamente amplia, la potencia estadística de los datos es pobre, 2) el trabajo no ha sido publicado en forma de artículo completo para revista especializada, sino como un resumen de menos de una página; en estas condiciones no es posible valorar adecuadamente la metodología empleada y el alcance real de los resultados, y 3) estudios similares realizados en Estados Unidos y en Dinamarca (bibliografía citada arriba) no observaron el citado tipo de asociación.

Otro estudio [Stang y col., 2001] ha revelado un incremento significativo de melanoma uveal (cáncer de ojos) entre usuarios frecuentes de teléfonos móviles y walkie-talkies. Los autores especulan sobre la posibilidad de que la suma de daños producidos por microincrementos de temperatura debidos a la exposición a RF-MW (la escasa vascularización del ojo no permitiría una disipación eficaz de la temperatura) podría ser un factor de riesgo en la etiología de los cánceres estudiados. Sin embargo, los mismos autores advierten que sus resultados no deben ser interpretados como una evidencia clara de un efecto real. De hecho, el estudio ha sido fuertemente criticado por potenciales sesgos en la selección de los datos y por la ausencia de control de factores de confusión importantes.

### **7.1.3.- Epidemiología del cáncer entre poblaciones que habitan en las proximidades de antenas emisoras de radio, televisión y telefonía móvil.**

Moulder y colaboradores (1999) llevaron a cabo una revisión de los estudios experimentales y epidemiológicos más relevantes en años anteriores. Los autores afirman: "Los estudios epidemiológicos sobre radiación RF no sugieren una asociación causal entre cáncer y exposición a las RF, pero los estudios son escasos y todos ellos presentan deficiencias en la cuantificación de la exposición". Blettner y Schlenhofer (1999) y Blettner y Berg (2000) llegaron a conclusiones similares después de revisar la epidemiología de leucemia, tumores cerebrales y cáncer de pulmón en exposiciones ocupacionales a señales de radio, televisión, telefonía móvil y microondas. Estos autores encuentran que los riesgos relativos obtenidos son inconsistentes y no significativos, e indican que en la mayoría de los

trabajos revisados no se incluyeron factores de confusión ni análisis de relación dosis-respuesta.

#### **7.1.4.- Conclusiones sobre potenciales efectos cancerígenos.**

Los estudios experimentales in vivo sobre animales expuestos a señales de telefonía móvil han proporcionado datos inconsistentes sobre los posibles efectos de estos campos en la promoción y/o la progresión tumoral. Algunos estudios que han mostrado indicaciones de potenciales efectos deben ser tenidos en cuenta y replicados para su validación. De tener éxito la replicación, sería necesario profundizar en el estudio de los mecanismos implicados en la respuesta y de los factores que influyen en ella. No obstante, es necesario subrayar la dificultad existente a la hora de utilizar respuestas obtenidas de experimentos in vivo para evaluar potenciales riesgos derivados de exposiciones no controladas a agentes físicos ambientales. La extrapolación resulta particularmente difícil en el caso de los CEM no ionizantes. Por ejemplo, existe una relación entre las dimensiones del sujeto y la energía que este puede absorber de un campo incidente con una determinada longitud de onda. Así, mientras una rata (20 cm) absorbería con máxima eficiencia una señal de 3 GHz perpendicular al eje de su cuerpo, un humano (170 cm) absorbería mucho mejor la energía de una onda de 70 MHz.

Por lo que se refiere a los estudios epidemiológicos, tanto sobre usuarios de teléfonos móviles como en grupos que viven cerca de distintos tipos de antenas, los resultados no han mostrado indicios consistentes de incrementos en el riesgo de desarrollar tumores u otros tipos de cáncer debidos a las exposiciones. Sin embargo, las conclusiones de estos estudios tienen una validez limitada debido a factores que incluyen: dosimetría incompleta de niveles reales de exposición, datos subjetivos sobre la duración y frecuencia de las exposiciones, posibles sesgos en la selección de los sujetos, tamaño de las muestras insuficiente, métodos estadísticos no idóneos y factores de confusión no tenidos en cuenta. Es obvio que la adecuada garantía de una ausencia de efectos cancerígenos sólo puede

obtenerse a través de datos epidemiológicos que superen las limitaciones enumeradas. De hecho, en el presente se están llevando a cabo varios estudios con ese fin. Así, la International Association for Research on Cancer (IARC), que forma parte de la OMS, inició recientemente un programa multinacional (2000 – 2004) que estudiará una muestra amplia de adultos, incluyendo alrededor de 7000 sujetos con distintos tipos de tumores, cuyos niveles de exposición serán valorados con precisión. Lo extenso de la muestra permitirá tomar en cuenta diversos factores de confusión y estudiar posibles relaciones dosis-respuesta [Cardis, 1999].

## **7.2.- Potenciales Efectos Fisiopatológicos: Estudios Experimentales en Voluntarios Humanos.**

### **7.2.1- Efectos sobre la presión arterial**

En 1998, Braune y col. publicaron un estudio que mostraba que las señales de teléfonos digitales GSM podían incrementar significativamente la presión sanguínea de voluntarios saludables. El trabajo tuvo un extraordinario impacto en los medios de comunicación. En estudio un estudio posterior del mismo equipo, se repitió el experimento con una muestra mayor de sujetos. Los nuevos resultados, que se espera sean publicados en 2002, confirman los cambios en la presión sanguínea de los voluntarios durante la exposición. Sin embargo, el efecto parece ser debido al cambio de posición de los sujetos durante la aplicación del teléfono, y no al “estímulo” electromagnético.

### **7.2.2- Interacciones con procesos que intervienen en la electrogénesis cerebral<sup>11</sup>**

La mayoría de los estudios que realizados hasta la fecha se han llevado a cabo sobre sujetos jóvenes, saludables, generalmente varones, expuestos a señales RF y de telefonía móvil durante periodos cortos de tiempo (horas) en ambientes controlados. Dado que la energía emitida por el terminal es absorbida en parte por el oído y por áreas del

---

<sup>11</sup> Ver también el capítulo escrito por P. Gil-Lozaga para un tratamiento más amplio de esta materia.

cerebro próximas a la antena, la mayor parte de los estudios realizados sobre voluntarios han explorado la actividad electroencefalográfica como posible traductora de potenciales cambios en el funcionamiento de estos sistemas. Los resultados han mostrado respuestas relativamente inconsistentes y difíciles de interpretar desde el punto de vista de eventuales efectos sobre la salud. De hecho, se han reportado posibles respuestas no térmicas, agudas y reversibles en sujetos expuestos [Thuroczy et al., 1996; Mann y Roschke, 1996; Roschke y Mann, 1997; Eulitz y col., 1998; Freude y col., 1998; Urban et al., 1998; Wagner y col., 1998; Borbely y col., 1999; Preece y col., 1999; Krause et al., 2000; Jech y col., 2001]. Dichas respuestas incluyen: incrementos de la actividad electroencefalográfica en frecuencias lentas, cambios ligeros en potenciales evocados auditivos o visuales, cambios en la duración de diversas fases del sueño (en sujetos expuestos mientras dormían), o mayor velocidad de respuesta en tests. Sin embargo, esos efectos, por su naturaleza y su condición de transitorios, han sido interpretados como indicios de respuestas biológicas ante una excitación eléctrica, más que de efectos nocivos capaces de provocar daños permanentes en la salud del usuario [De Seze, 2000]. En un estudio reciente [Huber y col., 2000], los voluntarios fueron sometidos a señales emitidas por una antena experimental, diseñada de forma permitía exponer regiones internas del cerebro de los sujetos, como el tálamo, a potenciales altos. Los resultados mostraron cambios en el electroencefalograma durante el sueño de voluntarios que habían sido expuestos durante los 30 minutos previos a acostarse. Se trata, pues, del primer resultado en el que la respuesta inducida no es reversible inmediatamente después de retirar el estímulo. A pesar de su interés como demostrativo de un efecto no térmico, el estudio no ofrece conclusiones aplicables al uso de los teléfonos móviles, ya que los SAR alcanzados experimentalmente en el tálamo son hasta 100 veces mayores que los registrados durante el empleo de dichos teléfonos.

### **7.2.3.- Efectos neuroendocrinos**

Otros estudios, realizados también sobre voluntarios, han investigado la respuesta endocrina a exposiciones prolongadas (por ejemplo: 2 h/día, 5 días/semana, 4 semanas) a

emisiones de teléfonos con una potencia de pico alta (2W). No se encontraron alteraciones en los niveles en sangre de siete hormonas anterohipofisarias estudiadas: FSH, LH, TSH, ACTH, GH, prolactina y melatonina. Tampoco se detectaron modificaciones en el ciclo circadiano de síntesis de melatonina en los sujetos expuestos [De Seze y col., 1998; 1999]. Sin embargo, sí se observaron indicios de cambios, siempre dentro del rango fisiológico, en voluntarios en los que se había inducido químicamente un desequilibrio ligero de la actividad sintetizadora de hormonas hipofisarias [Miró, 2001]. Estas últimas observaciones son preliminares y no han sido validadas mediante replicación.

#### **7.2.4. - Conclusiones sobre posibles efectos fisiopatológicos**

Los estudios a que nos hemos referido en este apartado forman un bloque de evidencia relativamente amplio, que parece indicar que las emisiones de los terminales pueden, en determinadas condiciones y sobre determinados sujetos, interaccionar con algunos procesos electrogénicos cerebrales. Sin embargo, la potencial relevancia de estas respuestas desde un punto de vista patológico es cuestionable y no puede ser determinada por el momento. En efecto, aun dando por confirmadas las observaciones descritas, algunas de las cuales no han sido validadas mediante replicación, queda por saber cuál es el origen de las respuestas. Podría tratarse de un efecto generado por pequeños cambios en la circulación sanguínea del cerebro, como sugieren Preece y col. (1999), o deberse a una acción ejercida a través de neuromediadores químicos, o a una combinación de ambas causas. Los datos obtenidos hasta ahora tampoco permiten saber qué parámetros de la señal serían los presuntos responsables de las respuestas observadas. No sabemos cuál es el tiempo mínimo de exposición necesario para que se dé un efecto, ni la influencia que pueda ejercer la repetición del estímulo (¿adaptación? ¿sensibilización? ¿ningún efecto?). La mayor parte de los estudios han sido llevados a cabo sobre voluntarios adultos, jóvenes y sanos. Sin embargo, sabemos poco de los efectos de estas exposiciones en sujetos débiles o en pacientes aquejados de trastornos del sueño, como la narcolepsia [Jech y col., 2001], de epilepsia o de desequilibrios hormonales [Miro, 2001]. Solamente la obtención de

información más completa permitirá saber si los efectos descritos aquí, a pesar de ser sutiles, reversibles y quedar siempre dentro del rango fisiológico, constituyen indicios de potenciales trastornos, o si nos encontramos simplemente ante respuestas de adaptación a un estímulo electromagnético, como ocurre en el caso de la conocida contracción de la pupila al ser expuesta a un CEM intenso en el espectro de frecuencias visibles.

### **7.3.- Efectos neurológicos o psicosociales difíciles de objetivar: Estudios basados en encuestas y estudios experimentales en humanos**

Se ha sugerido que el uso prolongado y frecuente del teléfono móvil podría provocar dolores de cabeza [Frey, 1998]. Así, diversos estudios basados en encuestas realizadas entre usuarios de teléfonos móviles han indicado que dentro del grupo de sujetos que hacía un uso frecuente y prolongado de estos sistemas (1 hora o más al día) existía una mayor tendencia a declararse aquejados de molestias menores, incluyendo dolor de cabeza, fatiga y sensación de calor en la piel próxima al teléfono, con más frecuencia que entre los usuarios de teléfonos convencionales [Hocking, 1998a; 1998b; Mild y col., 1998]. En la mayoría de los casos, los sujetos no habían consultado a su médico sobre las citadas dolencias, por lo que estas no habían sido diagnosticadas. En su conjunto, estos resultados no se consideran concluyentes debido a diversas limitaciones metodológicas y a potenciales diferencias entre las muestras comparadas. De hecho, algunos estudios realizados entre voluntarios "hipersensibles", que declaraban sentir dolores de cabeza, ansiedad y otros síntomas inespecíficos mientras usaban su teléfono móvil, han revelado que cuando el teléfono se empleaba en condiciones controladas y bajo la supervisión de los investigadores, los síntomas referidos no se presentaron [Hietanien y Hamalainen, 2000]. Resultados similares se han encontrado entre sujetos que se definían como hipersensibles a CEM de otras fuentes [Anderson y col., 1996; Eriksson y col., 1997; Flodin y col., 2000; Lyskov y col., 2001].

Por otra parte, los medios de comunicación nos tiene al corriente de la existencia de ciudadanos que afirman sentirse aquejados de problemas de insomnio, depresión, fatiga o dolor de cabeza, achacados por los interesados a la presencia de antenas de BTS emplazadas cerca de sus domicilios. Hasta la fecha, no existen datos sobre el número de sujetos afectados por este problema o sobre las posibles características comunes entre ellos. Sin embargo, si pudiéramos hacer una extrapolación a partir de las consultas recibidas en nuestro Servicio, concluiríamos que en su mayoría estos “afectados” son personas de maduras (45-70 años) que no han acudido al médico para obtener un diagnóstico preciso o un tratamiento a las molestias referidas. El nivel de alarma que mostraban muchos de los ciudadanos que nos consultaron estaba basado, según ellos mismos referían, en informaciones recibidas a través de medios no especializados. Dicha alarma era en algunos casos tan elevada que pudiera justificar por sí misma parte de las dolencias que aquejaban a estas personas. Es necesario señalar que no existe hasta hoy evidencia epidemiológica o experimental que correlacione la exposición a CEM tan débiles como los registrados en las proximidades de las antenas (ver figuras 1 a 3) con la inducción de los síntomas descritos. En consecuencia, a falta de datos más completos y debido a factores de confusión no controlables, no es posible establecer a partir de estas consultas una relación causal entre las presuntas exposiciones y la sintomatología referida. Esto no equivale a decir que los problemas que afectan a estos ciudadanos son ficticios. Al contrario, parece claro que los síntomas son reales y, ya sean originados por una alegada e inexplicada hipersensibilidad a los CEM, ya debidos a factores psico-sociales de naturaleza más o menos presumible<sup>12</sup>, estas personas no deben quedar desatendidas y el problema ha de ser estudiado en detalle.

---

<sup>12</sup> Para una descripción y análisis más completos de estos factores, ver los capítulos de F. Vargas y de E. Ordaz y F. Marqués en este libro.

## 8. TELEFONÍA MÓVIL Y COMPATIBILIDAD<sup>13</sup> ELECTROMAGNÉTICA.

Existen indicios de que las señales emitidas por teléfonos móviles podrían provocar interferencias en equipos electrónicos situados en sus proximidades. Por sus implicaciones en la salud, los casos más estudiados se refieren a potenciales incompatibilidades con implantes activos, como los marcapasos, y con equipos médicos usados en unidades de cuidados intensivos de hospitales.

Irnich (1996a, 1996b) estudió la respuesta de 231 modelos de marcapasos expuestos "al aire" (no implantados) a señales de diversos tipos de teléfonos móviles disponibles entonces en el mercado. Encontraron que de entre los modelos de marcapasos que se usaban en 1996, el 25% eran potencialmente susceptibles a las señales cuando el teléfono se situaba muy próximo al implante. Sin embargo, cuando la distancia se aumentaba a 20 cm, no se registraron indicios de incompatibilidad en los modelos susceptibles. Un análisis de riesgos revela que podrían darse problemas de disfunción del implante en 1/100000 portadores. Los 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. Un trabajo más reciente [Sanmartín y col., 1997] estudió 30 pacientes portadores de 8 modelos diferentes de desfibriladores. Se emplearon tres modelos de teléfonos GSM, en tres modos de operación diferentes y colocados a la distancia más corta posible de los implantes. Los sujetos fueron monitorizados electrocardiográficamente durante las pruebas. No se detectó ningún caso de disfunción debido a problemas de compatibilidad electromagnética.

En el caso de portadores de marcapasos cuya vivienda se encuentre próxima a una estación base de telefonía móvil, no cabe esperar que el funcionamiento de su implante se vea afectado por las señales procedentes de las antenas. En todo caso como medida preventiva, estos pacientes deberían plantearse la conveniencia de evitar frecuentar azoteas en las que se encuentren instaladas dichas antenas.

---

<sup>13</sup> Véase también el capítulo de O. Bernal y col. de este libro, así como el Informe Técnico del Comité de Expertos Independientes (MSC) [www.msc.es/salud/ambiental/home.htm](http://www.msc.es/salud/ambiental/home.htm).

Irnich y Tobisch (1998) investigaron posibles condiciones de interferencias de las señales de teléfonos móviles con 224 equipos empleados en unidades de vigilancia intensiva (UVI). En total se llevaron a cabo 2016 tests. Los resultados revelaron que sólo se registraron casos de malfuncionamiento en equipos no compatibles cuando, además de un fallo en los sistemas de seguridad del aparato, concurrían hasta 4 circunstancias adversas. Los autores recomiendan el empleo de equipos electromagnéticamente compatibles y desaconsejan el uso de teléfonos móviles en las proximidades de UVI.

También se pueden dar problemas de incompatibilidad electromagnética con implantes cocleares o con audífonos, empleados en casos de discapacidades auditivas. Aunque este tipo de interferencia no supone riesgos para la salud, las personas que empleen los sistemas descritos deben estar informados de la existencia de problemas de incompatibilidad que, en general, no son fáciles de solucionar.

Las señales emitidas por los teléfonos móviles pueden también interferir con otros sistemas de radiocomunicación. Estas interferencias pueden tener consecuencias graves en situaciones en que la correcta comunicación es vital. Por ese motivo, el uso de teléfonos móviles está prohibido en aviones.

Otro tipo de incompatibilidad, que también debe ser conocido por el usuario de teléfonos móviles, es el que puede darse con algunos circuitos eléctricos sensibles en los automóviles. Así, algunos fabricantes de *air bags* advierten de la posibilidad de que el funcionamiento de estos sistemas sea susceptible electromagnéticamente a las señales de un teléfono móvil usado en el interior del vehículo.

En algunas estaciones de servicio, el empleo de teléfonos móviles está también prohibido en las proximidades de los surtidores de combustible. Supuestamente, el funcionamiento del teléfono podría ser capaz de hacer saltar una chispa, con el consiguiente riesgo de incendio. La base física que pudiera justificar tal fenómeno ha sido cuestionada.

## **9. RIESGOS RELACIONADOS CON EL USO DEL TELÉFONO MIENTRAS SE CONDUCE UN VEHÍCULO**

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

El empleo del teléfono móvil durante la conducción constituye una práctica habitual<sup>14</sup> a pesar de que estar terminantemente prohibida por entrañar riesgos graves probados. Así, Redelmeier y Tibshirani (1997) estudiaron las causas de 699 accidentes de tráfico y llegaron a la conclusión que la probabilidad de accidente durante el uso del teléfono era 4,3 veces mayor que fuera de ese periodo. Este incremento de riesgo era independiente de que el conductor hubiera empleado o no un sistema de "manos libres"; de lo que se deduce que el incremento del riesgo no tiene su origen en la exposición a las señales RF del teléfono, sino a una merma en la capacidad de reacción debida a la necesidad de prestar atención simultáneamente a la conducción y a la comunicación.

---

<sup>14</sup> Según un escrutinio realizado por la National Highway Traffic Administration (julio 2001), la media de conductores estadounidenses que, en un momento tomado al azar en un día laboral cualquiera, están hablando por teléfono desde un automóvil en marcha es de 500.000.

## RESUMEN DE ESTRATEGIAS PARA PREVENCIÓN DE POSIBLES EFECTOS ADVERSOS<sup>15</sup>

<b>ADMINISTRACIÓN, AUTORIDADES SANITARIAS</b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Investigación</li><li>▪ Legislación</li><li>▪ Inspección</li><li>▪ Información al público y a las empresas</li></ul>
<b>EMPRESAS Y OPERADORAS DE TELEFONÍA MÓVIL</b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Cumplimiento de la ley en lo referente a restricciones para emisiones y exposición</li><li>▪ Donde sea necesario, impedir (mediante barreras o señales) el acceso del público a áreas restringidas próximas a BTS</li></ul>
<b>OTRAS EMPRESAS</b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Cumplir legislación sobre compatibilidad electromagnética con emisiones de telefonía móvil para sistemas vitales: marcapasos, equipos médicos electrónicos</li></ul>
<b>USUARIOS</b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ NUNCA usar el teléfono mientras se conduce un vehículo o se realizan actividades potencialmente peligrosas</li><li>▪ Respetar barreras y señales que prohíban el acceso a áreas restringidas junto a BTS</li><li>▪ Respetar prohibiciones de usar el teléfono móvil en <i>áreas sensibles</i> de hospitales</li><li>▪ Respetar la prohibición de usar el teléfono en aviones</li><li>▪ Portadores de marcapasos: no llevar el teléfono activado en bolsillo de americana o camisa. Si es posible, mejor usar el teléfono lejos del implante (oído contralateral, sistema "manos libres")</li></ul>

---

<sup>15</sup> Ver también los capítulos escritos por W. Stewart y por J. Cañadas en este libro, así como el documento del Comité de Expertos Independientes (MSC) [www.msc.es/salud/ambiental/home.htm](http://www.msc.es/salud/ambiental/home.htm).

**RESUMEN DE ESTRATEGIAS PARA REDUCCIÓN DE PERCEPCIÓN DE RIESGO Y/O PARA MINIMIZAR NIVELES DE EXPOSICIÓN<sup>16</sup>**

**ADMINISTRACIÓN, AUTORIDADES SANITARIAS**

Proporcionar al público información veraz y objetiva sobre:

- Estado del conocimiento
- Legislación
- Optimización del uso de los equipos

**EMPRESAS Y OPERADORAS DE TELEFONÍA MÓVIL**

- Reducción del impacto visual de antenas mediante: 1) Uso de infraestructuras comunes, donde sea posible; 2) Uso de estrategias de integración de las BTS en el paisaje urbano o rural.
- Diseño optimizado de antenas y teléfonos, a fin de obtener máximo rendimiento en comunicación con un mínimo de potencia y/o exposición: Diseño de antenas direccionales o "inteligentes" para teléfonos; terminales que no necesitan aplicarse a la cabeza.

**USUARIOS**

- Empleo de accesorios de "manos libres"
- En zonas pobres en cobertura (sótanos, subterráneos no acondicionados para radiocomunicación) el teléfono necesita emitir a su máxima potencia. Evitar el uso del teléfono en tales circunstancias.
- Los ladrillos y el hormigón de muros y techos absorben las RF mejor que el cristal. En comunicaciones desde interiores, procurar acercarse a una ventana para obtener mejor cobertura
- Al inicio del establecimiento de la comunicación existe un pico de potencia en la señal emitida por el teléfono que efectúa la llamada (para iniciar la comunicación con la BTS más próxima). Para evitar la exposición, después de teclear el número, esperar unos segundos antes de aplicar el aparato al oído.

<sup>16</sup> Nótese que, a diferencia de las anteriores, estas recomendaciones no persiguen la **protección ante riesgos** reales o potenciales, sino minimizar la preocupación derivada de la **percepción de riesgos**. Ver también los artículos de W. Stewart, de J. Cañadas y de E. Ordaz y F. Marqués en este libro, así como el documento del Comité de Expertos Independientes (MSC) [www.msc.es/salud/ambiental/home.htm](http://www.msc.es/salud/ambiental/home.htm).

## CONCLUSIONES

La actual generalización del uso de la telefonía móvil ha dado lugar a un incremento de la exposición del público a campos electromagnéticos en el rango de los GHz. Este tipo de exposiciones es relativamente reciente, por lo que la información que poseemos para evaluar correctamente sus posibles efectos sobre la salud no es todavía completa. Así, aunque los estudios sobre epidemiología del cáncer no han revelado indicios de nocividad, los datos no son todavía definitivos. Algunos datos son inconsistentes debido, en parte, a deficiencias en el diseño y ejecución de los estudios, incluyendo la identificación de las poblaciones expuestas y la comprobación retrospectiva de dicha exposición. Tampoco la evidencia experimental ha proporcionado información concluyente. En lo concerniente a los estudios con voluntarios, las respuestas observadas hasta hoy no constituyen pruebas de efectos nocivos, aunque sí han revelado indicios de respuestas fisiológicas a niveles de potencia supuestamente incapaces de provocar incrementos significativos en la temperatura de los tejidos expuestos. Aunque estas y otras respuestas de origen no térmico no justifiquen *per se* la modificación de los estándares de seguridad vigentes, sí deben ser tomadas en consideración y estudiadas en detalle. Es por ello que la realización de mejores estudios, tanto epidemiológicos como experimentales, es considerada prioritaria por la OMS y por otras agencias y organismos internacionales. Varios de estos estudios se encuentran en fase de ejecución y proporcionarán resultados definitivos en los próximos años. Entre tanto, y a la espera de datos concluyentes, existe el compromiso de poner los medios para facilitar el cumplimiento de las recomendaciones de ICNIRP-CUE en los países adheridos, y de informar a los ciudadanos correctamente de cómo y por qué se cumplen las citadas recomendaciones. Asimismo, como medida cautelar adicional, diversos comités de expertos han puesto de relieve la conveniencia de arbitrar estrategias de limitación prudencial de exposiciones no controladas o innecesarias (Stewart y col., 2000; Groupe d'Experts, 2001; Comité de Expertos Independientes coordinado por el Ministerio de Sanidad y Consumo). Dichas estrategias deberán permitir compaginar la seguridad de los

ciudadanos y usuarios con un desarrollo eficaz la telefonía móvil, un sistema de comunicación que reporta beneficios sociales obvios.

## Bibliografía

- Adey y col. (1999) Spontaneous and nitrosourea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 rats chronically exposed to 836 MHz modulated microwaves. *Radiat. Res.* **152**, 293-302.
- Adey y col. (2000) Spontaneous and nitrosourea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 rats exposed to frequency-modulated microwave fields. *Cancer. Res.* **60**, 1857-1863.
- Anderson y col. (1996). A cognitive-behavioral treatment of patients suffering from 'electric hypersensitivity.' Subjective effects and reactions in a double-blind provocation study. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, **38**: 752-758.
- Blettner y Schlenhofer (1999). Is there an increased risk of leukemia, brain tumors or breast cancer after exposure to high-frequency radiation? Review of methods and results of epidemiologic studies. *Med Klin.* **94**:150-158.
- Blettner y Berg (2000) Are mobile phones harmful? *Acta Oncol.* **39**: 927-930.
- Borbely y col. (1999). Pulsed High-frequency Electromagnetic Field Affects Human Sleep and sleep Electroencephalogram. *Neurosci-Lett.* **275**: 207-210
- Braune y col. (1998) Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field. *Lancet.* **351**: 1857-8.
- British Medical Association (2001). Board of Science and Education. Mobile Phones and Health: An interim report. ([www.bma.org](http://www.bma.org))
- Cardis y Kilkenny (1999). En: *Exposure Metrics and Dosimetry for EMF Epidemiology*. National Radiological Protection Board, Chilton, UK.
- Comité de Expertos Independientes (2001). Campos Electromagnéticos y Salud Pública, Ed. Ministerio de Sanidad y Consumo <[www.msc.es/salud/ambiental/home.htm](http://www.msc.es/salud/ambiental/home.htm)>
- Cooper y col., (2000). Determination of safety distance limits for human near a cellular base station. Proceedings of the XXII BEMS-EBEA Meeting. Munich, June 2000: 16-17.
- CUE: Recomendación del Consejo de la Comunidad Europea el 12 de julio de 1999 relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz). 1999/519/CE. Diario Oficial de las Comunidades Europeas 30.7.1999. L1999/59
- De Pomerai y col. (2000) Non-thermal heat-shock response to microwaves. *Nature.* **6785**: 417-418.
- De Seze et al. (1998). GSM radiocellular telephones do not disturb the secretion of antepituitary hormones in human. *Bioelectromagnetics* **19**: 271-278.
- De Seze y col. (1999). Evaluation in humans of the effects of radiocellular telephones on the circadian patterns of melatonin secretion, a chronobiological rhythm marker. *J Pineal Res.* **4**: 237-242.

- De Seze (2000). Elaboration d'une strategie d'évaluation des risques pour la santé liés aux champs électromagnétiques, Partie 2 Exemple des Radiotéléphones. Notes scientifiques et techniques de l'INRS N°186 ed INRS Paris
- Dreyer y col. (1999) Cause-specific mortality in cellular telephone users. *JAMA* 282, 1814-1816.
- Eriksson y col. (1997) The psychosocial work environment and skin symptoms among visual display terminal workers: a case referent study. *International Journal of Epidemiology* 26: 1250-1257
- Eulitz y col. (1998). Mobile Phones Modulate Response Patterns of Human Brain Activity. *Neuroreport* 9: 3229-3232
- Flodin y col. (2000) Provocation of electric hypersensitivity under everyday conditions. *Scand J Work Environ Health*. 2: 93-98.
- Freude y col. (1998). Effects of Microwaves Emitted by Cellular Phones on Human Slow Brain Potentials. *Bioelectromagnetics* 19: 384-387
- Frey (1998). Headaches from Cellular Telephones: Are They Real and What Are the Implications? ", *Environmental Health Perspectives* 106: 101-103.
- Groupe d'Experts (2001). Téléphones mobiles et sante. Ed. Direction Générale de la Santé, France <[http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/telephon\\_mobio/dos\\_pr.htm](http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/telephon_mobio/dos_pr.htm)>
- Hardell et al. (1999). Use of cellular telephones and the risk of brain tumors: a case-control study. *Int. J. Oncol.* 15, 113-116.
- Hardell y col. (2001). Conference on Mobile Phones and Health. London, June 6-7, 2001
- Hardell y Mild (2001) Re: Cellular telephones and cancer--a nationwide cohort study in Denmark. *J Natl Cancer Inst.* 12: 952-953.
- Hardell y col. (2001) Radiofrequency exposure and the risk for brain tumors. *Epidemiology* 1: 135-136.
- Hietanen y Hämäläinen (2000). Provocative testing of hypersensitivity to cellular phones. Proceedings of the XXII BEMS-EBEA Meeting , Munich, June 2000: 91
- Hocking (1998a) Preliminary report: symptoms associated with mobile phone use. *Occup Med (Lond)*. 6: 357-60.
- Hocking (1998b) Symptoms associated with mobile phone use: addendum. *Occup Med (Lond)*. 7: 472.
- Huber y col. (2000). Exposure to high frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *NeuroReport* 15: 3321-3325
- ICNIRP (1998). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields. *Health Physics*, 74: 494.
- Inskip y col. (2001). Cellular-telephone use and brain tumors. *New Engl. J. Med.* 344, 79-86.
- Irnich (1996a) Mobile telephones and pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol.* 10: 1407-1409.
- Irnich (1996b) Electromagnetic interference of pacemakers by mobile phones. *Pacing Clin Electrophysiol* 10: 1431-1446.
- Irnich y Tobisch (1998). Effect of mobile phone on life-saving and life-sustaining systems. *Biomed Tech (Berl)*. 6: 164-73.
- Jech y col (2001). Electromagnetic Field of Mobile Phones Affects Visual Events Related Potentials in Patients With Narcolepsy. *Bioelectromagnetics* 22: 519-528.

- Kelsh y col. (2000). Occupational radiofrequency exposure and mortality from cancers of the brain and lymphatic/hematopoietic systems. *Proceedings of the XXII BEMS-EBEA Meeting*, Munich, June 2000: 96-97
- Krause et al. (2000). Effects of Electromagnetic Field Emitted by Cellular Phones on the EEG during a Memory Task. *Neuroreport* **11**: 761-764.
- Lyskov y col. (2001) provocation study of persons with perceptive electrical hypersensitivity and controls using magnetic field exposure and recording of electrophysiological characteristics. *Bioelectromagnetics* **22**: 457-462.
- Mann y col. (200) Exposure to Radiowaves near Mobile Phone Base Stations, National Radiological Protection Board, Chilton.
- Mann y Roschke (1996). Effects of Pulsed High Frequency Electromagnetic Fields on Human Sleep. *Neuropsychobiology* **33**: 41-47
- Mild y col. (1998). Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones; *Investigation report No 1998:23*, National Institute of Working Life, Solna, Sweden,. ISSN 1401-2928.
- Miro (2001). Los Teléfonos Móviles: ¿Un Posible Riesgo Sanitario? En: *Salud y Ondas Electromagnéticas*. Segundo Ciclo de Primavera de la Salud. Ed. P. Gil-Loyzaga. Fundación Complutense (Madrid). En prensa.
- Moulder (1998-2001). En: *Antenas de Telefonía Móvil y Salud Humana*. Ed. Medical College of Wisconsin <http://www.mcw.edu/gcrc/cop>
- Moulder et al. (1999) Cell phones and cancer: What is the evidence for a connection? *Radiat. Res.* **151**, 513-531.
- Muscat y col. (2000). Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *JAMA* **284**, 3001-3007.
- Neubauer (2000). Exposure next to base stations in Austria. *Proceedings of the XXII BEMS-EBEA Meeting*, Munich, June 2000: 14-15.
- Preece y col. (1999). Effect of a 915-MHz Simulated Mobile Phone Signal on Cognitive Function in Man. *Int. J. Radiat. Biol.* **75**: 447-456
- Redelmeier y Tibshirani (1997). Association between cellular -telephone calls and motor vehicle collisions. *N Engl J Med.* **336**: 453-8.
- Repacholi y col. (1997). Lymphomas in E?-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat. Res.* **147**, 631-640.
- Rothman y col. (1996). Overall mortality of cellular telephone customers. *Epidemiology* **7**, 303-305.
- Roschke y Mann (1997). No Short Term Effects of Digital Mobile Radio Telephone on the Awake Human Electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* **18**: 172-176
- Sanmartín y col (1997) The absence of interference between GSM mobile telephones and implantable defibrillators: an in-vivo study. *Rev Esp Cardiol.* **10**: 715-719.
- Stang y col. (2001). The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma. *Epidemiology* **12**, 7-12.
- Stewart and Independent Expert Group on Mobile Phones (2000). National Radiological Protection Board, Chilton OX11 0RQ <<http://www.iegmp.org.uk/IEGMPtxt.htm>>

- Thuroczy y col. (1996) COST 244: Biomedical effects of Electromagnetic Fields. *7<sup>th</sup> Workshop and Round Table on Standards*. Zagreb.
- Úbeda y Trillo (1999). Radiaciones RF de Antenas de Telefonía y Salud Pública: El Estado de la Cuestión. *Radioprotección* 20: 24-36. Versión electrónica en: <http://www.hrc.es/bioelectro.html>
- Úbeda y col. (2000). Exposición Ocupacional a Campos Magnéticos de Frecuencia Industrial en Hospitales. *Radioprotección* 25: 30-36. Abstract en: <http://www.hrc.es/bioelectro.html> y en: <www.sepr.es>
- Úbeda (2001). Bases Biológicas para Normativas de Protección ante Radiaciones No Ionizantes: Curso Para Especialistas (SEPR 2000). Y: *Radioprotección* (2001). Texto publicado en formato electrónico en: [www.sepr.es](http://www.sepr.es). Accesible también desde. <http://www.hrc.es/bioelectro.html>
- Úbeda (2001). Telefonía Móvil y Salud Pública. En: *Salud y Ondas Electromagnéticas*. Segundo Ciclo de Primavera de la Salud. Ed. P. Gil-Loyzaga. Fundación Complutense (Madrid). En prensa
- Urban, Lukáas y Roth (1998). Does Acute Exposure to the Electromagnetic Field Emitted by a Mobile Phone Influence Visual Evoked Potentials? A Pilot Study. *Cent. Eur. J. Public Health* 6: 288-290.
- Van Leeuwen y col. (1999) Calculation of change in brain temperatures due to exposure to a mobile phone. *Phys Med Biol.* 10: 2367-2379.
- Vecchia (2001). Health Policies and Standards for Electromagnetic Fields in Italy and Switzerland En: *Salud y Ondas Electromagnéticas*. Segundo Ciclo de Primavera de la Salud. Ed. P. Gli-Loyzaga. Fundación Complutense (Madrid). En prensa.
- Wagner y col. (1998). Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: a polysomnographic study using standardized conditions. *Bioelectromagnetics*, 19: 199-202.
- Wang y Lai (2000) Acute exposure to pulsed 2450-MHz microwaves affects water-maze performance of rats. *Bioelectromagnetics* 21: 52-56.

## **Radiaciones de Radiofrecuencias y Cáncer.\***

**John E. Moulder.**

Professor of Radiation Oncology, Radiology and Pharmacology/Toxicology. Medical College of Wisconsin. 8701 Watertown Plank Rd. Milwaukee, Wisconsin, USA.

### **Resumen y Conclusiones**

Se ha alegado, en los medios de comunicación y en los juzgados, que los teléfonos móviles provocan cáncer, y también ha habido numerosas objeciones por parte del público a los emplazamientos de sistemas de transmisión para telefonía móvil debido al temor al cáncer. Algunos estudios que sugieren que la exposición a radiofrecuencias (RF) provoca linfoma en ratones o roturas en la cadena de ADN de células cerebrales de rata, han contribuido a esta controversia. Este artículo proporciona una revisión general de la biofísica, la biología y la epidemiología relevantes para evaluar la posibilidad de que las radiaciones RF empleadas en radiocomunicación pudieran provocar o contribuir al desarrollo de cánceres humanos. La revisión de la biofísica indica que hay pocas expectativas de que las radiaciones RF tengan una acción biológica a niveles de potencia sub-térmicos. La evidencia epidemiológica actual sobre una asociación causal entre cáncer y exposición a radiaciones RF es débil o inexistente. Los numerosos estudios realizados hasta hoy en animales no proporcionan evidencia consistente de que la exposición a radiaciones RF de intensidades no térmicas provoque o promueva el desarrollo de cánceres; y la exposición de células a radiaciones RF con una intensidad que no eleve la temperatura no produce ninguna actividad genotóxica o epigenética consistente. Una valoración general del peso de la evidencia indica que la evidencia de una asociación causal entre exposición a radiaciones RF y cáncer queda en el rango entre débil e inexistente.

---

\* Texto original en Inglés. Traducido al Castellano por el Dr. Alejandro Úbeda Maeso.

### 1) Breve Historia del Debate Sobre Radiaciones de Radiofrecuencias y Cáncer

El interés del público sobre si las radiaciones de radiofrecuencias (RF) podrían causar cáncer comenzó en 1993 con la cobertura por parte de los medios de comunicación de un pleito estadounidense, en el que un hombre de Florida alegó que su esposa había muerto de cáncer cerebral causado por la radiación RF de un teléfono móvil (1, 2). Sin embargo, la preocupación del gran público sobre las radiaciones RF data de mucho antes, como lo atestigua el debate sobre los presuntos peligros para la salud de los hornos de microondas, que tuvieron lugar en los años 1970 (3).

Resulta tentador establecer un paralelismo entre la controversia "teléfono móvil - cáncer cerebral" y "líneas de conducción eléctrica - leucemia en niños", sin embargo, existen diferencias fundamentales. La preocupación sobre líneas de conducción eléctrica y leucemia ha estado basada en la epidemiología, mientras que la controversia sobre teléfonos móviles nunca ha tenido ningún apoyo epidemiológico sustancial. Por otra parte, mientras que tanto los estudios de laboratorio (4, 5) como el análisis biofísico (6) indican que la intensidad de exposición en el caso de las líneas de conducción eléctrica es demasiado bajo, en muchos órdenes de magnitud, para causar efectos biológicos, la energía depositada en una pequeña región de la cabeza por un teléfono móvil está dentro de un orden de magnitud que podría producir efectos biológicos (7-10). Finalmente, la controversia de las líneas de conducción eléctrica es una cuestión de salud pública ya que la exposición es en gran parte involuntaria, mientras que la exposición a la radiación RF de los teléfonos móviles es casi completamente voluntaria.

El interés público sobre los teléfonos móviles ha conducido a una ola de investigación a finales de los años 1990. Esta investigación no ha proporcionado ninguna evidencia consistente de que la radiación RF en las intensidades asociadas a las comunicaciones inalámbricas tenga actividad biológica alguna, y menos aún tipos de actividad biológica que sugiriesen que estas RF pudieran causar o contribuir al desarrollo del cáncer (1, 9). Dos hallazgos experimentales han dominado la discusión pública: un informe de Lai y Singh (11, 12) que mostraba que la exposición de ratas a radiaciones RF causa

daños en el ADN de células cerebrales; y un informe de Repacholi et al. (13) que mostraba que la exposición a RF aumentaba la incidencia de linfoma en ratones propensos a desarrollar este tipo de cáncer. El estudio de Lai y Singh (11, 12) no ha podido ser confirmado tras diversas tentativas de réplica (14-19). El estudio de Repacholi et al. (13) aún no ha estado sujeto a ninguna tentativa de confirmación. Lo más que puede decirse en la actualidad sobre la cuestión de inducción de linfoma por parte de las radiaciones RF es que no parece darse en ratas normales (es decir no propensas a desarrollar linfoma) (20-23) o en ratones normales (24-27).

Desde el verano de 2001, ninguno de los pleitos estadounidenses que alegan que la radiación RF de los teléfonos móviles es una causa de cáncer cerebral ha tenido éxito. El caso citado de Florida fue rechazado por los tribunales argumentando que no se ha probado una relación causal RF-cáncer (2). El conjunto de los estudios celulares y de mecanismos sigue indicando que es improbable que la radiación RF actúe como un cancerígeno (1, 9), múltiples estudios en roedores han sido incapaces de mostrar evidencia alguna de que la radiación RF cause cáncer cerebral (21-23), y tampoco los estudios epidemiológicos en usuarios de teléfono móvil muestran ninguna evidencia consistente de asociación entre el empleo del teléfono móvil y cualquier clase de cáncer (28-32)

La noción de que los teléfonos móviles causan cáncer cerebral puede ser muy difícil de demostrar o refutar (1). Por un lado, no existe ningún estudio de laboratorio o epidemiológico que sugiera realmente que la radiación RF causa cáncer cerebral, de forma que carecemos de estudios que confirmar o refutar. Por otra parte, no es posible realizar un estudio epidemiológico "definitivo" sobre cáncer cerebral en usuarios de teléfono móvil, en parte debido a la dificultad de llevar a cabo una dosimetría retroactiva, también porque la elevada tasa de uso del teléfono móvil dificulta enormemente la correcta comparación de grupos expuestos (usuarios de teléfono) con sus controles (los no usuarios), y por último porque no existen modelos biológicos o biofísicos sobre los que basar tal estudio. Esta controversia puede permanecer entre nosotros durante mucho tiempo.

## 2) Identificación de Cancerígenos

### 2.1) Prueba de seguridad

La controversia sobre las radiaciones RF y el cáncer refleja las dificultades intrínsecas inherentes a la evaluación de riesgos en cáncer. Es relativamente fácil demostrar que la exposición a las radiaciones RF no está asociada a un aumento estadísticamente significativo de la incidencia de tipos de cáncer específicos en condiciones de exposición específicas. Sin embargo, es intrínsecamente imposible demostrar que no existe ningún tipo de asociación entre exposición y cáncer, considerando todas las condiciones de exposición posibles y todos los tipos de cánceres. La controversia también refleja el hecho que no hay ninguna causa simple de cáncer, por lo que la identificación inequívoca de cancerígenos resulta a menudo imposible.

Lo más cerca que los científicos podrían llegar al establecimiento de que las radiaciones RF no causan cáncer sería intentar demostrar repetidamente que tales radiaciones provocan cáncer, y fracasar en cada uno de los intentos. Esto conlleva al menos dos problemas. Primero, no existe ningún punto final predefinido para tal proceso. Si se realizasen diez pruebas de potencial cancerígeno y fuesen negativas, los científicos siempre podrían hacer veinte pruebas adicionales. Segundo, si se realiza un número suficiente de pruebas, la naturaleza de la estadística y la arbitrariedad de las probabilidades determinan que algunas pruebas mostrarán un potencial cancerígeno, incluso aunque en realidad la radiación RF no tuviera ninguna actividad cancerígena en absoluto. Por lo tanto, la cuestión científica no es "¿provocan cáncer las radiaciones RF?", ya que esa pregunta nunca podrá recibir una respuesta negativa. Las preguntas correctas serían más bien las siguientes:

- ¿Cuánto esfuerzo científico se ha puesto en la búsqueda de la evidencia sobre las radiaciones RF como agente causal del cáncer?
- ¿Se han considerado todos los enfoques posibles en la evaluación del potencial cancerígeno de las radiaciones RF?

-¿Cuán robusto es el bloque de evidencia que conecta las radiaciones RF al cáncer?

La respuesta a estas preguntas necesita del examen de un conjunto diverso de datos obtenidos en disciplinas que van desde la biofísica a la epidemiología, donde probablemente ningún resultado aislado va a resultar definitivo. Además, puesto que no existe ninguna regla exacta para determinar cuánta investigación es "suficiente", las respuestas siempre estarán sujetas a discusión. De hecho, puede argumentarse que la evaluación de riesgos en cáncer no es en absoluto una ciencia, sino una forma de análisis que requiere un alto nivel de aporte científico (1, 33, 34). En semejante escenario pueden darse disputas sobre riesgos sutiles que en lugar de fundamentarse en un consenso científico, estén mediadas por intereses políticos.

## 2.2) El establecimiento del potencial cancerígeno

La epidemiología proporciona la mayor parte de la evidencia directa sobre el potencial cancerígeno de un agente en humanos, pero los mecanismos de carcinogénesis están lo suficientemente bien establecidos para que los estudios de laboratorio también puedan proporcionar información relevante para valorar si las radiaciones RF tienen capacidad de inducir cáncer o de contribuir al desarrollo de éste (Tabla I).

Cuando la evidencia epidemiológica de asociación entre un agente físico y el cáncer es débil y/o la relación es biofísicamente inverosímil, los estudios de laboratorio resultan críticos para la evaluación del riesgo (4, 33, 35, 36). Si existe una evidencia celular (*in vitro*) y/o animal (*in vivo*) robusta de que un agente es cancerígeno, esto puede hacer que una evidencia epidemiológica de asociación, aunque sea débil, resulte plausible. A la inversa, si se llevan a cabo estudios de laboratorio apropiados, y tales estudios no logran revelar una evidencia consistente de actividad cancerígena, entonces tendemos a conceder escaso valor a una evidencia epidemiológica débil, en particular si la asociación es poco verosímil desde el punto de vista biofísico.

Nuestros presentes conocimientos sobre el cáncer nos dicen que el proceso canceroso es iniciado por un daño en la información genética (el ADN) de una célula, y los agentes causantes de ese daño se denominan genotoxinas o genotóxicos. Es extremadamente improbable que un daño genético aislado en una célula desemboque en un cáncer; más bien parece que se requiere una serie de daños genéticos muy específicos (33, 37, 38). De hecho, el daño genotóxico en las células ocurre constantemente debido a errores arbitrarios durante la división celular, y a causa de la exposición diaria a genotoxinas naturales y artificiales. La mayor parte de estos daños genéticos no tienen ningún efecto deletéreo sobre las células afectadas, y muchos otros daños genéticos conducen a la muerte celular. Sólo una fracción muy pequeña de los daños genéticos que tienen lugar conduce a las células a lo largo del proceso canceroso.

Asimismo, sabemos que también algunos agentes no genotóxicos pueden contribuir al desarrollo del cáncer, aun cuando estos agentes no son capaces de dañar al ADN o de causar el cáncer por sí mismos. Los cancerígenos epigenéticos (no genotóxicos) afectan a la carcinogénesis incrementando la probabilidad de que otros agentes provoquen el daño genotóxico, o de que el daño genotóxico causado por otros agentes conduzca al desarrollo de un cáncer (33, 37-40). Las acciones de los agentes epigenéticos pueden ser específicas de tejido o de especie, y tales acciones pueden presentar umbrales de efecto. Por ello, la evidencia sobre la posible capacidad epigenética de un agente determinado debe ser evaluada cuidadosamente a la hora de determinar su relevancia como cancerígeno humano en condiciones reales de exposición.

---

**Tabla I: Evaluación de la Evidencia sobre el Potencial Cancerígeno de un Agente**


---

**Epidemiología**

- ¿Existen estudios independientes que muestren una asociación entre exposición y cáncer?
- ¿Existe una asociación fuerte entre exposición y cáncer?
- ¿Los datos de asociación con cáncer son consistentes intrínseca y extrínsecamente (es decir, diferentes estudios muestran riesgos similares para los mismos tipos de cáncer)?
- ¿Incrementa la incidencia de cáncer en función de la exposición (es decir, existen relaciones de exposición-respuesta)?
- ¿Se han eliminado posibles fuentes de sesgo y confusión?
- ¿Causa la exposición daño cromosómico en humanos<sup>1</sup>?

**Estudios en animales (*in vivo*)**

- ¿La exposición crónica provoca cáncer en roedores?
- ¿La exposición provoca daño cromosómico<sup>1</sup> o mutaciones<sup>2</sup> en roedores, insectos o plantas?
- ¿La exposición incrementa en roedores la probabilidad de que los animales desarrollen cáncer en respuesta a un cancerígeno conocido (es decir, actúa el agente como un "promotor")?

**Estudios en células (*in vitro*)**

- ¿La exposición provoca daño cromosómico<sup>1</sup>, mutaciones<sup>2</sup> o transformación celular<sup>3</sup> en bacterias, levaduras, plantas o células de mamíferos?
- ¿La exposición inhibe la reparación del ADN en bacterias, levaduras, plantas o células de mamíferos?
- ¿La exposición incrementa en células de mamíferos la probabilidad de que el tratamiento con un carcinógeno conocido provoque daño cromosómico<sup>1</sup>, mutaciones<sup>2</sup> o transformación celular<sup>3</sup>?

**Estudios biofísicos/bioquímicos**

- ¿Existen mecanismos biofísicos y/o bioquímicos capaces de explicar cómo podría el agente provocar efectos biológicos?
- ¿Existen mecanismos biofísicos y/o bioquímicos capaces de explicar cómo podría el agente provocar efectos cancerígenos?

---

<sup>1</sup>La mayoría de los agentes capaces de dañar los cromosomas son carcinógenos, aunque no todos los agentes causantes de cáncer provocan daño cromosómico. Las formas de detección de daño cromosómico incluyen la comprobación de aberraciones cromosómicas, de intercambio entre cromátidas hermanas (ICH) y de formación de micronúcleos.

<sup>2</sup>La mayoría de los agentes causantes de mutaciones también provocan cáncer, aunque no todos los agentes cancerígenos son mutagénicos.

<sup>3</sup>Los ensayos de transformación permiten saber si células expuestas a un agente sufren cambios que se asemejan a respuestas ante cancerígenos conocidos.

Puesto que existen múltiples mecanismos de carcinogénesis, no hay una única prueba para la identificación de cancerígenos. Y a la inversa, no existe ninguna prueba o conjunto de pruebas capaces de demostrar la ausencia de actividad cancerígena (4, 33, 37-43). En la evaluación del potencial cancerígeno de un agente físico, los científicos consideran siete líneas principales de evidencia (Tabla I):

- 1) Evidencia en poblaciones humanas (es decir, epidemiología, estudios clínicos, y registros de casos);
- 2) Estudios de exposición crónica en animales (esto es, ¿la exposición a largo plazo provoca cáncer en animales?);
- 3) Pruebas de actividad genotóxica en animales (esto es, ¿provoca la exposición mutaciones, daño en el ADN o aberraciones cromosómicas en animales?);
- 4) Pruebas celulares de actividad genotóxica (esto es, ¿provoca la exposición mutaciones, daño en el ADN o aberraciones cromosómicas en células?);
- 5) pruebas de actividad epigenética en animales (esto es, ¿la exposición incrementa, favorece o "promueve" la acción de cancerígenos conocidos?);
- 6) Pruebas de actividad epigenética en células (esto es, ¿la exposición aumenta la probabilidad de que otros agentes causen daño genotóxico, o de que el daño genotóxico causado por otros agentes conduzca al desarrollo de cáncer?);
- 7) La verosimilitud bioquímica y/o biofísica (esto es, ¿es compatible lo que conocemos sobre carcinogénesis y sobre la biofísica del agente con una conexión causal entre exposición a ese agente y cáncer?).

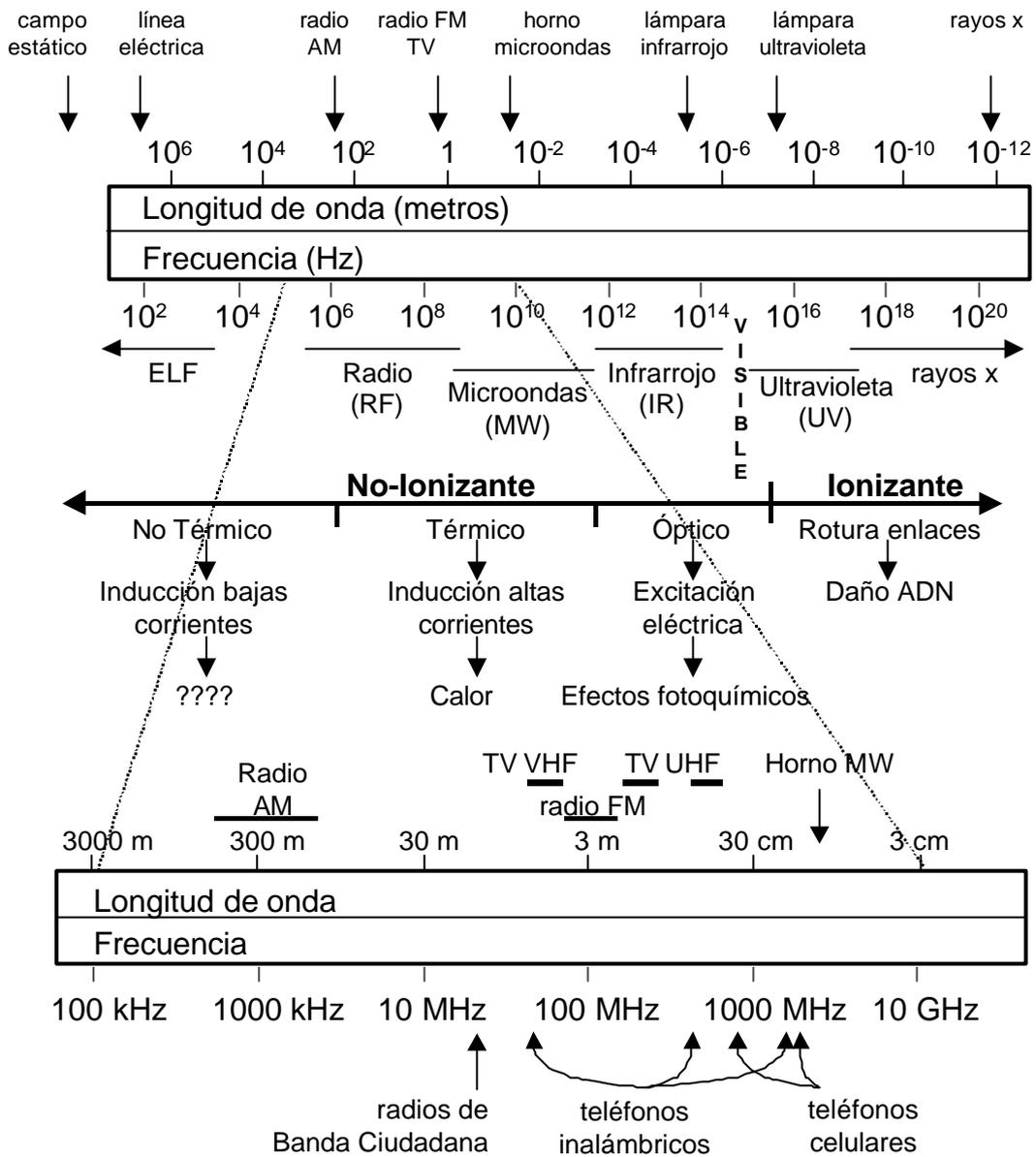
A falta de tests o ensayos definitivos para carcinogénesis, los científicos deben considerar todas estas líneas de evidencia, y deben considerar todos los datos relevantes (tanto positivos como negativos) en una evaluación del peso de la evidencia.

### 3) Biofísica de las Radiaciones de Radiofrecuencias (RF)

#### 3.1) El espectro electromagnético

Los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible, la luz infrarroja, las microondas, las radiaciones de radiofrecuencias (RF o RRF), y los campos electromagnéticos de los sistemas de energía eléctrica forman parte del espectro electromagnético (Fig. 1). Las distintas partes del espectro electromagnético se caracterizan por su frecuencia (o su longitud de onda), y diferentes frecuencias electromagnéticas provocan fundamentalmente diferentes efectos físicos y biológicos. Por lo general hablamos sobre fuentes electromagnéticas como si estas produjesen las ondas de energía. Sin embargo, la energía electromagnética también puede actuar como partículas, sobre todo a las frecuencias más altas; y la energía de estas partículas (fotones) aumenta al incrementar la frecuencia. La naturaleza de "partícula" en la energía electromagnética es importante porque la energía por partícula (la energía de fotón) es un determinante fundamental de los efectos biológicos que provocará una frecuencia concreta de energía electromagnética (4, 6, 7).

A las frecuencias muy altas características de los rayos X, las partículas electromagnéticas (fotones) tienen la energía suficiente de romper uniones químicas. Esta rotura de uniones es la denominada ionización, y esta parte del espectro electromagnético se llama ionizante. Los peligros de las radiaciones ionizantes, como los rayos X, son bien conocidos y se deben a la rotura de uniones químicas en el material genético de las células (el ADN). A frecuencias inferiores, como la propia de la luz visible, la radiación RF y las microondas, la energía de un fotón es muy inferior a la necesaria para romper uniones químicas, y esta parte del espectro electromagnético se denomina no-ionizante (Fig. 1).



**Figura 1:** Diagrama del espectro electromagnético mostrando la frecuencia (en Hz), la longitud de onda (en metros), los nombres y las utilidades de distintos tramos del espectro, y los tipos de efectos biológicos que se dan a diferentes frecuencias. Adaptado a partir de Moulder (4).

Las radiaciones y los campos electromagnéticos pueden provocar efectos biológicos. Muchos de los efectos biológicos de la luz ultravioleta no ionizante, de la luz visible y de la infrarroja también dependen de la energía de fotón; pero estos efectos no implican la ionización, sino la excitación electrónica, y no se dan a frecuencias inferiores a la de la luz infrarroja (por debajo de 300000 MHz). Las radiaciones RF y las microondas pueden causar efectos por inducción de corrientes eléctricas en los tejidos e incremento del movimiento molecular; ambos fenómenos producen calentamiento. La eficacia con la cual la radiación electromagnética no ionizante provoca calor depende de la frecuencia de la fuente, y del tamaño y orientación del objeto calentado. En frecuencias inferiores a las utilizadas para la radiodifusión AM (aproximadamente 1 MHz), los campos electromagnéticos no son bien absorbidos por humanos y animales, por lo que son muy ineficaces (muy poco efectivos) como generadores de calor (4, 7, 44-46).

Así, en términos de potenciales efectos biológicos, el espectro electromagnético puede ser dividido en cuatro partes (Fig.1):

1. La porción de las radiaciones ionizantes, donde puede darse un daño químico directo (p. ej., rayos X).
2. La porción no ionizante del espectro, que puede ser subdividida en:
  - a. La porción de radiación óptica, donde pueden darse fenómenos de excitación de electrones (p.ej., la luz visible).
  - b. La porción en la que la longitud de onda es más corta que la longitud del cuerpo humano, por lo que pueden darse fenómenos térmicos (p.ej., microondas, teléfonos móviles, emisiones de TV, radio FM).
  - c. La porción en la que la longitud de onda es mucho mayor que el cuerpo humano, y el calentamiento raras veces se produce (p.ej., la radio AM, los campos de frecuencia industrial, los campos estáticos).

### **3.2) Terminología y unidades para la medición de radiaciones de radiofrecuencia (RF)**

Para la radiación RF, la energía que alcanza una superficie, en vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$  o  $mW/cm^2$ ) se denomina la "densidad de potencia". La densidad de potencia mide la "fuerza" de la radiación RF incidente y es la forma más extendida de cuantificar la exposición externa a la radiación RF, principalmente porque es relativamente fácil de medir. Sin embargo, la densidad de potencia es una medida imperfecta de las condiciones en el interior de un organismo irradiado. En su lugar, los científicos emplean una medida de exposición interna, la tasa absorción específica, SAR (en  $W/kg$ ). El SAR generalmente es usado como la medida de dosis en experimentos de laboratorio, y sirve como base científica para las normas de seguridad modernas en materia de radiación RF (44-47). La relación entre densidad de potencia y SAR es compleja, y depende fuertemente de la frecuencia de la radiación RF y del tamaño del objeto expuesto (44-46, 48).

### **3.3) Niveles típicos de las radiaciones de radiofrecuencias (RF)**

Los efectos de las radiaciones RF sobre animales pueden ser observados de forma reproducible para SAR superiores a  $4.0 W/kg$  (44-46, 49, 50); y a las frecuencias comúnmente usadas para telecomunicaciones (30-3000 MHz) un SAR de  $4.0 W/kg$  requiere densidades de potencia entre 15 y  $250 mW/cm^2$  aproximadamente (48, 50). La mayor parte de las directrices de seguridad para radiación RF están basadas en el mantenimiento del cuerpo completo a SAR por debajo de  $0.08-0.40 W/kg$  (8, 44-47, 50), lo que corresponde a densidades de potencia en la gama de  $0.4-20 mW/cm^2$  a 30-3000 MHz.

En contraste con los niveles de radiación de RF requeridos para producir efectos reproducibles en animales, y en contraste con los niveles especificados en las directrices de seguridad, los niveles ambientales de radiación RF son generalmente bastante bajos (51). Por ejemplo, en las proximidades de antenas de difusión para TV, las densidades de potencia máximas están generalmente entre  $0.02$  y  $0.24 mW/cm^2$  (51-53); y en áreas públicas próximas

a antenas de estaciones base de telefonía móvil, las densidades de potencia máximas son generalmente inferiores a 0.003 mW/cm<sup>2</sup> (51, 54-57).

### **3.4) Posibles mecanismos para los efectos biológicos de las radiaciones de radiofrecuencias**

#### **(RF)**

Para provocar un cambio en un material biológico, la radiación RF debe depositar en él suficiente energía para cambiar significativamente alguna estructura biológica (7, 9, 10, 58, 59). Sin embargo, cada estructura biológica posee ya una energía cinética térmica, y estas estructuras chocan continuamente con otras estructuras de energía similar. Para que ocurra un cambio en el material biológico, parece que la radiación RF debería transferir energía considerablemente superior a la citada energía térmica. Puesto que la energía de fotón de las radiaciones RF es mucho menor que la energía térmica y que la energía de las uniones químicas, parecería que existen pocas posibilidades de que la irradiación con RF tenga alguna actividad biológica (por no hablar de actividad cancerígena) a niveles de potencia sub-térmicos (7, 9, 10, 44, 58, 59).

En las discusiones sobre los efectos biológicos de las radiaciones RF se hace a veces una distinción entre efectos "no-térmicos" y "térmicos" (10, 58, 59). Esto se refiere al mecanismo del efecto: los efectos no-térmicos son un resultado de una interacción directa entre la radiación y el organismo (p.ej., acontecimientos fotoquímicos como la visión y la fotosíntesis); y los efectos térmicos son resultado de un calentamiento (p.ej., con microondas o luz infrarroja). Se han descrito efectos biológicos de RF cuyos mecanismos de radiación son desconocidos, y es difícil (y no muy útil) intentar establecer distinciones entre mecanismos "térmicos" "y no-térmicos" para tales efectos.

#### **4) La Epidemiología en las Radiaciones de Radiofrecuencias (RF)**

Aunque la radiación RF haya formado parte de nuestra sociedad durante décadas, y varias actividades laborales implican una exposición evidente (51), ningún estudio epidemiológico ha mostrado claramente que la radiación RF sea cancerígena. Los límites voluntarios de exposición ocupacional y el riesgo térmico han mantenido las exposiciones relativamente bajas; y es improbable que se den exposiciones a largo plazo y a altas dosis en la población. Además, aunque se han desarrollado instrumentos sofisticados para medir la radiación RF, no existe ningún método completamente satisfactorio para la monitorización continuada de exposiciones individuales, o para estimar exposiciones retrospectivamente. Debido a los niveles relativamente bajos de exposición, al tamaño relativamente pequeño de las poblaciones expuestas (excepto para usuarios de teléfono móvil), y a la carencia de estimaciones de dosis fiables, la demostración o refutación de la existencia de efectos cancerígenos de las radiaciones RF sobre una base exclusivamente biológica, será probablemente imposible. A pesar de estas limitaciones, podemos obtener alguna información respecto a la cuestión del cáncer a partir de los estudios epidemiológicos existentes.

##### **4.1) Estudios de *clusters* o agrupamientos de casos de cáncer y las radiaciones de radiofrecuencias (RF)**

Se han descrito diversos *clusters* o "agrupamientos de casos" de cáncer relacionados con la exposición a radiaciones RF. Los principales pasos en la evaluación de datos sobre "clusters" de cáncer son: establecer un límite espacio-temporal lógico (no arbitrario) para definir la población a estudiar, determinar si en realidad se ha dado un exceso de un tipo específico de cáncer, e identificar exposiciones y características comunes (60). Estos pasos no han sido seguidos en la mayor parte de los estudios de "clusters" de cáncer y radiación RF, por lo que estos estudios proporcionan poca información sobre la causalidad.

Los ejemplos mejor conocidos de "clusters" de cáncer que implican exposición a radiaciones RF incluyen los informes de cáncer testicular entre policías que usaban radares manuales (61), los casos de leucemia en niños que vivían cerca de torres de radio en Hawai (62), y los de cáncer cerebral cerca de antenas de FM/TV en Colorado (63). Davis y Mostofi (61) encontraron un exceso de cáncer testicular en un grupo de policías de tráfico del Estado de Washington que usaban radares portátiles, sin embargo no se ha registrado ningún exceso similar entre usuarios de radar en otras áreas de los EE UU. Maskarinec et al. (62) publicaron un "cluster" de casos de leucemia en niños cerca de torres de radio en Hawai. Un estudio de seguimiento caso-control (62) encontró que el exceso no era estadísticamente significativo. Más recientemente, el Departamento de Salud Pública y Ambiente de Colorado (EE UU) (63) publicó la existencia de un "cluster" de cánceres cerebrales en adultos alrededor de las antenas de FM/TV en Lookout Mountain. Un detallado estudio epidemiológico posterior (63) encontró que el exceso no era estadísticamente significativo.

#### **4.2) Estudios de correlación geográfica con radiaciones de radiofrecuencias (RF)**

Los estudios de correlación geográfica estiman la potencia de las radiaciones RF en áreas geográficas y correlacionan estas estimaciones con tasas de enfermedad en esas áreas. Incluso si el diseño de tales estudios es óptimo, se trata de trabajos exploratorios y no son generalmente útiles para determinar causalidad. En 1996, Hocking et al. (64) publicaron un estudio que comparó áreas "cerca de torres de TV" con áreas alejadas. Las exposiciones a radiaciones RF no fueron medidas. Ninguna otra fuente de exposición a radiaciones RF fue tomada en cuenta, el estudio se basó en una sola área metropolitana, y los grupos "cerca de torres de TV" y "no cerca de torres de TV" podrían no haber tenido distribuciones similares en función de la edad o el estado socioeconómico. Los autores relataron una incidencia elevada de leucemia en niños, pero no incrementos significativos de leucemia en adultos o de cáncer cerebral.

En 1998, McKenzie et al. (53) repitieron el estudio de Hocking et al. (64). Estos autores estudiaron la misma área y en el mismo período de tiempo, pero llevaron a cabo mediciones reales de los niveles de radiación de RF en varias áreas residenciales. Encontraron un incremento de los casos de leucemia en niños que vivían en una zona próxima a las antenas de TV, pero no en otras áreas similares cerca de las mismas antenas. Tampoco encontraron ninguna correlación significativa entre la exposición a la radiación RF y la incidencia de leucemia en niños. McKenzie et al. (53) encontraron que la mayor parte del "exceso de leucemia en niños" descrito por Hocking et al. (64) se había producido antes de que las emisiones de 24 horas a alta potencia hubieran comenzado en aquella zona.

En 1997, Dolk et al. (65) investigaron y publicaron la existencia de "clusters" de leucemia y linfoma cerca una torre de difusión FM/TV de alta potencia en el Reino Unido. Encontraron que la incidencia de leucemia en adultos y de cáncer de piel era elevada dentro de un radio de 2 kilómetros de las antenas. No se detectó ninguna asociación para cáncer cerebral, linfoma o cualquier otro tipo de cáncer. A partir de este hallazgo, Dolk y sus colaboradores (66) ampliaron su estudio a las instalaciones FM/TV de alta potencia de difusión en el Reino Unido. No se encontró ningún aumento significativo en el total de cánceres, de leucemia o de cáncer cerebral en las proximidades del resto de las instalaciones de FM/TV del Reino Unido.

#### **4.3) Estudios de exposición ocupacional y militar a radiaciones de radiofrecuencias (RF)**

Hill (67) estudió la incidencia de cáncer en empleados del Instituto Tecnológico de Massachusetts que habían trabajado sobre el desarrollo del radar durante la Segunda Guerra Mundial. La exposición de cada individuo fue estimada sobre la base de su historial laboral y de las características de los sistemas contemporáneos de radar. La exposición máxima fue estimada en 2-5 mW/cm<sup>2</sup>. El índice de mortalidad por cáncer cerebral, leucemia y linfoma no eran significativamente altos en estos trabajadores, no había ningún cambio en su longevidad, ni evidencia de una relación exposición-respuesta.

Desde 1953 hasta 1976, el Edificio de la embajada estadounidense en Moscú fue irradiado con radiaciones RF de baja intensidad. Lilienfeld et al. (68) siguieron la mortalidad de cáncer en empleados en la embajada, y compararon su incidencia de cáncer con la de trabajadores asignados a otras embajadas de Europa Oriental. Las mediciones en la embajada de Moscú indicaron que la exposición máxima era 0.015 mW/cm<sup>2</sup> en 500 - 9000 MHz. Lilienfeld et al. (68) no encontraron ninguna evidencia que los individuos en el grupo de Moscú experimentasen niveles más altos de mortalidad por cáncer en general, o por cualquier subtipo de cáncer. Aunque este estudio estuvo bien diseñado, el tamaño relativamente pequeño de la cohorte y el tiempo de seguimiento corto limitaron su potencia.

Robinette et al. (69) estudiaron la mortalidad por cáncer en personal de la Marina de los EE UU del que se suponía que había sido expuesto a radiaciones RF. La exposición fue estimada a partir de la ocupación, basada en la supervisión de a bordo y en exposiciones accidentales confirmadas. Las categorías de alta exposición incluyeron la probabilidad de exposiciones superiores a 10 mW/cm<sup>2</sup>. En las ocupaciones de exposición alta, los índices de mortalidad por cáncer en general, por linfoma o por leucemia no resultaron ser elevados significativamente, y tampoco se detectó ninguna relación evidente entre exposición y respuesta. Garland et al. (70, 71) también estudiaron la relación entre la ocupación y linfoma o leucemia en el personal de la Marina de los EE UU, y encontraron que las ocupaciones que Robinette (69) había incluido en el grupo de alta irradiación RF presentaban tasas de linfoma y leucemia que eran inferiores a las de la población masculina en general. Grayson (72) evaluó la incidencia de tumores cerebrales en el personal masculino de las Fuerzas Aéreas con posible exposición radiaciones RF; y encontró que la incidencia de tumor cerebral era elevada para categorías de exposición "probable" y "posible" combinadas, pero no observó ninguna relación exposición-respuesta. Milham (73) consideró la posesión de la licencia de operador radioaficionado como una evidencia de exposición tanto a radiación RF como a campos de frecuencia industrial. Milham no tenía ninguna información sobre la exposición de los operadores o las horas de uso, y advirtió que los operadores aficionados podrían verse

expuestos a sustancias cancerígenas durante el mantenimiento de su equipo. La mortalidad total, así como la mortalidad por cáncer, resultó ser inferior a la de la población general, y esta disminución era estadísticamente significativa. La mortalidad por leucemia más linfoma era significativamente elevada, pero la mortalidad por cáncer cerebral no lo era.

Muchos estudios de epidemiológicos se refieren a "trabajadores eléctricos", pero en la mayoría de los estudios, la exposición a la radiación RF no está especificada. Los estudios de Tynes et al. (74), Thomas et al. (75), y Chantre et al. (76) constituyen excepciones a lo anterior. Tynes et al. (74) clasificó las "ocupaciones eléctricas" en categorías, una de las cuales era específicamente de radiación RF. El grupo cuyos empleos se asumía que conllevarían exposición a radiación RF no presentó riesgo elevado de cáncer cerebral, pero sí mostraba un riesgo aumentado de leucemia. En un estudio restringido a cáncer cerebral, Thomas et al. (75) clasificaron las "ocupaciones eléctricas" en categorías con supuesta exposición a campos de frecuencia industrial y/o a radiación RF. Los trabajadores supuestamente expuestos a la radiación RF sola no mostraron un incremento en el riesgo de tumores cerebrales. Cantor et al. (76) estudiaron la incidencia de cáncer de mama en mujeres dentro de una amplia variedad de ocupaciones, incluyendo ocupaciones con exposición posible a radiación RF. Estos autores encontraron que la exposición a radiación RF estaba "débilmente vinculada a la mortalidad de cáncer de mama", pero no existía evidencia de ninguna relación exposición-respuesta. Szmigielski (77) estudió el cáncer en militares polacos, algunos de los cuales habían trabajado con dispositivos que producían radiación RF. La exposición fue determinada a partir de evaluaciones de niveles de radiación RF en varios puestos de servicio, pero no se tomó en consideración el tiempo pasado en el puesto o el tipo de trabajo realizado en él. El estudio no ha sido publicado en la literatura epidemiológica, y los métodos de recolección y análisis de datos no han sido descritos adecuadamente. No se empleó la metodología epidemiológica apropiada para el estudio de una población a través del tiempo, no existe evidencia de que se efectuase un ajuste en función de la edad, y tampoco se conocen ni el número real de casos ni el tamaño total del grupo de personal sometido a riesgo. El cáncer en general, incluyendo

todos los tipos de cáncer, el cáncer cerebral, y el cáncer linfático y de órganos hematopoyéticos, eran más frecuentes en el personal expuesto. Sin embargo, la falta de información sobre el diseño y la carencia de datos básicos como los números de casos observados y esperados, hacen que el estudio no cumpla los criterios epidemiológicos básicos necesarios para su aceptación. Además, Elwood (78) indica que se obtuvo más información sobre la posible irradiación RF para los casos que para los controles, y que: "Esto abre la posibilidad de un sesgo sistemático; y sería de esperar que semejante sesgo produjera un incremento del riesgo relativo para todos los tipos de cáncer."

Lagorio et al. (79) estudiaron la mortalidad por cáncer en operarios de sistemas de sellado térmico por RF. La evaluación de la exposición se basó en el tiempo asignado a empleos en el uso de las termoselladoras RF. Las estimaciones de exposición se basaron en un estudio exploratorio que indicó que la densidad de potencias a veces excedía 1 mW/cm<sup>2</sup>. Entre los operadores de termoselladoras de esta pequeña cohorte había una tasa más alta que la esperada del total de muertes por cáncer. Sin embargo, los seis casos de cánceres encontrados en el grupo expuesto pertenecían a tipos de cáncer diferentes entre sí, lo cual no constituye un apoyo firme a la posibilidad de que esos cánceres tuviesen una causa común. Los autores indican que el área de trabajo también incluía la exposición a sustancias químicas asociadas con cáncer.

Incitado por un informe de un caso de leucemia, Muhm (80) investigó la mortalidad de cáncer en un periodo de 11 años entre trabajadores de un programa militar de ensayo de pulso electromagnético. Los trabajadores estaban expuestos a pulsos electromagnéticos de alta intensidad que incluían radiación RF de 0.01 a 100 MHz. No se observó ningún aumento en la tasa total de cánceres, y el exceso de leucemia no era estadísticamente significativo.

Morgan y colaboradores (81) estudiaron las principales causas de mortalidad (haciendo énfasis en cáncer cerebral, linfoma y leucemia) en los empleados de Motorola, un fabricante de productos de comunicación inalámbricos. A partir de su categoría ocupacional, los trabajadores fueron clasificados en grupos en función de su exposición a

radiación RF. Los trabajadores del grupo de más alta exposición a radiación RF no mostraron incidencia elevada de cáncer cerebral, leucemia o linfoma. No se conocen los niveles máximos y/o promedios reales de irradiación RF.

#### **4.4) Estudios sobre usuarios de teléfonos móviles.**

En 1996, Rothman et al. (82) revisaron los registros de salud de más de 250.000 usuarios de teléfono móvil. Estos autores no encontraron ninguna diferencia de mortalidad entre los usuarios de teléfonos manuales (en los que la antena es colocada cerca de la cabeza) y los de teléfonos instalados en automóviles (en los que la antena está montada sobre el vehículo). En un estudio complementario publicado en 1999 (28), el mismo grupo examinó las causas específicas de muerte entre los usuarios de teléfono móvil. Los investigadores no encontraron ninguna diferencia para las tasas de cáncer en general, tasas de leucemia, o tasas de cáncer cerebral entre los usuarios de teléfonos móviles manuales y los usuarios de teléfonos montados en vehículos. La única causa específica de muerte que tuvo correlación con el empleo de teléfonos móviles manuales era la muerte por colisión de vehículos.

En 1999-2001, tres estudios de tipo caso-control evaluaron la incidencia de cáncer cerebral entre usuarios de teléfonos móviles manuales (29-31). Ninguno de estos estudios encontró asociaciones significativas entre el empleo del teléfono móvil y el cáncer cerebral, y ninguno encontró una correlación exposición-respuesta (Fig. 2). En general, el lóbulo temporal del cerebro recibe la irradiación RF más alta en los usuarios de teléfonos móviles manuales; Hardell et al. (29) dieron cuenta de un exceso no significativo de tumores de lóbulo temporal, sin embargo Muscat et al. (30) e Inskip et al. (31) encontraron disminuciones, no significativas estadísticamente, en la frecuencia de esos tumores (Fig. 2). Hardell et al. (29) encontraron un exceso no significativo de tumores en el lado de la cabeza donde los pacientes dijeron aplicar sus teléfonos, pero Muscat et al. (30) e Inskip et al. (31) observaron tendencias en el sentido opuesto.

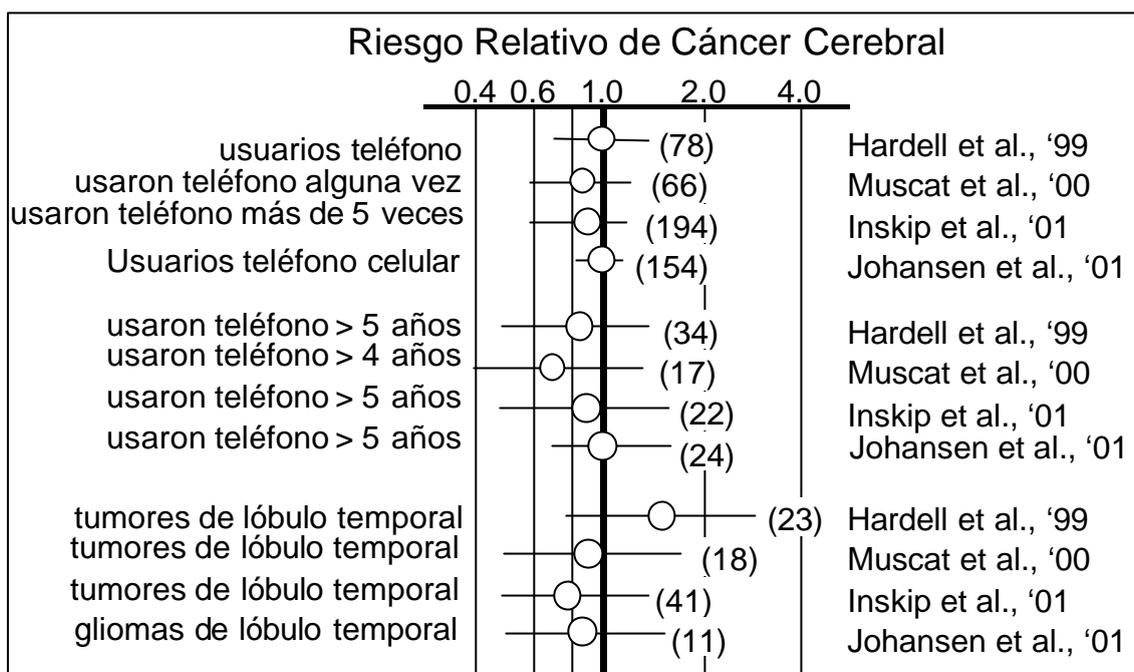
Hardell et al. (29) analizaron el uso del teléfono móvil en 233 pacientes de tumor cerebral, algunos de los cuales habían usado teléfonos móviles durante no menos que 10 años. Estos trabajos formaban parte de un estudio más extenso sobre las posibles causas de cáncer cerebral (tales causas potenciales incluían la exposición a radiaciones aplicadas en diagnóstico y terapia, así como una amplia variedad de sustancias químicas). La exposición fue evaluada mediante cuestionarios, y los análisis se basaron en el tiempo de uso de los teléfonos móviles (el uso de dispositivos "manos libres" y el empleo de teléfonos con antena fija instalada en un vehículo no fueron considerados). No se encontró ninguna elevación de la incidencia de tumor cerebral en los usuarios de los teléfonos, y tampoco se observó ninguna correlación exposición-respuesta (Fig. 2). Cuando el análisis se restringió a tumores de lóbulo temporal (o temporal, occipital y temporo-parietal) localizados en el mismo lado del cerebro en el que los usuarios decían aplicarse el teléfono, se encontró una incidencia elevada, no significativa (Fig. 2).

En 2000, Muscat et al. (30) publicaron un estudio de diseño similar realizado en EE UU sobre 469 pacientes con tumor cerebral, algunos de los cuales habían usado teléfonos móviles durante no menos que 4 años. La evaluación de la exposición se hizo a partir de entrevistas realizadas en el hospital. No se encontró ninguna elevación de incidencia de tumor cerebral en los usuarios de teléfonos, y tampoco se encontró ninguna correlación exposición-respuesta (Fig. 2). La incidencia de tumores de lóbulo temporal (donde la irradiación RF debería ser máxima) no resultó elevada (Fig. 2). Se encontró una tendencia no significativa a que los tumores se localizasen en el lado de la cabeza en la que los pacientes dijeron utilizar sus teléfonos; pero cuando se realizó el análisis restringiéndose a los tumores de lóbulo temporal, el número de tumores en el lado de la cabeza donde se usaba el teléfono era menor de lo esperado. Cuando Muscat et al. (30) analizaron los tumores en función del tipo histopatológico, no encontraron ningún exceso de gliomas (la forma más común y mortal de tumores cerebrales); pero había un exceso de neuroepiteliomas. Este aumento no era estadísticamente significativo. Hardell et al. (29) no analizaron este subtipo

histopatológico de tumor, pero Inskip et al. (31) encontraron una disminución en la incidencia de neuroepiteliomas.

A principios de 2001, Inskip et al. (31) publicaron un estudio sobre 782 pacientes estadounidenses de tumores cerebrales, algunos de los cuales habían usado teléfonos móviles manuales durante no menos de 5 años. No encontraron ninguna elevación en la incidencia de tumor cerebral en los usuarios de teléfonos, y no observaron ninguna correlación exposición-respuesta (Fig. 2). La incidencia de tumores de lóbulo temporal no resultó elevada (Fig. 2). Existía una tendencia no significativa a que los tumores se encontrasen en el lado de la cabeza contrario a aquel donde los pacientes decían utilizar sus teléfonos. Cuando Inskip et al. (31) analizaron los tumores según el tipo histopatológico no encontraron excesos significativos de ningún tipo de tumor cerebral, ya fuera maligno o benigno.

También a principios de 2001, Johansen et al. (32) publicaron un estudio de cohorte retrospectivo sobre todos los tipos de cáncer en ciudadanos daneses usuarios de teléfono móvil, algunos de los cuales habían usado teléfonos móviles durante no menos de 5 años. Esto incluyó a 154 pacientes con cáncer cerebral. El empleo del teléfono móvil se mostró asociado con un riesgo reducido significativamente de cánceres totales, que era atribuible en gran parte a una baja tasa de cánceres relacionados con el tabaquismo. No se encontró en los usuarios de teléfonos móviles ningún incremento en los riesgos de cáncer total o de cualquier clase específica de cáncer (incluyendo cáncer cerebral, leucemia, linfoma, cáncer ocular o melanoma). Tampoco se observó ninguna correlación exposición-respuesta entre los usuarios de teléfonos móviles, ni se registraron incrementos en el número de tumores de lóbulo temporal u occipital (Fig. 2).



**Figura 2:** Riesgo de cáncer cerebral en usuarios de teléfonos móviles. Se ilustran los riesgos relativos (con intervalos de confianza del 95%) a partir de los estudios de Hardell et al. (29), Muscat et al. (30), Inskip et al. (31) y Johansen et al. (32). La sección superior muestra la menos restrictiva de las definiciones de exposición entre las empleadas por cada autor, la sección central muestra el grupo de exposición más prolongada entre los estudiados por cada autor, y la sección inferior muestra el riesgo de tumores en el lóbulo temporal (allí donde la exposición a la radiación RF sería mayor para los usuarios de los teléfonos). El número de casos en cada análisis se muestra entre paréntesis.

También en 2001, Stang et al. (83) publicaron que el empleo de "radioteléfonos, teléfonos móviles, o dispositivos similares en el lugar de trabajo durante al menos varias horas al día" estaba asociado con melanoma de úvea (intraocular). De 118 individuos con el melanoma intraocular, 6 (el 5.1 %) afirmaron que era "probable o seguro" que "se hubieran visto expuestos alguna vez" a teléfonos móviles en el trabajo. Según los autores, esta exposición ocupacional al teléfono móvil es 4 veces superior a la esperada. El empleo del teléfono móvil fuera del trabajo no fue evaluado, y tampoco lo fueron otros factores de riesgo (p.ej., la exposición UV y el color claro de la piel). En el único estudio comparable,

Johansen et al. (32) encontraron en los usuarios de teléfonos móviles menos melanoma y cáncer ocular de lo esperado.

#### **4.5) Estudios de genotoxicidad en exposiciones ocupacionales.**

Varios estudios han examinado los linfocitos de trabajadores con exposición ocupacional a radiación RF de instalaciones de telecomunicaciones. Garaj-Vrhovac et al. (84) encontraron un aumento en la incidencia de anomalías cromosómicas y de micronúcleos en trabajadores expuestos, pero Garson et al. (85) y Maes et al. (86) no encontraron ninguna evidencia de tal efecto.

#### **4.6) Resumen de la epidemiología de las radiaciones de radiofrecuencia (RF)**

En general, cuanto mayor es la calidad de la evaluación de exposición, mayor confianza puede otorgarse a los resultados de un estudio epidemiológico. Lamentablemente, en la mayoría de los estudios sobre radiaciones RF, la exposición real en realidad no fue medida, de forma que la ocupación, la categoría profesional, o el manejo de dispositivos generadores de radiación RF fueron usados como una medida sustitutiva de la exposición. Aunque algunos estudios proporcionaban alguna información general sobre la exposición, ninguno incluyó mediciones sistemáticas de las exposiciones recibidas por los individuos.

La mayor solidez podría concedérseles a los cuatro estudios epidemiológicos (Hill (67), Robinette et al. (69), Milham (73), Morgan et al. (81)) con diseño y análisis aceptables, con mayor tamaño de muestra, y tiempo de seguimiento más largo. Otros ocho estudios (Lilienfeld et al. (68), Tynes et al. (74), Thomas et al. (75), Dreyer et al. (28), Hardell et al. (29), Moscatel et al. (30), Inskip et al. (31), Johansen et al. (32)) emplearon diseños aceptables, pero presentaban limitaciones significativas en la evaluación de la exposición y/o en el seguimiento. Estos 12 estudios no muestran ninguna asociación consistente y

estadísticamente significativa entre la exposición a radiaciones RF y cáncer en general o algún tipo específico de cáncer.

Existen criterios generales que se emplean en la evaluación de los estudios epidemiológicos sobre agentes sospechosos de causar cáncer (33, 35, 36). Los científicos evalúan la cantidad y la calidad de los estudios, la potencia y la especificidad de la asociación entre exposición y cáncer, la consistencia interna y externa de los estudios, y la evidencia de un gradiente de respuesta en función de la exposición (Tablas I y II).

- La calidad y la cantidad de la epidemiología sobre radiaciones RF entra en rango que va de “bueno” a “pobre”. Las mayores limitaciones son la carencia de una adecuada evaluación de exposición, y en algunos casos los tiempos de seguimiento demasiado cortos.
- La asociación entre radiación RF y cáncer es débil. Una asociación es fuerte cuando el riesgo relativo es 5 o más (33, 35, 87). La mayor parte de los estudios de radiación RF que muestran una asociación entre cáncer y exposición tienen riesgos relativos de menos de 3, y los estudios, tomados en su conjunto, tienen riesgos relativos entre 0.7 y 2.0.
- La consistencia entre los estudios no es fuerte. Mientras hay estudios que dan cuenta de asociaciones débiles entre tipos específicos de cáncer y la exposición a radiaciones RF, pocos estudios muestran el mismo resultado positivo, e incluso los estudios positivos son incoherentes entre sí.
- No se han observado correlaciones entre exposición y respuesta, incluso en los estudios que han hallado un aumento en la frecuencia de algún tipo de cáncer para algún nivel de exposición a radiaciones RF.

<b>Tabla II: Valoración del Peso de la Evidencia en Radiaciones de Radiofrecuencias y Riesgo de Cáncer<sup>1</sup></b>	
<b>Criterios</b>	<b>Valoración para Radiaciones de Radiofrecuencias (RF)</b>
Cantidad y calidad de los estudios epidemiológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversos estudios de buena calidad general</li> </ul>
Robustez de asociación en los estudios epidemiológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las asociaciones son débiles o inexistentes</li> </ul>
Consistencia en los estudios epidemiológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se han descrito asociaciones consistentes entre exposición y cánceres en general o algún cáncer en particular</li> </ul>
Relación exposición-respuesta en los estudios epidemiológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No existe evidencia de relaciones exposición-respuesta</li> </ul>
Cantidad de evidencia de laboratorio relacionada con la comprobación de genotoxicidad <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Numerosos estudios en células y animales</li> </ul>
Robustez de la evidencia de laboratorio sobre genotoxicidad <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios celulares con fuerte evidencia en contra de una actividad genotóxica</li> <li>• Estudios en animales con evidencia moderada en contra de una actividad genotóxica</li> </ul>
Cantidad de evidencia de laboratorio relativa a la comprobación de actividad epigenética <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algunos estudios sobre células y animales</li> </ul>
Robustez de la evidencia de laboratorio sobre actividad epigenética <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alguna evidencia, no replicada, de actividad epigenética a niveles de exposición elevados (posiblemente térmicos)</li> </ul>
Coherencia de la asociación en términos físicos y biofísicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A niveles de potencia subtérmicos es improbable que se den efectos biológicos significativos</li> </ul>
Evidencia general	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No existen indicios de una asociación causal, pero la epidemiología es escasa y hay pocos estudios robustos en animales</li> </ul>

<sup>1</sup>Según Foster et al. (33) y Moulder et al. (9) a partir de los criterios descritos por Hill (35).

<sup>2</sup>La capacidad de un agente para dañar directamente el material genético (el ADN).

<sup>3</sup>La capacidad de un agente para contribuir al desarrollo de un cáncer sin dañar directamente al ADN. Los agentes epigenéticos pueden incrementar la probabilidad de que otros agentes provoquen daño genotóxico, o de que el daño genético provocado por otros agentes evolucione hacia cáncer.

En resumen, la evidencia epidemiológica de asociación causal entre el cáncer y la exposición a radiaciones RF está en el rango que va desde "débil" a "inexistente". Otros autores han llegado recientemente a conclusiones similares. En una revisión de 1999 Elwood (78) concluyó que:

"Se han descrito varias asociaciones positivas que sugieren incrementos de riesgo para algunos tipos de cáncer en sujetos que podrían haber recibido una elevada exposición a emisiones RF. Sin embargo, los resultados son incoherentes: no existe ningún tipo de cáncer que haya sido asociado consistentemente con exposiciones a RF. La evidencia epidemiológica carece de la potencia y consistencia necesarias para alcanzar una conclusión razonable que las emisiones RF son una causa probable para uno o más tipos de cáncer humano. La evidencia es débil en lo que se refiere a su inconsistencia, al diseño de los estudios, a la carencia de detalles sobre los niveles reales de exposición, y a las limitaciones de los estudios en su capacidad de valorar otros factores potencialmente relevantes. En algunos estudios los datos usados pueden estar sesgados."

En una revisión de 2000 Rothman (88) concluía que:

"Sobre la base de la evidencia epidemiológica disponible en el presente, la principal causa de preocupación en materia de salud pública son claramente las colisiones en automóvil, un efecto conductual más que un efecto de la exposición RF en sí. Ni los diferentes estudios sobre exposición ocupacional a RF ni los pocos trabajos sobre usuarios de teléfonos celulares ofrecen ninguna evidencia clara de una asociación con tumores cerebrales u otra enfermedad. Incluso si los estudios en curso encontrasen efectos relativos grandes para el cáncer cerebral, el aumento absoluto del riesgo probablemente sería más pequeño que el riesgo que se deriva de colisiones de automóvil."

## **5) Estudios de Carcinogénesis y Radiaciones de Radiofrecuencia (RF)**

No se ha realizado ningún estudio en animales expuestos a radiaciones RF que reúnan los criterios óptimos para estudios en carcinogénesis (esto es, animales normales,

niveles de exposición múltiples y exposición de por vida), sin embargo, se han publicado numerosos estudios animales que son sumamente relevantes para dilucidar si las radiaciones RF poseen un potencial cancerígeno. Se han realizado estudios de cuatro tipos:

- 1) Exposición de roedores normales a radiaciones RF (20-23, 89-91);
- 2) Exposición a radiaciones RF en roedores propensos a desarrollar cáncer (13, 24-27);
- 3) Roedores tratados con cancerígenos químicos más exposición a radiaciones RF (21-23, 92-96);
- 4) Roedores con cáncer que posteriormente fueron expuestos a radiaciones RF (97, 98).

### **5.1) Carcinogénesis en animales normales tratados con radiaciones de radiofrecuencias (RF)**

Prausnitz y Susskind (89) expusieron ratones a radiaciones RF de 9270 MHz y 100 mW/cm<sup>2</sup> durante 59 semanas. El SAR fue estimado posteriormente en 40-50 W/kilogramo (el equivalente a la mitad, aproximadamente, de la dosis mortal para un ratón (99)), y la exposición provocó un incremento de la temperatura corporal de 2-5 °C. Los autores describieron la presencia de un trastorno que ellos llamaron "leucosis" en los animales expuestos, pero los animales expuestos a la radiación RF tenían una vida media más larga que el grupo de control. Numerosos defectos en este estudio, como han indicado Roberts y Michaelson (99), reducen seriamente su valor para una evaluación del potencial cancerígeno de las radiaciones RF. Entre los defectos identificados hay que citar: el estrés térmico inherente al procedimiento de exposición, la carencia de análisis estadístico, la carencia de caracterización histopatológica de la "leucosis", y la presencia de una epidemia de pulmonía durante el estudio.

Spalding et al. (90) expusieron ratones a radiaciones RF de 800 MHz y 43 mW/cm<sup>2</sup> durante 35 semanas (SAR estimado, 13 W/kilogramo). No se investigó la incidencia de cáncer, pero la vida media del grupo expuesto a RF no era significativamente diferente de la del grupo control, sometido a simulacro de exposición. No se encontró ninguna diferencia

significativa entre los grupos expuesto y control para parámetros hematológicos o para peso corporal.

Chou et al. (20) expusieron ratas a radiaciones RF de 2450 MHz con un SAR de 0.15 a 0.4 W/kilogramo durante 25 meses. Encontraron un exceso del total de tumores malignos en los animales expuestos, pero no había ninguna diferencia entre los animales expuestos a RF y los pseudo-expuestos (controles) para ningún tipo específico de tumor, ya fueran malignos o benignos. La vida media del grupo expuesto a RF no era estadísticamente diferente de la del grupo control. Puesto que la incidencia total de tumores malignos era solamente uno de los 155 parámetros investigados en el estudio, el incremento de tumores malignos totales no fue considerado estadísticamente significativo.

Liddle et al. (91) expusieron ratones a radiaciones RF de 2450 MHz y 3 ó 10 mW/cm<sup>2</sup> (SAR de 2 y 6,8 W/kg) durante toda la vida de los animales. La vida media de los ratones expuestos a 10 mW/cm<sup>2</sup> se vio reducida significativamente, sin embargo, los animales expuestos a 3 mW/cm<sup>2</sup> vivieron un poco más que el grupo control (con exposición simulada). Los autores indicaron que el calentamiento por exposición a 10 mW/cm<sup>2</sup> podría haber sido lo suficientemente estresante como para reducir la longevidad de los animales.

Adey et al. expusieron ratas a radiaciones RF de 837 MHz, pulsadas (21) o no pulsadas (22). La exposición se inició con irradiación de cuerpo completo en ratas preñadas, y continuó con exposición de cuerpo completo de la camada hasta el destete. A partir de las siete semanas de edad, las ratas recibieron radiación RF en la cabeza, que se mantuvo durante 22 meses. Los SAR para el cerebro estaban en el rango entre 0,7 y 2,3 W/kg, y para el cuerpo completo, entre 0,2 y 0,7 W/kg. Los autores describieron que el número de tumores cerebrales mostró un descenso no significativo en los animales expuestos a las radiaciones pulsadas (21), y no se mostró afectado en los sujetos expuestos a las radiaciones no pulsadas (22).

En 2001, Zook y Simmens (23) describieron una ausencia de efectos en la incidencia de tumores cerebrales en ratas expuestas a radiaciones RF de 860 MHz y 1 W/kg, de onda

continua o pulsada. La exposición era de 6h/día, 5 días/semana durante 22 meses, a partir de los 2 meses de edad. No se encontraron incrementos estadísticamente significativos sobre la tasa general de cáncer o sobre cualquier tipo específico de cáncer (incluyendo linfoma) en los animales expuestos a las radiaciones RF.

## **5.2) Carcinogénesis en animales propensos al desarrollo de cáncer expuestos a radiaciones de radiofrecuencias (RF)**

Toler et al. (24) y Frei et al. (25, 26) investigaron el efecto de la exposición a radiaciones RF en ratones propensos al desarrollo de tumores mamarios. En este modelo animal, los tumores mamarios inducidos mediante virus se desarrollan en aproximadamente el 50 % de los sujetos. Toler et al. (24) expusieron los ratones durante 20 meses a una radiación RF de 435 MHz con una densidad de potencia de 1 mW/cm<sup>2</sup> (SAR de 0,32 W/kg). No hubo diferencia en la incidencia de tumores mamarios entre los ratones expuestos a la radiación RF y sus controles; y tampoco hubo diferencias entre los grupos para el número de tumores malignos, metastáticos o benignos. Y no hubo diferencias en la supervivencia de ambos grupos. Frei et al. (25, 26) utilizaron un diseño experimental similar, pero los ratones propensos a tumores mamarios fueron expuestos durante 18 meses a 2450 MHz con 0,3 W/kg (26) o 1,0 W/kg (25). De nuevo, no se encontraron diferencias significativas en las incidencias de tumores mamarios o en el número de tumores malignos, metastáticos o benignos; y tampoco el análisis de supervivencia reveló diferencias entre los dos grupos.

Repacholi et al. (13) estudiaron la posibilidad de que la exposición a radiaciones RF incrementase la incidencia de linfomas en ratones genéticamente diseñados para desarrollar linfomas. Los animales fueron expuestos a radiación RF de 900 MHz durante 18 meses. Dependiendo de la talla de los animales y de su orientación en el campo, la densidad de potencia estaba entre 0,26 y 1,3 mW/cm<sup>2</sup> (SAR entre 0,008 y 4,2 W/cm<sup>2</sup>). La incidencia de linfoma en ratones expuestos a las radiaciones RF fue significativamente mayor que en sus controles. No se han encontrado incrementos similares de linfoma en

aquellos estudios de exposición crónica que no han empleado animales propensos al desarrollo de linfoma [es decir, Chou et al. (20), Toler et al. (24), Frei et al. (25, 26), Adey et al. (21, 22), Zook y Simmens (23), o Jauchem et al. (27)]. Una importante incertidumbre en la interpretación de estudios sobre carcinogénesis en animales modificados genéticamente (“transgénicos”) estriba en el hecho de que estos animales pueden no ser detectores fiables de la actividad cancerígena (100, 101).

Jauchem et al. (27) no encontraron efectos significativos sobre el desarrollo de tumores mamarios ni sobre la supervivencia de los animales en ratones propensos al desarrollo de tumores expuestos a pulsos compuestos de una banda de frecuencias ultra-ancha (UWB), que incluía radiaciones RF. La exposición a UWB no tuvo efectos significativos sobre el número de neoplasias en ninguno de los tejidos estudiados (incluidos linfomas y tumores cerebrales).

### **5.3 Cáncer en animales tratados con carcinógenos químicos más radiaciones de radiofrecuencias (RF)**

Szmigielski et al. (92) expusieron ratones a radiaciones RF de 245 MHz durante periodos de hasta 10 meses, con objeto de estudiar si las radiaciones RF podrían “promover” (facilitar o acelerar) el desarrollo de varios tipos de cáncer. Las exposiciones fueron de 5 ó 15 mW/cm<sup>2</sup> (SAR de 23 y 6-8 W/kg). Los controles incluían tanto animales normales como animales sometidos a “estrés por confinamiento”. En un estudio de promoción de tumores cutáneos, un cancerígeno (el benzopireno) se empleó para “pintar” los lomos de los ratones, y los animales fueron posteriormente sometidos a radiaciones RF (Szudzinnski et al. (102) parece ser una publicación del mismo estudio). Tanto la exposición a la radiación RF como el estrés por confinamiento aceleraron significativamente la aparición de los tumores epiteliales inducidos químicamente. En un estudio en ratones propensos al desarrollo de tumores mamarios, tanto la exposición a radiaciones RF como el estrés por confinamiento aceleraron significativamente la aparición de tumores. Finalmente, los investigadores

inyectaron células tumorales en ratones y estudiaron el desarrollo de metástasis pulmonares, y de nuevo tanto la exposición a radiaciones RF como el estrés por confinamiento incrementaron significativamente el número de metástasis.

Las implicaciones del estudio de Szmigielski et al. (92) no están claras, y los estudios sobre promoción de cáncer de mama son contradictorios con los de Toler et al. (24), Frei et al. (25, 26), y Jauchem et al. (27). Las similitudes entre el grupo expuesto a 5 mW/cm<sup>2</sup> y el grupo sometido a estrés por confinamiento sugieren que los cambios en la latencia tumoral y en las metástasis de pulmón podrían haberse debido al estrés, más que a la exposición a la radiación RF. Tales efectos por estrés no resultan inesperados (103). Se ha mostrado que el estrés reduce la latencia en tumores mamarios en modelos animales (104, 105), e incrementa la tasa de metástasis pulmonares (106). La dosimetría en este estudio también es cuestionable, y parece probable que los ratones expuestos a 15 mW/cm<sup>2</sup> estuvieron sometidos a altos niveles de estrés, y sujetos a calentamiento que, cuando menos, fue localizado (9).

Wu et al. (93) investigaron la posibilidad de que la exposición a radiaciones RF actuase como un promotor para tumores de colon inducidos químicamente in ratones. Se inyectó a los animales un carcinógeno para tumor de colon (dimetilhidrazina) antes y durante la exposición a radiación RF de 2450 MHz. La exposición se mantuvo durante 5 meses a 10 mW/cm<sup>2</sup> (SAR 10-12 W/kg). El estudio no encontró diferencias en el número y tamaño de los tumores en el grupo tratado con cancerígeno comparado con el tratado con cancerígeno más radiación RF.

Imaida et al. (94, 95) estudiaron la posibilidad de que las radiaciones RF pudiesen promover cáncer hepático inducido químicamente en ratas. Las ratas fueron inyectadas con un cancerígeno para tumor hepático (dietilnitrosamina) y posteriormente expuestas a radiaciones RF durante 6 semanas. Este estudio (95) empleó radiación RF de 929 MHz con un SAR de 1,7-2,0 W/kg, y un segundo estudio (94) empleó radiaciones RF de 1439 MHz con un SAR de 0,9-1,9 W/kg. En ninguno de los estudios se encontraron diferencias estadísticamente

significativas en la frecuencia de tumores entre los animales expuestos a la radiación RF y las ratas control.

Chagnaud et al. (96) publicaron que la exposición de ratas a señales de telefonía móvil no promueve sarcomas inducidos químicamente. Las ratas fueron expuestas, a diferentes tiempos después del tratamiento con un cancerígeno químico, a una señal digital (GSM) de 900 MHz y 0,075 ó 0,27 W/kg durante 2 semanas, a razón de 2 h/día. No se constataron efectos sobre la incidencia de tumores, el crecimiento tumoral o la supervivencia de los animales.

Paralelamente a su estudio sobre animales normales (Sección 5.1), Adey et al. Expusieron ratas a radiación RF de 837 MHz, pulsada (21) o no-pulsada (22), más un cancerígeno para tumores cerebrales (etilnitrosourea). El número de tumores cerebrales no resultó incrementado ("promovido") en los grupos expuestos a cancerígeno más radiación RF, ya fuera pulsada (21) o no-pulsada (22), comparado con los sujetos tratados exclusivamente con el cancerígeno. En un estudio similar publicado por Zook y Simmens (23) en 2001, se describe que la exposición de ratas a radiación RF de 860 MHz y 1,0 W/kg, pulsada o no-pulsada, no afectó a la incidencia de cáncer cerebral inducido químicamente.

#### **5.4) Exposición a radiaciones de radiofrecuencias (RF) en animales con tumores previos.**

Salford et al. (97) estudiaron ratas en las que se habían inducido tumores cerebrales antes de exponerlas a radiaciones RF de 915 MHz durante 23 semanas (SAR de 0,01 a 1,7 W/kg). No encontraron efectos en el crecimiento de los tumores preexistentes. De forma parecida, Higashikubo et al. (98) publicaron que la exposición con radiación RF no afectó al crecimiento de tumores cerebrales preexistente en ratas. En el estudio de Higashikubo et al. (98) las ratas fueron expuestas a radiación RF de 835 MHz y onda continua, o a radiación RF pulsada de 848 MHz (SAR de 0,75 W/kg). La exposición era de 4 h/día, 5 días/semana,

comenzando 28 días antes de la implantación de los tumores y prolongándose hasta 150 días después de la implantación.

### **5.5) Resumen de los estudios de carcinogénesis animal con radiación de radiofrecuencias (RF)**

Tomados en su conjunto, los estudios *in vivo* no presentan evidencia convincente de que la exposición a radiaciones RF sea genotóxica. La evidencia sobre la actividad epigenética de las radiaciones RF es contradictoria. Repacholi et al. (13) encontraron promoción de linfomas en ratones propensos al desarrollo de linfoma, y Szmigielski et al. (92), observaron promoción de tumores epiteliales y mamarios. Por el contrario, los estudios de Toler et al. (24), Frei et al. (25, 26) y Jauchem et al. (27) no encontraron actividad promotora para tumores mamarios inducidos por virus, Wu et al. (92) no detectaron promoción de tumores de colon inducidos químicamente, Imaida et al. (94, 95) no encontraron promoción de hepatocarcinoma inducido químicamente, Adey et al. (21, 22) y Zook y Simmens (23) no detectaron promoción de cáncer cerebral inducido químicamente, y Chagnaud et al. (96) mostraron que la exposición a radiación RF no actuó como promotor de sarcomas inducidos químicamente.

En resumen, los numerosos estudios realizados hasta ahora sobre carcinogénesis animal no proporcionan evidencia consistente de que la exposición a radiaciones RF de intensidades no térmicas actúe como inductor o promotor canceroso en animales. La exposición a radiación RF de intensidades capaces de incrementar la temperatura corporal de forma notable, puede producir efectos genotóxicos o epigenéticos; pero esto no es inesperado, ya que existe evidencia independiente de que la hipertermia de cuerpo completo ejerce una acción genotóxica (107, 108).

## 6) Evaluación de la Actividad Genotóxica de las Radiaciones de Radiofrecuencia (RF) *in vivo*.

Numerosos estudios han mostrado que la radiación RF no es mutagénica en la mosca de la fruta (109-113). La exposición a radiaciones RF no térmicas tampoco parece ser mutagénica en roedores (114-116). Las radiaciones RF de intensidad suficiente para elevar la temperatura corporal (o testicular) sí pueden ser mutagénicas en roedores (117), aunque también existe evidencia de lo contrario (115, 116). Las exposiciones a radiaciones RF en roedores tampoco parecen provocar aberraciones cromosómicas (118, 119) o intercambios de cromátidas hermanas (119, 120) en células de médula ósea. Para daño cromosómico en espermatozoides, los datos son contradictorios, con un grupo que encuentra incrementos de daño cromosómico (121, 122) y otro grupo que no observa efectos (114, 123).

De un total de tres estudios sobre la capacidad de las radiaciones RF para provocar roturas en la cadena de ADN en animales irradiados, dos no han encontrado evidencia de tal efecto (14, 18). El estudio positivo es de Lai y Sing (11, 12), quienes han descrito que la exposición de ratas a radiación RF de 2450 MHz a 0,6-1,2 W/kg provocó roturas en la cadena de ADN. Mayalpa et al. (18) han publicado que no pudieron replicar los resultados de Lai y Sing (11, 12), y que el método de sacrificio de los animales usado por Lai y Sing causa daño por sí mismo en la cadena de ADN. Interesa subrayar que numerosos estudios *in vitro* (15-17, 19, 124-126) tampoco han podido encontrar ninguna evidencia de que las radiaciones RF provoquen roturas en la cadena de ADN.

Vijayalaxmi et al. (127) valoraron daño cromosómico (formación de micronúcleos) en ratones expuestos crónicamente a una radiación RF de 245 MHz, con SAR de 1,0 W/kg. La incidencia de daño cromosómico en los animales expuestos resultó ligeramente elevado, pero el incremento no estaba correlacionado con una respuesta cancerígena, dado que no había evidencia de que esta radiación RF fuera cancerígena para estos animales (25, 26). En un estudio posterior, Vijayalaxmi et al. (128) no encontraron incremento de daño cromosómico en ratones normales expuestos durante 24 horas a radiación RF de 2450 MHz y 12 W/kg. Vijayalaxmi et al. (129) tampoco observaron incremento de daño cromosómico en

ratones expuestos a radiaciones RF de banda ultra-ancha, y Huuskonen et al. (130) encontraron también una ausencia de incremento de daño cromosómico en ratones expuestos a radiación RF de 0,02 MHz.

## **7) Estudios Celulares con Radiaciones de Radiofrecuencia (RF)**

### **7.1) Estudios de Genotoxicidad con Radiaciones de Radiofrecuencias (RF)**

De los muchos estudios realizados en sistemas microbiológicos sobre el potencial mutágeno de las radiaciones RF (113, 131-139) sólo uno muestra evidencia de actividad mutagénica. En ese estudio, Blevins et al. (134) expuso bacterias a radiación RF de 245 MHz a 5000 mW/cm<sup>2</sup> en un horno de microondas y encontró un incremento de mutaciones. Sin embargo, como las temperaturas no fueron registradas, no puede descartarse que las mutaciones fueran debidas a hipertermia. Es necesario llamar la atención sobre el hecho de que la actividad mutagénica en los sistemas bacterianos, y sobre todo en *Salmonella* (la "prueba Ames") es considerada generalmente como una de las más poderosas evidencias de potencial cancerígeno para humanos (140); y las radiaciones RF no muestran actividad mutagénica ante la prueba Ames (113, 136, 138).

En mamíferos y en plantas, las radiaciones RF no parecen ser mutágenas (141, 142), provocar intercambios en cromátidas hermanas (ICH) (17, 143-153), o provocar daño en el ADN (15-17, 19, 124-126). De particular interés son los estudios de Mayalpa et al. (15, 16) que fueron diseñados para ampliar los trabajos de Lai y Sing (11, 12). Aunque los resultados publicados por Lai y Sing (11, 12) estaban basados en exposiciones *in vivo*, los estudios *in vitro* son importantes porque permiten monitorizar y controlar con precisión el crecimiento celular, la temperatura (para evitar artefactos térmicos), la dosimetría y otras condiciones experimentales. Mayalpa et al. (15, 16) expusieron células de mamíferos a radiaciones RF de 0,6-1,9 W/kg y frecuencias de 2450 ó 836 MHz, a onda continua, o a pulso digital RF de 848 MHz; y no encontraron evidencia de daño en el ADN. También Vijayalaxmi et al. (19) han

publicado recientemente una falta de evidencia de daño inducido por radiaciones RF en el ADN.

Balcer-Kubiczek y Harrison (154, 155) encontraron que las radiaciones RF no provocan transformación celular a menos que un conocido agente epigenético (el 12-O-tetradecanoilforbol-13-acetato, TPA) esté presente en el medio. Cain et al. (156), sin embargo, no encontraron efectos de radiaciones RF sobre la transformación celular, estuviera el TPA presente o no. Asimismo, Roti-Roti et al. (157) han publicado en 2001 que la radiación RF de telefonía móvil, analógica o digital, no inducía transformación celular neoplásica.

Cuando se emplean las aberraciones cromosómicas y la formación de micronúcleos como ensayos de actividad genotóxica, los resultados de la exposición a radiaciones RF son heterogéneos. Entre 1990 y 1996, diversos estudios mostraron evidencia de que las radiaciones RF podrían inducir aberraciones cromosómicas y micronúcleos (148, 158-162). Otros estudios similares no encontraron evidencia de tales efectos (86, 143-145, 163, 164), y tampoco los estudios publicados desde 1996 han encontrado evidencia de semejante actividad genotóxica (17, 126, 138, 151-153, 165). Algunos de los estudios que mostraron incremento de aberraciones cromosómicas y de formación de micronúcleos fueron realizados a niveles de potencia muy altos (posiblemente térmicos) (148, 158, 162).

Un estudio muy comentado, pero todavía inédito, que muestra que las radiaciones RF de SAR entre 5 y 10 W/kg pueden inducir formación de micronúcleos, contribuye a complicar la valoración de la genotoxicidad de las radiaciones RF. En octubre de 1999, la Food and Drug Administration (FDA) de los EE UU liberó el siguiente resumen del estudio inédito:

“Los investigadores llevaron a cabo una amplia batería de ensayos de laboratorio a fin de evaluar los efectos sobre el material genético producidos por la exposición a RF de telefonía móvil. Estos ensayos incluyeron tests para diversos tipos de anomalías, como mutaciones, aberraciones cromosómicas, roturas de la cadena de ADN, y cambios

estructurales en el material genético de células sanguíneas denominadas linfocitos. Ninguno de estos tests mostró ningún efecto de las RF excepto el ensayo de micronúcleos, que detecta defectos estructurales en el material genético. En este ensayo, las células mostraron cambios tras la exposición a radiación que simula la del teléfono celular, pero sólo después de 24 horas de exposición. Es posible que la exposición a la radiación durante tanto tiempo dé lugar a calentamiento de las células. Puesto que se sabe que este ensayo es sensible al calentamiento, el propio calor podría haber sido la causa de las anomalías. Los datos existentes en la literatura sobre la respuesta del ensayo de micronúcleos a las RF son contradictorios. Por lo tanto, es necesario continuar la investigación. [Tice et al.: Tests de señales de teléfono móvil sobre actividad en genotoxicidad y otros ensayos de laboratorio. En: Reunión Anual de la Sociedad de Mutagénesis Ambiental; 29 de marzo, 1999, Washington, D.C.; y comunicación personal, resultados inéditos]”

## **7.2) Estudios sobre el potencial epigenético de las radiaciones de radiofrecuencia (RF)**

Las radiaciones RF no incrementan las mutaciones celulares inducidas por cancerígenos químicos (139, 141, 142, 164), y no inhiben la reparación de daños en el ADN (124, 136). Además, diversos estudios han mostrado que las radiaciones RF no incrementan el daño cromosómico inducido por cancerígenos químicos (17, 146, 147, 152, 153) o por radiaciones ionizantes (152, 153). Por otra parte, Scarfi et al. (162) han publicado que radiaciones RF con SAR de 70 W/kg incrementan la formación de micronúcleos inducida por un cancerígeno químico, y Maes et al. (149) observaron que radiaciones RF de 1W/kg incrementan la incidencia del daño cromosómico (SCE) inducido por un cancerígeno químico. Estudios posteriores de Maes et al. (17, 152, 153) no han conseguido confirmar sus resultados de actividad epigenética publicados en 1996 (149).

Balcer-Kubiczek y Harrison encontraron que las radiaciones RF no favorecen el transporte celular inducido por radiaciones ionizantes (154, 155, 156) o por cancerígenos químicos (166) a no ser que el TPA, un conocido agente epigenético, estuviera presente.

Pakhomova et al. (167) observaron que la exposición a una radiación RF de 61 GHz no favorecía la mutagénesis inducida por radiaciones UV, aunque sí favorecía otros efectos inducidos por UV.

### **7.3.) Resumen de estudios *in vitro* sobre el potencial cancerígeno de las radiaciones de radiofrecuencias (RF)**

Existen más de 45 estudios *in vitro*, publicados tras su revisión y aprobación por evaluadores expertos, sobre radiaciones RF y potencial cancerígeno. Los estudios incluyen 120 tests diferentes para actividad genotóxica y epigenética. Estos trabajos muestran mayoritariamente una ausencia de evidencia de actividad genotóxica y epigenética. En los estudios positivos predominan los tests que muestran incrementos en la frecuencia de aberraciones cromosómicas y micronúcleos, tests que comportan tasas de 15-25% de falsos positivos (140, 168-170). Algunos de los resultados positivos pueden también ser debidos a hipertermia, más que a un efecto directo de la exposición a las radiaciones RF.

En conjunto, la exposición de células a radiaciones RF de intensidades que no incrementan la temperatura celular no provoca ninguna actividad genotóxica o epigenética consistente. Las exposiciones a radiaciones RF con intensidades suficientes para provocar incrementos significativos en la temperatura celular pueden producir tanto actividad epigenética como genotóxica; esto era previsible, puesto que existe evidencia independiente de que la hipertermia (calentamiento) tiene tanto actividad genotóxica (107, 108, 143, 171-174) como epigenética (174, 175).

## **8) Valoración General del Riesgo de Cáncer**

La evaluación de la evidencia sobre una asociación causal entre exposición a radiaciones RF y cáncer precisa de la evaluación de toda la evidencia epidemiológica, animal, celular y biofísica (Tabla I). Los estudios epidemiológicos sobre radiaciones RF y

cáncer proporcionan sólo una evidencia débil de asociación causal (Sec. 4). Los estudios de exposición a largo plazo en animales no presentan evidencia convincente de que la exposición crónica a radiaciones RF sea genotóxica en esos animales (sec. 5). Sin embargo, algunos de los estudios de exposición de animales a largo plazo sugieren la posibilidad de que las radiaciones RF pudieran poseer una actividad epigenética a altos (posiblemente térmicos) niveles de exposición (Sec. 5). Los estudios de laboratorio sobre genotoxicidad han sido muy amplios, y aunque unos pocos entre ellos han sugerido la posibilidad de genotoxicidad, el peso de la evidencia indica que las radiaciones RF no son genotóxicas (Sec. 6 y 7). La comprobación del potencial epigenético de las radiaciones RF en células de mamíferos ha sido menos extensa, pero los resultados no proporcionan evidencia convincente de que dichas radiaciones posean actividad epigenética a niveles no térmicos (Sec. 7.2). Por último, la evaluación biofísica indica que es poco verosímil que las radiaciones RF ejerzan alguna actividad biológica a los niveles de potencia subtérmicos característicos de las exposiciones ambientales, de los consumidores o de la mayoría de los trabajadores (Sec. 3). Una evaluación general del peso de la evidencia (Tabla II) indica que la evidencia de una asociación causal entre exposición a radiaciones RF y cáncer es débil o inexistente.

### Bibliografía

1. K. R. Foster, J. E. Moulder, Are mobile phones safe? *IEEE Spectrum* **37**, 23-28 (2000).
2. L. Grasso, Cellular telephones and the potential hazards of RF radiation: Responses to the fear and controversy. *Virg. J. Law Technol.* **3**, (1998)  
<[http://vjolt.student.virginia.edu/graphics/vol3/home\\_art2.html](http://vjolt.student.virginia.edu/graphics/vol3/home_art2.html)>.
3. J. M. Osepchuk, COMAR after 25 years: Still a challenge. *IEEE Eng. Med. Biol.* **May/June**, 120-125 (1996).
4. J. E. Moulder, Power-frequency fields and cancer. *Crit. Rev. Biomed. Eng.* **26**, 1-116 (1998).
5. A. Lacy-Hulbert, J. C. Metcalfe, R. Hesketh, Biological responses to electromagnetic fields. *FASEB J.* **12**, 395-420 (1998).
6. P. A. Valberg, R. Kavet, C. N. Rafferty, Can low-level 50/60-Hz electric and magnetic fields cause biological effects. *Radiat. Res.* **148**, 2-21 (1997).
7. P. A. Valberg, Radio frequency radiation (RFR): the nature of exposure and carcinogenic potential. *Cancer Causes Control* **8**, 323-332 (1997).
8. M. A. Stuchly, Biological concerns in wireless communications. *Crit. Rev. Biomed. Eng.* **26**, 117-151 (1998).

9. J. E. Moulder, L. S. Erdreich, R. S. Malyapa, J. Merritt, W. F. Pickard, Vijayalaxmi, Cell phones and cancer: What is the evidence for a connection? *Radiat. Res.* **151**, 513-531 (1999).
10. K. R. Foster, The mechanism paradox: Constraints on interactions between radiofrequency fields and biological systems. In *Eleventh International Congress of Radiation Research* (M. Moriarty, C. Mothersill, C. Seymour, M. Edington, J. F. Ward, R. J. M. Fry, Eds.) pp. 222-226. Allen Press, Inc., Lawrence, KS, 2000.
11. H. Lai, N. P. Singh, Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromag.* **16**, 207-210 (1995).
12. H. Lai, N. P. Singh, Melatonin and a spin-trap compound block radiofrequency electromagnetic radiation-induced DNA strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromag.* **18**, 446-454 (1997).
13. M. H. Repacholi, A. Basten, V. Gebiski, D. Noonan, J. Finnie, A. W. Harris, Lymphomas in *E7-Pim1* transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat. Res.* **147**, 631-640 (1997).
14. L. Verschaeve, D. Slaets, U. Van Gorp, A. Maes, J. Vankerkom, In vitro and in vivo genetic effects of microwaves from mobile telephone frequencies in human and rat peripheral blood lymphocytes. In *Proceedings of Cost 244 Meetings on Mobile Communication and Extremely Low Frequency Field: Instrumentation and Measurements in Bioelectromagnetics Research [DGX111/J31/94-FR, EEC]* pp. 74-83. 1994.
15. R. S. Malyapa, E. W. Ahern, W. L. Straube, E. G. Moros, W. F. Pickard, J. L. Roti Roti, Measurement of DNA damage following exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation. *Radiat. Res.* **148**, 608-617 (1997).
16. R. S. Malyapa, E. W. Ahern, W. L. Straube, E. G. Moros, W. F. Pickard, J. L. Roti Roti, Measurement of DNA damage following exposure to electromagnetic radiation in the cellular communications frequency band (835.62 and 847.74 MHz). *Radiat. Res.* **148**, 618-627 (1997).
17. A. Maes, M. Collier, U. Van Gorp, S. Vandoninck, L. Verschaeve, Cytogenetic effects of 935.2-MHz (GSM) microwaves alone and in combination with mitomycin C. *Mutat. Res.* **393**, 151-156 (1997).
18. R. S. Malyapa, E. W. Ahern, C. Bi, W. L. Straube, M. LaRegina, W. R. Pickard, J. L. Roti Roti, DNA damage in rat brain cells after in vivo exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation and various methods of euthanasia. *Radiat. Res.* **149**, 637-645 (1998).
19. Vijayalaxmi, B. Z. Leal, M. Szilagyi, T. J. Prihoda, M. L. Meltz, Primary DNA damage in human blood lymphocytes exposed *in vitro* to 2450 MHz radiofrequency radiation. *Radiat. Res.* **153**, 479-486 (2000).
20. C. K. Chou, A. W. Guy, L. L. Kunz, R. B. Johnson, J. J. Crowley, J. H. Krupp, Long-term, low-level microwave irradiation of rats. *Bioelectromag.* **13**, 469-496 (1992).
21. W. R. Adey, C. V. Byus, C. D. Cain, R. J. Higgins, R. A. Jones, C. J. Kean, N. Kuster, A. MacMurray, R. B. Stagg, G. Zimmerman, J. L. Phillips, N. Haggren, Spontaneous and nitrosourea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 rats chronically exposed to 836 MHz modulated microwaves. *Radiat. Res.* **152**, 293-302 (1999).
22. W. R. Adey, C. V. Byus, C. D. Cain, R. J. Higgins, R. A. Jones, C. J. Kean, N. Kuster, A. MacMurray, R. B. Stagg, G. Zimmerman, Spontaneous and nitrosourea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 rats exposed to frequency-modulated microwave fields. *Cancer Res.* **60**, 1857-1863 (2000).
23. B. C. Zook, S. J. Simmens, The effects of 860 MHz radiofrequency radiation on the induction or promotion of brain tumors and other neoplasms in rats. *Radiat. Res.* **155**, 572-583 (2001).

24. J. C. Toler, W. W. Shelton, M. R. Frei, J. H. Merritt, M. A. Stedham, Long-term low-level exposure of mice prone to mammary tumors to 435 MHz radiofrequency radiation. *Radiat. Res.* **148**, 227-234 (1997).
25. M. R. Frei, R. E. Berger, S. J. Dusch, V. Guel, J. R. Jauchem, J. H. Merritt, M. A. Stedham, Chronic exposure of cancer-prone mice to low-level 2450 MHz radiofrequency radiation. *Bioelectromag.* **19**, 20-31 (1998).
26. M. R. Frei, J. R. Jauchem, S. J. Dusch, J. H. Merritt, R. E. Berger, M. A. Stedham, Chronic low-level (1.0 W/kg) exposure of mammary cancer-prone mice to 2450 MHz microwaves. *Radiat. Res.* **150**, 568-576 (1998).
27. J. R. Jauchem, K. L. Ryan, M. R. Frei, S. J. Dusch, H. M. Lehnert, R. M. Kovatch, Repeated exposure of C3H/HeJ mice to ultra-wideband electromagnetic pulses: Lack of effects on mammary tumors. *Radiat. Res.* **155**, 369-377 (2001).
28. N. A. Dreyer, J. E. Loughlin, K. J. Rothman, Cause-specific mortality in cellular telephone users. *JAMA* **282**, 1814-1816 (1999).
29. L. Hardell, A. Näsman, A. Pählson, A. Hallquist, K. H. Mild, Use of cellular telephones and the risk of brain tumors: a case-control study. *Int. J. Oncol.* **15**, 113-116 (1999).
30. J. E. Muscat, M. G. Malkin, S. Thompson, R. E. Shore, S. D. Stellman, D. McRee, A. I. Neuget, E. L. Wynder, Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *JAMA* **284**, 3001-3007 (2000).
31. P. D. Inskip, R. E. Tarone, E. E. Hatch, T. C. Wilcosky, W. R. Shapiro, R. G. Selker, H. A. Fine, P. M. Black, J. S. Loeffler, M. S. Linet, Cellular-telephone use and brain tumors. *New Engl. J. Med.* **344**, 79-86 (2001).
32. C. Johansen, J. D. Boice, J. K. McLaughlin, J. H. Olsen, Cellular telephones and cancer -- a nationwide cohort study in Denmark. *J. Natl. Cancer Inst.* **93**, 203-207 (2001).
33. K. R. Foster, L. S. Erdreich, J. E. Moulder, Weak electromagnetic fields and cancer in the context of risk assessment. *Proc. IEEE* **85**, 731-746 (1997).
34. K. R. Foster, P. Vecchia, M. H. Repacholi, Science and the precautionary principle. *Science* **388**, 979-981 (2000).
35. A. B. Hill, The environment and disease: Association or causation? *Proc. Royal Soc. Med.* **58**, 295-300 (1965).
36. J. J. Schlesselman, "Proof" of cause and effect in epidemiologic studies: Criteria for judgment. *Prev. Med.* **16**, 195-210 (1987).
37. B. E. Butterworth, R. B. Conolly, K. T. Morgan, A strategy for establishing mode of action of chemical carcinogens as a guide for approaches to risk assessments. *Cancer Lett.* **93**, 129-146 (1995).
38. R. Kavet, EMF and current cancer concepts. *Bioelectromag.* **17**, 339-357 (1996).
39. G. M. Williams, J. Whysner, Epigenetic carcinogens: evaluation and risk assessment. *Exp. Toxicol. Pathol.* **48**, 189-195 (1996).
40. G. M. Williams, M. Iatropoulos, J. H. Weisburger, Chemical carcinogen mechanisms of action and implications for testing methodology. *Exp. Toxicol. Pathol.* **48**, 101-111 (1996).
41. S. M. Cohen, L. B. Ellwein, Genetic errors, cell proliferation, and carcinogenesis. *Cancer. Res.* **51**, 6493-6505 (1991).
42. S. H. Moolgavkar, Biologically-motivated two-stage model for cancer risk assessment. *Toxicol. Lett.* **43**, 139-150 (1988).

43. J. McCann, L. I. Kheifets, C. N. Rafferty, Cancer risk assessment of extremely low frequency electric and magnetic fields: A critical review of methodology. *Environ. Health Perspect.* **106**, 701-717 (1998).
44. Biological effects and exposure criteria for radiofrequency electromagnetic fields. NCRP Report No. 86., National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, (1986).
45. IEEE Standards Coordinating Committee 28 on Non-Ionizing Radiation Hazards, IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio-Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz (IEEE C95.1-1991), The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, (1992).
46. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* **74**, 494-522 (1998).
47. L. S. Erdreich, B. J. Klauenberg, Radio frequency radiation exposure standards: Considerations for harmonization. *Health Phys.* **80**, 430-439 (2001).
48. C. H. Durney, H. Massoudi, M. F. Iskander, Radiofrequency Radiation Dosimetry Handbook, United States Air Force School of Aerospace Medicine, Brooks Air Force Base, Texas, (1986).
49. J. A. D'Andrea, Behavioral evaluation of microwave irradiation. *Bioelectromag. Suppl.* **4**, 64-74 (1999).
50. J. M. Osepchuk, R. C. Petersen, Safety standards for exposure to RF electromagnetic fields. *IEEE Micro. Mag.* **2**, 57-69 (2001).
51. E. D. Mantiply, K. R. Pohl, S. W. Poppell, J. A. Murphy, Summary of measured radiofrequency electric and magnetic fields (10 kHz to 30 GHz) in the general and work environment. *Bioelectromag.* **18**, 563-577 (1997).
52. Final Environmental Impact Statement for the Tall Tower Project, Graef Anhalt Schloemer & Associates Inc. and ELF Incorporated, Milwaukee, (1996).
53. D. R. McKenzie, Y. Yin, S. Morrell, Childhood incidence of acute lymphoblastic leukemia and exposure to broadcast radiation in Sydney -- a second look. *Aust. N. Z. J. Pub. Health* **22**, 360-367 (1998).
54. A. Thansandote, G. B. Gajda, D. W. Lecuyer, Radiofrequency radiation in five Vancouver schools: exposure standards not exceeded. *Can. Med. Assoc. J.* **160**, 1311-1312 (1999).
55. R. C. Petersen, P. A. Testagrossa, Radio-frequency electromagnetic fields associated with cellular-radio cell-site antennas. *Bioelectromag.* **13**, 527-542 (1992).
56. R. C. Petersen, A. K. Fahy-Elwood, P. A. Testagrossa, G. H. Zeman, Wireless telecommunications: Technology and RF safety issues. In *Non-Ionizing Radiation: An Overview of the Physics and Biology* (K. A. Hardy, M. L. Meltz, R. D. Glickman, Eds.) pp. 197-226. Medical Physics Publishing, Madison, WI, 1997.
57. S. M. Mann, T. G. Cooper, S. G. Allen, R. P. Blackwell, A. J. Lowe, Exposure to Radiowaves near Mobile Phone Base Stations, National Radiological Protection Board, Chilton, (2000).
58. K. R. Foster, Thermal and nonthermal mechanisms of interaction of radiofrequency energy with biological systems. *IEEE Trans. Plasma Sci.* **28**, 17-23 (2000).
59. W. F. Pickard, E. G. Moros, Energy deposition processes in biological tissue: Nonthermal biohazards seem unlikely in the ultra-high frequency range. *Bioelectromag.* **22**, 97-105 (2001).
60. Centers for Disease Control, Guidelines for investigating clusters of health effects. *Morbid. Mortal.*

- Weekly Rep.* **39(RR-11)**, 1-23 (1990).
61. R. L. Davis, F. K. Mostofi, Cluster of testicular cancer in police officers exposed to hand-held radar. *Am. J. Ind. Med.* **24**, 231-233 (1993).
  62. G. Maskarinec, J. Cooper, L. Swygert, Investigation of increased incidence in childhood leukemia near radio towers in Hawaii: preliminary observations. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* **13**, 33-37 (1994).
  63. Colorado Department of Public Health and Environment, Cancer incidence in residents adjacent to the Lookout Mountain antenna farm, Colorado Department of Public Health and Environment, (1998).
  64. B. Hocking, I. R. Gordon, H. L. Grain, G. E. Hatfield, Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Med. J. Aust.* **165**, 601-605 (1996).
  65. H. Dolk, P. Elliott, G. Shaddick, P. Walls, B. Thakrar, Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. II. All high power transmitters. *Am. J. Epidemiol.* **145**, 10-17 (1997).
  66. H. Dolk, G. Shaddick, P. Walls, C. Grundy, B. Thakrar, I. Kleinschmidt, P. Elliott, Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. I. Sutton Coldfield Transmitter. *Am. J. Epidemiol.* **145**, 1-9 (1997).
  67. D. A. Hill, Longitudinal study of a cohort with past exposure to radar: the MIT Radiation Laboratory follow-up study, University of Michigan Dissertation Service, Ann Arbor, Michigan, (1988).
  68. A. M. Lilienfeld, J. Tonascia, S. Tonascia, C. H. Libauer, G. M. Cauthen, J. A. Markowitz, S. Weida, Foreign Service Health Status Study - Evaluation of Health Status of Foreign Service and Other Employees from Selected Eastern European Posts. Final Report, Contract No. 6025-619073, Johns Hopkins University, Baltimore, (1978).
  69. C. D. Robinette, C. Silverman, S. Jablon, Effects upon health of occupational exposure to microwave radiation. *Am. J. Epidemiol.* **112**, 39-53 (1980).
  70. F. C. Garland, E. Gorham, C. Garland, J. A. Ferns, Non-Hodgkin's lymphomas in U.S. Navy personnel. *Arch. Environ. Health* **43**, 425-429 (1988).
  71. F. C. Garland, E. Shaw, E. D. Gorham, C. F. Garland, M. R. White, P. J. Sinsheimer, Incidence of leukemia in occupations with potential electromagnetic field exposure in United States Navy personnel. *Am. J. Epidemiol.* **132**, 293-303 (1990).
  72. J. K. Grayson, Radiation exposure, socioeconomic status, and brain tumor risk in US Air Force: A nested case-control study. *Am. J. Epidemiol.* **143**, 480-486 (1996).
  73. S. Milham, Increased mortality in amateur radio operators due to lymphatic and hematopoietic malignancies. *Am. J. Epidemiol.* **127**, 50-54 (1988).
  74. T. Tynes, A. Andersen, F. Langmark, Incidence of cancer in Norwegian workers potentially exposed to electromagnetic fields. *Am. J. Epidemiol.* **136**, 81-88 (1992).
  75. T. L. Thomas, P. D. Stolley, A. Stemhagen, E. T. H. Fontham, M. L. Bleecker, P. A. Stewart, R. N. Hoover, Brain tumor mortality risk among men with electrical and electronics jobs: A case-control study. *J. Natl. Cancer Inst.* **79**, 233-238 (1987).
  76. K. P. Cantor, P. A. Stewart, L. A. Brintron, M. Dosemeci, Occupational exposures and female breast cancer mortality in the United States. *J. Occup. Environ. Med.* **37**, 336-348 (1995).
  77. S. Szmigielski, Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high-frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation. *Sci. Total Environ.* **180**, 9-17 (1996).
  78. J. M. Elwood, A critical review of epidemiologic studies of radiofrequency exposure and human

- cancers. *Environ. Health Perspect.* **107(Suppl. 1)**, 155-168 (1999).
79. S. Lagorio, P. Rossi, P. Vecchia, M. DeSantis, L. Bastianini, M. Fusilli, A. Ferrucci, E. Desideri, P. Comba, Mortality of plastic-ware workers exposed to radiofrequencies. *Bioelectromag.* **18**, 418-421 (1997).
  80. J. M. Muhm, Mortality investigation of workers in an electromagnetic pulse test program. *J. Occup. Med.* **34**, 287-292 (1992).
  81. R. W. Morgan, M. A. Kelsh, K. Zhao, K. A. Exuzides, S. Herunger, W. Negrete, Radio-frequency exposure and mortality from cancer of the brain and lymphatic/hematopoietic systems. *Epidemiology* **11**, 118-127 (2000).
  82. K. J. Rothman, J. E. Loughlin, D. P. Funch, N A. Dreyer, Overall mortality of cellular telephone customers. *Epidemiology* **7**, 303-305 (1996).
  83. A. Stang, G. Anastassiou, W. Ahrens, K. Bromen, N. Bornfeld, K. H. Jöckel, The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma. *Epidemiology* **12**, 7-12 (2001).
  84. V. Garaj-Vrhovac, A. Fucic, D. Horvat, Comparison of chromosome aberration and micronucleus induction in human lymphocytes after occupational exposure to vinyl chloride monomer and microwave radiation. *Period. Biol.* **92**, 411-416 (1990).
  85. O. M. Garson, T. L. McRobert, L. J. Campbell, B. A. Hocking, I. Gordon, A chromosomal study of workers with long-term exposure to radio-frequency radiation. *Med. J. Aust.* **155**, 289-292 (1991).
  86. A. Maes, M. Collier, D. Slaets, L. Verschaeve, Cytogenetic effects of microwaves from mobile communication frequencies (954 MHz). *Elec. Mag. Biol.* **14**, 91-98 (1995).
  87. G. Taubes, Epidemiology faces its limits. *Science* **269**, 164-169 (1995).
  88. K. J. Rothman, Epidemiological evidence on health risks of cellular telephones. *Lancet* **356**, 1837-1840 (2000).
  89. S. Prausnitz, S. Süskind, Effects of chronic microwave irradiation on mice. *IRE Trans. Bio-Med. Elec.* **9**, 104-108 (1962).
  90. J. F. Spalding, R. W. Freyman, L. M. Holland, Effects of 800-MHz electromagnetic radiation on body weight, activity, hematopoiesis and life span in mice. *Health Phys.* **20**, 421-424 (1971).
  91. C. G. Liddle, J. P. Putnam, O. P. Huey, Alteration of life span of mice chronically exposed to 2.45 GHz CW microwaves. *Bioelectromag.* **15**, 177-181 (1994).
  92. S. Szmigielski, A. Szudzinski, A. Pietraszek, M. Bielec, M. Janiak, J. K. Wrembel, Accelerated development of spontaneous and benzopyrene-induced skin cancer in mice exposed to 2450 MHz microwave radiation. *Bioelectromag.* **3**, 179-191 (1982).
  93. R. Y. Wu, H. Chiang, B. J. Shao, N. G. Li, Y. D. Fu, Effects of 2.45 GHz microwave radiation and phorbol ester 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate on dimethylhydrazine-induced colon cancer in mice. *Bioelectromag.* **15**, 531-538 (1994).
  94. K. Imaida, M. Taki, S. Watanabe, Y. Kamimura, T. Ito, T. Yamaguchi, N. Ito, T. Shirai, The 1.5 GHz electromagnetic near-field used for cellular phones does not promote rat liver carcinogenesis in a medium-term liver bioassay. *Jpn. J. Cancer Res.* **89**, 995-1002 (1998).
  95. K. Imaida, M. Taki, T. Yamaguchi, T. Ito, S. Watanabe, K. Wake, A. Aimoto, Y. Kamimura, N. Ito, T. Shirai, Lack of promoting effects of the electromagnetic near-field used for cellular phones (929.2 MHz) on rat liver carcinogenesis in a medium-term liver bioassay. *Carcinogenesis* **19**, 311-314 (1998).
  96. J. L. Chagnaud, J. M. Moreau, B. Veyret, No effect of short-term exposure to GSM-modulated low-

- power microwaves on benzo(a)pyrene-induced tumours in rat. *Int. J. Radiat. Biol.* **75**, 1251-1256 (1999).
97. L. G. Salford, A. Brun, B. R. R. Persson, J. Eberhardt, Experimental studies of brain tumour development during exposure to continuous and pulsed 915 MHz radiofrequency radiation. *Bioelectrochem. Bioenerg.* **30**, 313-318 (1993).
  98. R. Higashikubo, V. O. Culbreth, D. R. Spitz, M. C. LaRegina, W. F. Pickard, W. L. Straube, E. G. Moros, J. L. Roti Roti, Radiofrequency electromagnetic fields have no effect on the *in vivo* proliferation of the 9L brain tumor. *Radiat. Res.* **152**, 665-671 (1999).
  99. N. J. Roberts, S. M. Michaelson, Microwaves and neoplasia in mice: analysis of a reported risk. *Health Phys.* **44**, 430-433 (1983).
  100. F. M. Johnson, Carcinogenic chemical-response "Fingerprint" for male F344 rats exposed to a series of 195 chemicals: Implications for predicting carcinogens with transgenic models. *Environ. Mol. Mutagen.* **34**, 234-245 (1999).
  101. J. R. Bucher, Update on the National Toxicology Program (NTP): assays with genetically altered or "transgenic" mice. *Environ. Health Perspect.* **106**, 619-621 (1998).
  102. A. Szudzinski, A. Pietraszek, M. Janiak, J. Wrembel, M. Kalczak, S. Szmigielski, Acceleration of the development of benzopyrene-induced skin cancer in mice by microwave radiation. *Arch. Dermatol. Res.* **274**, 303-312 (1982).
  103. R. B. Stagg, L. Hawel, K. Pastorian, C. Cain, W. R. Adey, C. V. Byus, Effect of immobilization and concurrent exposure to a pulse-modulated microwave field upon core body temperature, plasma ACTH and corticosteroid and brain ornithine decarboxylase, *c-fos*, and *c-jun* mRNA. *Radiat. Res.* **155**, 584-592 (2001).
  104. G. A. Tejwani, K. P. Gudehithlu, S. H. Hanissian, I. E. Gienapp, C. C. Whitacre, W. B. Malarkey, Facilitation of dimethylbenz[?]anthracene-induced rat mammary tumorigenesis by restraint stress: role of  $\beta$ -endorphin, prolactin and naltrexone. *Carcinogenesis* **12**, 637-641 (1991).
  105. M. Freire-Garabal, M. J. Nunez, J. L. Balboa, J. A. Suarez, A. Belmonte, Effects of alprazolam on the development of MTV-induced mammary tumors in female mice under stress. *Cancer Lett.* **62**, 185-189 (1991).
  106. H. A. S. van den Brenk, M. G. Stone, H. Kelley, C. Sharpington, Facilitation of dimethylbenz[a]anthracene-induced rat mammary tumorigenesis by restraint stress: role of beta-endorphin, prolactin and naltrexone. *Br. J. Cancer* **33**, 60-78 (1976).
  107. M. T. King, D. Wild, The mutagenic potential of hyperthermia and fever in mice. *Mutat. Res.* **111**, 219-226 (1983).
  108. S. Asanami, K. Shimono, High body temperature induces micronuclei in mouse bone marrow. *Mutat. Res.* **390**, 79-83 (1999).
  109. S. Mittler, Failure of chronic exposure to nonthermal FM radio waves to mutate *Drosophila*. *J. Hered.* **68**, 257-258 (1977).
  110. T. L. Pay, E. C. Beyer, C. F. Reichelderfer, Microwave effects on reproductive capacity and genetic transmission in *Drosophila Melanogaster*. *J. Microw. Power Electromagn. Energy* **7**, 75-82 (1972).
  111. Y. Hamnerius, H. Olofsson, Å. Rasmuson, B. Rasmuson, A negative test for mutagenic action of microwave radiation in *Drosophila melanogaster*. *Mutat. Res.* **68**, 217-223 (1979).
  112. F. Marec, J. Ondráček, V. Brunnhofer, The effect of repeated microwave irradiation on the

- frequency of sex-linked recessive lethal mutations in *Drosophila melanogaster*. *Mutat. Res.* **157**, 163-167 (1985).
113. Y. Hamnerius, Å. Rasmuson, B. Rasmuson, Biological effects of high-frequency electromagnetic fields on *Salmonella typhimurium* and *Drosophila melanogaster*. *Bioelectromag.* **6**, 405-414 (1985).
  114. R. D. Saunders, C. I. Kowalczyk, C. V. Beechey, R. Dunford, Studies on the induction of dominant lethals and translocations in male mice after chronic exposure to microwave radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* **53**, 983-992 (1988).
  115. E. Berman, H. B. Carter, D. House, Tests of mutagenesis and reproduction in male rats exposed to 2,450-MHz (CW) microwaves. *Bioelectromag.* **1**, 65-76 (1980).
  116. R. D. Saunders, S. C. Darby, C. I. Kowalczyk, Dominant lethal studies in male mice after exposure to 2.45 GHz microwave radiation. *Mutat. Res.* **117**, 345-356 (1983).
  117. S. N. Goud, M. V. Usha Rani, P. P. Reddy, O. S. Reddi, M. S. Rao, V. K. Saxena, Genetic effects of microwave radiation in mice. *Mutat. Res.* **103**, 39-42 (1982).
  118. A. T. Huang, M. E. Engle, J. A. Elder, J. B. Kinn, T. R. Ward, The effect of microwave radiation (2450 MHz) on the morphology and chromosomes of lymphocytes. *Radio Science* **12**, 173-177 (1977).
  119. R. Banerjee, A. Goldfeder, J. Mitra, Sister chromatid exchanges and chromosome aberrations induced by radiosensitizing agents in bone marrow cells of treated tumor-bearing mice. *J. Natl. Cancer Inst.* **70**, 517-521 (1983).
  120. D. I. McRee, G. MacNichols, G. K. Livingston, Incidence of sister chromatid exchange in bone marrow cells of the mouse following microwave exposure. *Radiat. Res.* **85**, 340-348 (1981).
  121. E. Manikowska-Czerska, P. Czerski, W. M. Leach, Effects of 2.45 GHz microwaves on meiotic chromosomes of male CBA/CAY mice. *J. Hered.* **76**, 71-73 (1985).
  122. E. Manikowska, J. M. Luciani, B. Servantie, P. Czerski, J. Obrenovitch, A. Stahl, Effects of 9.4 GHz microwave exposure on meiosis in mice. *Experientia* **35**, 388-390 (1979).
  123. C. V. Beechey, D. Brooker, C. I. Kowalczyk, R. D. Saunders, A. G. Searle, Cytogenetic effects of microwave irradiation on male germ cells of the mouse. *Int. J. Radiat. Biol.* **50**, 909-918 (1986).
  124. M. L. Meltz, K. A. Walker, D. N. Erwin, Radiofrequency (microwave) radiation exposure of mammalian cells during UV-induced DNA repair synthesis. *Radiat. Res.* **110**, 255-266 (1987).
  125. J. L. Phillips, O. Ivaschuk, T. Ishida-Jones, R. A. Jones, M. Campbell-Beachler, W. Haggren, DNA damage in Molt-4 T-lymphoblastoid cells exposed to cellular telephone radiofrequency fields in vitro. *Bioelectrochem. Bioenerg.* **45**, 103-110 (1998).
  126. M. V. Vasquez, C. J. Clancy, D. B. Blackwell, M. D. Donner, R. T. Tice, G. H. Hook, D. M. McRee, Genotoxicity of radio frequency radiation fields generated from analog, TDMA, CDMA and PCNA in human blood cells evaluated using single gel (SCG) electrophoresis and the cytochalasin B micronucleus assay. *Environ. Mol. Mutagen.* **33 (Suppl. 30)**, 66 (1999).
  127. Vijayalaxmi, M. R. Freij, S. J. Dusch, V. Guel, M. L. Meltz, J. R. Jauchem, Frequency of micronuclei in the peripheral blood and bone marrow of cancer-prone mice chronically exposed to 2450 MHz radiofrequency radiation. *Radiat. Res.* **147**, 495-500 (1997).
  128. Vijayalaxmi, W. F. Pickard, K. S. Bisht, T. J. Prihoda, M. L. Meltz, M. C. LaRegina, J. L. Roti Roti, W. L. Straube, E. G. Moros, Micronuclei in the peripheral blood and bone marrow cells of rats exposed to 2450 MHz radiofrequency radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* **77**, 1109-1115 (2001).
  129. Vijayalaxmi, R. L. Seaman, M. L. Belt, J. M. Doyle, S. P. Mathur, T. J. Prihoda, Frequency of micronuclei in the blood and bone marrow cells of mice exposed to ultra-wideband

- electromagnetic radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* **75**, 115-120 (1999).
130. H. Huuskonen, J. Juutilainen, A. Julkunen, J. Mäki-Paakkanen, H. Komulainen, Effects of gestational exposure to a video display terminal-like magnetic field (20-kHz) on CBA/S mice. *Teratology* **58**, 190-196 (1998).
  131. A. J. Berteaud, M. Dardalhon, N. Rebeyrotte, D. Averbeck, [The effect of electromagnetic radiation of wavelength in the millimeter range on bacterial growth.] [French]. *C. R. Acad. Sci. Hebd. Seances Acad. Sci. D* **281**, 843-846 (1975).
  132. D. Averbeck, M. Dardalhon, A. J. Berteaud, Microwaves action in procaryotic and eucaryotic cells and a possible interaction with x-rays. *J. Microw. Power Electromagn. Energy* **11**, 143-144 (1976).
  133. S. K. Dutta, W. H. Nelson, C. F. Blackman, D. J. Brusick, Lack of microbial genetic response to 2.45-GHz CW and 8.5- to 9.6-GHz pulsed microwaves. *J. Microw. Power Electromagn. Energy* **14**, 275-280 (1979).
  134. R. D. Blevins, R. C. Crenshaw, A. E. Hougland, C. E. Clark, The effects of microwave radiation and heat on specific mutants of *Salmonella typhimurium* LT2. *Radiat. Res.* **82**, 511-517 (1980).
  135. M. Dardalhon, D. Averbeck, A. J. Berteaud, Studies on possible genetic effects of microwaves in procaryotic and eucaryotic cells. *Radiat. Environ. Biophys.* **20**, 37-51 (1981).
  136. B. Anderstam, Y. Hamnerius, S. Hussain, L. Ehrenberg, Studies of possible genetic effects in bacteria of high frequency electromagnetic fields. *Hereditas* **98**, 11-32 (1983).
  137. T. Mezykowski, J. Bal, H. Debiec, K. Kwarecki, Response of *Aspergillus nidulans* and *Physarum polycephalum* to microwave irradiation. *J. Microw. Power Electromagn. Energy* **15**, 75-80 (1980).
  138. L. P. Phillips, D. B. Blackwell, C. J. Clancy, M. D. Donner, R. T. Tice, G. H. Hook, D. M. McRee, Genotoxicity of radio frequency radiation fields generated from analog, TDMA, CDMA and PCNA technology evaluated using a three test in vitro battery. *Environ. Mol. Mutagen.* **33 (Suppl. 30)**, 49 (1999).
  139. P. Gos, B. Eicher, J. Kohli, W. D. Heyer, No mutagenic or recombinogenic effects of mobile phone fields at 900 MHz detected in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioelectromag.* **21**, 515-523 (2000).
  140. E. Zeiger, Identification of rodent carcinogens and noncarcinogens using genetic toxicity tests: premises, promises, and performance. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* **28**, 85-95 (1998).
  141. M. L. Meltz, P. Eagan, D. N. Erwin, Proflavin and microwave radiation: absence of a mutagenic interaction. *Bioelectromag.* **11**, 149-157 (1990).
  142. M. L. Meltz, P. Eagan, D. N. Erwin, Absence of mutagenic interaction between microwaves and mitomycin C in mammalian cells. *Environ. Mol. Mutagen.* **13**, 294-303 (1989).
  143. D. C. Lloyd, R. D. Saunders, J. E. Moquet, C. I. Kowalczuk, Absence of chromosomal damage in human lymphocytes exposed to microwave radiation with hyperthermia. *Bioelectromag.* **7**, 235-237 (1986).
  144. S. Wolff, T. L. James, G. B. Young, A. R. Margulis, J. Bodycote, V. Afzal, Magnetic resonance imaging: Absence of *in vitro* cytogenetic damage. *Radiology* **155**, 163-165 (1985).
  145. D. C. Lloyd, R. D. Saunders, P. Finnon, C. I. Kowalczuk, No clastogenic effect from *in vitro* microwave irradiation of G<sub>0</sub> human lymphocytes. *Int. J. Radiat. Biol.* **46**, 135-141 (1984).
  146. V. Garavino, M. L. Meltz, D. N. Erwin, Effects of radiofrequency radiation and simultaneous exposure with mitomycin C on the frequency of sister chromatid exchanges in Chinese hamster

- ovary cells. *Environ. Mutagen.* **9**, 393-399 (1987).
147. V. Ciaravino, M. L. Meltz, D. N. Erwin, Absence of a synergistic effect between moderate-power radio-frequency electromagnetic radiation and adriamycin on cell-cycle progression and sister-chromatid exchange. *Bioelectromag.* **12**, 289-298 (1991).
  148. A. Maes, L. Verschaeve, A. Arroyo, C. De Wagter, L. Vercruyssen, In vitro cytogenetic effects of 2450 MHz waves on human peripheral blood lymphocytes. *Bioelectromag.* **14**, 495-501 (1993).
  149. A. Maes, M. Collier, D. Slaets, L. Verschaeve, 954 MHz microwaves enhance the mutagenic properties of mitomycin C. *Environ. Mol. Mutagen.* **28**, 26-30 (1996).
  150. A. Antonopoulos, H. Eisenbrandt, G. Obe, Effects of high-frequency electromagnetic fields on human lymphocytes in vitro. *Mutat. Res.* **395**, 209-214 (1997).
  151. Vijayalaxmi, N. Mohan, M. L. Meltz, M. A. Wittler, Proliferation and cytogenetic studies in human blood lymphocytes exposed in vitro to 2450-MHz radiofrequency radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* **72**, 751-757 (1997).
  152. A. Maes, M. Collier, L. Verschaeve, Cytogenetic investigations on microwaves emitted by a 455.7 MHz car phone. *Folia Biol. (Praha)* **46**, 175-180 (2000).
  153. A. Maes, M. V. L. Collier, Cytogenetic effects of 900 MHz (GSM) microwaves on human lymphocytes. *Bioelectromag.* **22**, 91-96 (2001).
  154. E. K. Balcer-Kubiczek, G. H. Harrison, Induction of neoplastic transformation in C3H/10T<sub>1/2</sub> cells by 2.45-GHz microwaves and phorbol ester. *Radiat. Res.* **117**, 531-537 (1989).
  155. E. K. Balcer-Kubiczek, G. H. Harrison, Neoplastic transformation of C3H/10T<sub>1/2</sub> cells following exposure to 120-Hz modulated 2.45 GHz microwaves and phorbol ester tumor promoter. *Radiat. Res.* **126**, 65-72 (1991).
  156. C. D. Cain, D. L. Thomas, W. R. Adey, Focus formation of C3H/10T<sub>1/2</sub> cells and exposure to a 836.55 MHz modulated radiofrequency field. *Bioelectromag.* **18**, 237-243 (1997).
  157. J. L. Roti Roti, R. S. Malyapa, K. S. Bisht, E. W. Ahern, E. G. Moros, W. F. Pickard, W. L. Straube, Neoplastic transformation in C3H 10T<sub>1/2</sub> cells after exposure to 835.62 MHz FDMA and 847.74 MHz CDMA radiations. *Radiat. Res.* **155**, 239-247 (2001).
  158. V. Garaj-Vrhovac, D. Horvat, Z. Koren, The effect of microwave radiation on the cell genome. *Mutat. Res.* **243**, 87-93 (1990).
  159. V. Garaj-Vrhovac, D. Horvat, Z. Koren, The relationship between colony-forming ability, chromosome aberrations and incidence of micronuclei in V79 Chinese hamster cells exposed to microwave radiation. *Mutat. Res.* **263**, 143-149 (1991).
  160. V. Garaj-Vrhovac, A. Fucic, D. Horvat, The correlation between the frequency of micronuclei and specific chromosome aberrations in human lymphocytes exposed to microwave radiation in vitro. *Mutat. Res.* **281**, 181-186 (1992).
  161. T. Haidler, S. Knasmueller, M. Kundi, M. Haidler, Clastogenic effects of radiofrequency radiations on chromosomes of Tradescantia. *Mutat. Res.* **324**, 65-68 (1994).
  162. M. R. Scarfi, M. B. Lioi, G. d'Ambrosio, R. Massa, O. Zeni, R. De Pietro, D. De Berardino, Genotoxic effects of mitomycin-C and microwave radiation on bovine lymphocytes. *Elec. Mag. Biol.* **15**, 99-107 (1996).
  163. M. T. Alam, N. Barthakur, N. G. Lambert, S. S. Kasatiya, Cytological effects of microwave radiation in Chinese hamster cells *in vitro*. *Can. J. Genet. Cytol.* **20**, 23-30 (1978).
  164. J. J. Kerbacher, M. L. Meltz, D. N. Erwin, Influence of radiofrequency radiation on chromosome

- aberrations in CHO cells and its interaction with DNA-damaging agents. *Radiat. Res.* **123**, 311-319 (1990).
165. Vijayalaxmi, W. F. Pickard, K. S. Bisht, B. Z. Leal, M. L. Meltz, J. L. Roti Roti, W. L. Straube, E. G. Moros, Cytogenetic studies in human blood lymphocytes exposed in vitro to radiofrequency radiation at a cellular telephone frequency (835.62 MHz, FDMA). *Radiat. Res.* **155**, 113-121 (2001).
166. E. K. Balcer-Kubiczek, G. H. Harrison, Evidence for microwave carcinogenesis *in vitro*. *Carcinogenesis* **6**, 859-864 (1985).
167. O. N. Pakhomova, A. G. Pakhomov, Y. Akyel, Effect of millimeter waves on UV-induced recombination and mutagenesis in yeast. *Bioelectrochem. Bioenerg.* **43**, 227-232 (1997).
168. D. Brusick, R. Albertini, D. McRee, D. Peterson, G. Williams, P. Hanawalt, J. Preston, Genotoxicity of radiofrequency radiation. *Environ. Mol. Mutagen.* **32**, 1-16 (1998).
169. D. J. Kirkland, S. W. Dean, On the need for confirmation of negative genotoxicity results in vitro and on the usefulness of mammalian cell mutation tests in a core battery: experiences of a contract research laboratory. *Mutagenesis* **9**, 491-501 (1994).
170. E. Zeiger, J. K. Haseman, M. D. Shelby, B. H. Margolin, R. W. Tennant, Evaluation of four in vitro genetic toxicity tests for predicting rodent carcinogenicity: confirmation of earlier results with 41 additional chemicals. *Environ. Mol. Mutagen.* **16**, 1-14 (1990).
171. P. E. Crossen, The effect of temperature and cell cycle length on SCE frequency in Rat-1 cells. *Mutat. Res.* **149**, 101-104 (1985).
172. B. C. Das, T. Sharma, Effects of temperature on the frequency of sister chromatid exchanges (SCEs) in peripheral blood lymphocytes of man and muntjac. *Environ. Mutagen.* **6**, 25-31 (1984).
173. J. B. Jorritsma, A. W. Konings, The occurrence of DNA strand breaks after hyperthermic treatments of mammalian cells with and without radiation. *Radiat. Res.* **98**, 198-208 (1984).
174. L. E. Hopwood, E. J. Tanel, Mutation induction by hyperthermia. *Nat. Cancer Inst. Monogr.* **61**, 61-63 (1982).
175. K. Miura, K. Morimoto, A. Koizumi, Effects of temperature on chemically induced sister-chromatid exchange in human lymphocytes. *Mutat. Res.* **174**, 15-20 (1986)

## **Telefonía móvil y Salud: La Perspectiva del Reino Unido.\***

### **Sir William Stewart**

Presidente del Grupo Independiente de Expertos en Telefonía Móvil del Reino Unido.

Presidente de la Real Sociedad de Edimburgo, 22-26 George Street, Edimburgo, EH2 2PQ, Reino Unido.

### **Introducción**

El extendido uso de los teléfonos móviles es un fenómeno bastante reciente. Su uso se ha extendido en la pasada década convirtiéndose para muchos en un elemento esencial en negocios, comercios, tiempo libre y sociedad en general. En concreto, en el Reino Unido actualmente existen aproximadamente 40 millones de teléfonos móviles en circulación.

Durante este tiempo, ha habido un gran debate público sobre sus posibles efectos adversos sobre la salud humana y recientemente, el potencial impacto del sistema TETRA ha sido remarcado. La preocupación se centra en las emisiones de radiación de radiofrecuencia (RF) desde los teléfonos móviles y desde las estaciones base que reciben y emiten las señales. Aunque la población en general ha puesto mucha atención en las estaciones base (torres), los niveles de exposición debidos a los teléfonos móviles situados cerca de la cabeza o de otras partes del cuerpo son substancialmente mayores que las exposiciones totales del cuerpo debidas a las estaciones base.

---

\* Texto original en Inglés. Traducido al Castellano por el Dr. Francisco Carricondo Orejana y revisado por el Dr. Alejandro Úbeda Maeso.

En 1990, la preocupación sobre los posibles riesgos para la salud de la escalada en el uso de los teléfonos móviles en el Reino Unido y el hecho de que era una tecnología nueva y en expansión llegó a los organismos públicos.

El Departamento de Salud del Gobierno del Reino Unido organizó una evaluación independiente de la situación y yo fui invitado a presidir este Comité. Su informe (el Informe Stewart) fue publicado en Mayo del año 2000 y fue uno de los más amplios informes al respecto. En él se consideraron las estaciones base (torres) y los teléfonos móviles, la importancia potencial de los efectos térmicos y no térmicos y se recomendó una exhaustiva revisión en un periodo de tres años o menos si las circunstancias así lo aconsejaban. El presente artículo incide en los principales puntos de ese Informe.

### **Las Conclusiones Principales**

- El resultado del estudio de la evidencia existente sugiere que la exposición a la radiación RF bajo las normativas nacional (National Radiological Protection Board NRPB) e internacional (ICNIRP) no causa efectos adversos sobre la salud en la población general.
- Hay evidencia científica que, sin embargo, sugiere que puede haber efectos biológicos asociados a la exposición a estas radiaciones dentro de los límites establecidos por estas normativas. Esto no necesariamente significa que estos efectos desemboquen en enfermedad o en daño, pero es una información potencialmente importante.
- Hay factores adicionales que necesitan ser tomados en cuenta para contemplar la posibilidad de un posible efecto para la salud. Las poblaciones no son genéticamente homogéneas y pueden existir variaciones en la susceptibilidad frente a riesgos medioambientales. Hay ejemplos bien documentados en la literatura científica sobre la predisposición genética de algunos grupos en los que podría influir en una sensibilidad a la enfermedad. Podría, incluso, existir una dependencia de la edad. El Comité concluyó por ello que en la actualidad no es posible decir que la exposición a la radiación RF,

incluso a los niveles mínimos propuestos por la normativa nacional, carece totalmente de cualquier efecto potencialmente adverso sobre la salud, y que el conocimiento actual sobre el tema es suficiente para justificar determinadas precauciones.

- El Comité, por ello, recomendó que se adoptase una actitud de precaución en el uso de las tecnologías de telefonía móvil hasta que hubiese disponible más información detallada y científicamente contrastada sobre cualquier efecto sobre la salud.

Es importante destacar que esta actitud de precaución, en sí misma, no es a cualquier precio sino que el Comité la consideró como una aproximación esencial en esta temprana etapa de nuestro conocimiento de la tecnología asociada a la telefonía móvil y de su potencial impacto sobre los sistemas biológicos y la salud humana.

El Gobierno del Reino Unido aceptó rápidamente la mayoría de las recomendaciones y actualmente se ha establecido un nuevo programa de investigación, patrocinado por el Gobierno y la industria, con un presupuesto de 7.5 millones de libras esterlinas (aprox. US\$ 10.5 millones). Este Comité está, actualmente (septiembre 2001), patrocinando el primero de estos nuevos programas de investigación y está buscando obtener, en particular, más información sobre el impacto directo, si es que lo hay, sobre la gente.

### **Un planteamiento cauto y cuestiones relacionadas**

El Comité recomendó que los Gobiernos nacional y local, la industria y el consumidor deberían empezar a estar activamente implicados en la preocupación sobre los posibles efectos sobre la salud de los teléfonos móviles.

Las recomendaciones se centraron en cinco áreas:

## **1. Recomendaciones para el Gobierno.**

El Comité reconoció que la industria de la telefonía móvil tiene un impacto directo sobre la gente y sobre los negocios en todo el mundo. Hay beneficios que el desarrollo de las telecomunicaciones móviles puede traer, con tal que no haya un impacto adverso sobre la salud.

### **- Estándares**

El Comité recomendó que, como precaución, fuese adoptada para su uso en el Reino Unido la normativa internacional de la ICNIRP para exposición a la radiación del público en general. Esto podría colocar al Reino Unido en línea con otros países de la Unión Europea.

El Comité no observó la necesidad de incorporar las normativas de la ICNIRP en los estatutos. El Comité creyó que estas normativas podrían cambiarse a medida que apareciese nueva información científica sobre posibles efectos sobre la salud.

Se recomendó que podría ser razonable establecer un seguimiento a largo plazo de aquellas personas que en sus puestos de trabajo se ven sujetos a niveles de radiación RF relativamente altos. El Comité recomendó el establecimiento del registro de estos trabajadores y que los riesgos de padecer cáncer y los índices de mortalidad deberían ser examinados para ayudar a determinar si existen efectos perniciosos para la salud. Si se identificase cualquier efecto adverso debido a la exposición a la radiación RF, el Gobierno establecería un sistema de vigilancia sanitaria.

### **- Planificación**

La situación de las estaciones base en áreas residenciales puede causar una considerable preocupación y angustia. El Comité se preocupó del impacto adverso indirecto que los actuales procedimientos de planificación están teniendo sobre aquellos

que han estado, o están, sujetos a la casi siempre insensible colocación de las estaciones base. Los impactos adversos en el medio ambiente local pueden influir negativamente sobre el bienestar del público así como producir efectos directos en la salud.

El Comité concluyó que la evidencia existente al respecto indica que no hay riesgo general para la salud de la gente que vive cerca de las estaciones base ya que las exposiciones se corresponden con pequeñas fracciones de los valores límite especificados en las normativas. Sin embargo, puede haber efectos adversos indirectos en su bienestar en algunos casos.

El Comité recomendó que para todas las estaciones base, incluidas aquellas con mástiles menores de 15 m, cuya construcción se haya permitido por la existencia de normativa en desarrollo fuesen revocadas y que la situación de todas las estaciones base nuevas debería estar sujeta al proceso de planificación normal.

El Comité recomendó que, a nivel del Gobierno Nacional, se debe desarrollar una plantilla de protocolos, en coordinación con la industria y los consumidores, que pueda ser usada para informar sobre el proceso de planificación y que deba ser asiduamente seguida antes de dar los permisos para la colocación de una nueva estación base. El Comité consideró que este protocolo debería contener los siguientes puntos:

- Todos los operadores de redes de telecomunicaciones deben notificar a la autoridad local la propuesta de colocación de una estación base. Esto incluye las instalaciones para macrocélulas, microcélulas y picocélulas.
- La autoridad local debe mantener una lista al día de todas aquellas notificaciones que debe estar disponible para consulta pública.
- El operador debe proveer a la autoridad local de una declaración para cada sitio indicando su localización, la altura de la antena, la frecuencia y las características de modulación, y los detalles de potencia de salida.

- Cualquier cambio de una estación base ya existente que incremente su tamaño o el total de potencia radiada, debe estar sujeta al proceso de planificación normal como si fuera un nuevo elemento en desarrollo.

El Comité recomendó la realización de una robusta plantilla de planificación dentro de los 12 meses posteriores a la publicación del Informe. Debería incorporar un requerimiento para la implicación pública, una aportación para las autoridades de la salud y los profesionales sanitarios y un sistema claro y abierto de documentación que pueda ser consultado por el público en general.

El Comité recomendó la realización, por parte del Gobierno, de una base de datos nacional incluyendo detalles de todas las estaciones base y de sus emisiones. Esto debería incluir las características de las estaciones base y debe ser un elemento esencial para la aplicación de licencias.

El Comité reconoció la importancia de la realización de una auditoría independiente de todas las estaciones base para asegurar que los índices de exposición no superen los niveles establecidos en las normativas fuera de las zonas de exclusión y que las estaciones base cumplen con las especificaciones reglamentadas. Si las emisiones de las estaciones base se encuentran por encima de los niveles normativos, o si se alejan demasiado de las características establecidas, la estación base debería clausurarse hasta que se acaten las normativas vigentes.

El Comité recomendó dar una especial atención a la realización de estas auditorías en las estaciones base cercanas a colegios y otros sitios especialmente sensibles.

En el caso de las estaciones base macrocelulares situadas dentro de colegios, el Comité recomendó que el haz de mayor intensidad no debería caer en ninguna parte de la superficie escolar o en edificios anejos sin la autorización de la escuela y de los padres. Consideraciones similares deben ser tomadas en cuenta y aplicarse en el caso de estaciones base macrocelulares situadas cerca de lugares escolares.

El Comité recomendó que para poder tomar decisiones sobre la situación de las estaciones base, las autoridades responsables de la planificación deben tener el poder de asegurar que los campos RF a los cuales el público será expuesto se mantendrán a los niveles prácticos menores acordes con el funcionamiento efectivo del sistema de telecomunicaciones.

#### **- Zonas de Exclusión**

El Comité recomendó el establecimiento de unas zonas físicas de exclusión claramente definidas alrededor de las antenas de las estaciones base, las cuales definen áreas en cuyo interior los límites permitidos de exposición pueden ser excedidos. La incorporación de zonas de exclusión debería ser parte componente de las plantillas de protocolos de planificación por las que nosotros abogamos.

Cada zona de exclusión debería estar definida por una barrera física y debe ser fácilmente identificable a nivel nacional con un logotipo. Esto debería informar al público y los profesionales de que dentro de la zona de exclusión pueden existir emisiones RF que excedan los límites establecidos en la normativa nacional. El Comité recomendó que el diseño del logotipo debería ser tomado por el Instituto de Estándares Británico y realizado en 12 meses.

El Comité recomendó que los signos de peligro deberían ser incorporados dentro de los transmisores microcelulares y picocelulares para indicar que estos dispositivos no deben ser abiertos mientras se estén usando.

#### **- El Uso del Teléfono Móvil cerca de Hospitales**

El Comité se preocupó sobre el indiscriminado uso de los teléfonos móviles en los hospitales y en otros sitios donde las radiaciones RF podrían posiblemente interferir con equipos sensibles. El Comité entendió que las autoridades de la salud deben ofrecer las

guías para el uso de los teléfonos móviles y que deberían asegurar que todos los hospitales lo acatan. Esta guía debería incluir la colocación de signos de peligro visibles en las entradas de los edificios para indicar que los teléfonos móviles deben ser apagados.

El Gobierno del Reino Unido ha tomado en cuenta también otras recomendaciones en su actual aproximación al problema.

## **2. Recomendaciones a la Industria**

El Comité entendió desde el Foro de Fabricantes de Móviles (Mobile Manufacturers Forum) que todos los teléfonos móviles que actualmente están en el mercado británico acatan las dos normativas más importantes al respecto, la NRPB y la ICNIRP. Un problema crucial en relación a la exposición de la gente que usa los teléfonos móviles es la tasa de absorción específica de energía (specific energy absorption rate: SAR). Esto determina la cantidad de energía absorbida en el cuerpo del usuario. En la mayoría de las circunstancias de uso la energía absorbida se centra en la cabeza. La SAR depende de la potencia de salida del teléfono y de su diseño. Un procedimiento de test estándar internacionalmente aceptado, que permitirá la comparación del SAR de los móviles, está siendo desarrollado y estará finalizado este año (2000). Tal procedimiento podría beneficiar a los consumidores y podría también ser bienvenido por la industria.

El Comité recomendó la adopción de un estándar internacional para la evaluación de los valores del SAR de los teléfonos móviles para su uso en el Reino Unido una vez se haya demostrado que es científicamente fiable.

La información de los SAR de los teléfonos móviles debería estar accesible para los consumidores en el punto de venta, con información en la caja, folletos disponibles en las tiendas dando información comparativa en diferentes teléfonos móviles y con información explicativa, como una opción del menú en la pantalla del teléfono y como una etiqueta en el teléfono, y en una página web nacional, que tenga una lista de los valores de SAR de los diferentes modelos de teléfonos móviles.

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

Si actualmente hay efectos adversos para la salud, que no se hayan descubierto, derivados del uso del teléfono móvil, los niños deben ser más vulnerables a esto ya que su sistema nervioso se está desarrollando, por la gran absorción de energía en los tejidos de la cabeza y una larga vida de exposición. En línea con nuestra aproximación cauta, en este momento, nosotros creemos que el uso indiscriminado de los teléfonos móviles para llamadas no esenciales debería ser evitado. Nosotros también recomendamos que la industria de la telefonía móvil no debería promover el uso de los teléfonos móviles por los niños.

### **3. Investigación Sanitaria Relacionada.**

La industria de la telefonía móvil ha financiado un programa substancial y continuo en el tiempo de investigación internacional. El reciente aumento en el uso de la tecnología de la telefonía móvil en el Reino Unido no ha sido igualado, en general, por la producción de investigación relevante y de buena calidad financiada por el sector público. Demasiados estudios han sido llevados a cabo a niveles de exposición y frecuencias no directamente relacionadas con el uso de los teléfonos móviles o con las estaciones base.

Con relación a los hallazgos recientes de la investigación, las siguientes tres áreas merecen comentarios más específicos.

- Primero: El estudio de la evidencia disponible no sugiere que la radiación RF producida por los teléfonos móviles o las estaciones base pueda causar cáncer u otras alteraciones o enfermedades<sup>1</sup>. Sin embargo, hay ahora evidencias que podrían indicar que determinadas funciones biológicas, incluidas aquellas del cerebro, pueden estar influenciadas por la radiación RF a niveles comparables a aquellos asociados al uso de los teléfonos móviles<sup>2</sup>. No hay, todavía, evidencia que esos efectos biológicos constituyan un

---

<sup>1</sup> Véanse, por ejemplo, los artículos de J. Moulder y de A. Úbeda (Nota del Editor).

<sup>2</sup> Véanse, por ejemplo, los artículos de P. Gil-Loyzaga y de A. Úbeda (Nota del Editor).

problema de salud, pero al presente se dispone de datos limitados. Esta es una de las razones por las que el Comité recomendó una aproximación cauta al problema.

- Segundo: Una gran preocupación ha sido expresada sobre el hecho de que la naturaleza de pulsos de las señales de los teléfonos móviles y las torres pueden tener un impacto en la función del cerebro. Esta es una intrigante posibilidad, que merece más investigación, particularmente si las señales de pulsos continúan siendo usados en la tercera generación de teléfonos y en la tecnología relacionada. La investigación debería concentrarse en la modulación de señal representativa de la presente y de la futura tecnología de telefonía móvil.
- Tercero: El Comité alabó a la Organización Mundial de la Salud (OMS) por fomentar el uso de protocolos experimentales estandarizados bajo condiciones reales relacionadas con el uso de la tecnología de la telefonía móvil. Esto debería permitir que experimentos realizados en diferentes laboratorios puedan ser comparables con la vida real.

En la base del actual estado de conocimiento, el Comité recomendó que se debe dar prioridad a un número determinado de áreas de investigación relacionadas particularmente a las señales de los terminales móviles. Estas áreas deberían incluir:

- Efectos en la función del cerebro.
- Consecuencias de la exposición a señales pulsátiles.
- Mejoras en la dosimetría.
- El posible impacto en la salud de cambios subcelulares y celulares inducidos por la radiación RF.
- Estudios psicológicos y sociológicos relacionados con el uso de los teléfonos móviles.
- Estudios epidemiológicos y en voluntarios humanos, incluyendo el estudio de niños, e individuos que podrían ser más susceptibles a la radiación RF.

El Comité recomendó que un programa de investigación substancial debería operar bajo el patrocinio de entidades demostrablemente independientes. El objetivo debería ser desarrollar un programa de investigación relacionado con aspectos sanitarios en los que pueda estar implicada la telefonía móvil y las tecnologías asociadas. Esto complementaría el trabajo financiado por la Unión Europea y el de otros países. En el desarrollo de una agenda de investigación se debe tomar en cuenta tanto la literatura científica bien contrastada, la no tan bien revisada y la evidencia procedente de la anécdota.

El Comité recomendó que este programa sea financiado por las compañías de telefonía móvil y por el sector público (departamentos de industria, de salud y de investigación) posiblemente en un 50% cada uno. La contribución de la industria podría ser realizada en una base voluntaria o por un impuesto continuado y revisable cada cinco años.

Es esencial para la investigación en este área que ésto se tome en cuenta. El Comité recomendó que el tema de los posibles efectos para la salud de la tecnología de la telefonía móvil debería estar sujeto a una profunda revisión en un plazo de tres años, o en un periodo menor si las circunstancias así lo aconsejan.

#### **4. Información Pública y Consumo.**

El Comité se preocupó de la variabilidad y de la extensión de la información disponible para los consumidores de productos de telefonía móvil. El Comité recomendó que el Gobierno distribuyese folletos a cada hogar del Reino Unido proveyendo información clara y legible sobre la tecnología de la telefonía móvil y aspectos sanitarios relacionados, incluyendo el uso de teléfonos móviles durante la conducción. Estos folletos deberían estar disponibles también en los puntos de venta, y deberían desarrollarse en concierto con la industria, que ya ha producido algún buen folleto. El Gobierno del Reino Unido no ha

aceptado la distribución de los folletos a todas los hogares pero ha preparado dos folletos muy útiles que son fácilmente disponibles.

El Comité recomendó que se nombrase un Mediador Público para tomar decisiones en la situación de las estaciones base cuando el acuerdo entre las partes no pueda ser conseguido localmente y en otras cuestiones relacionadas. El Gobierno del Reino Unido no aceptó el nombramiento de este Mediador Público.

Hay varios dispositivos que buscan reducir la exposición a la radiación RF procedente de los teléfonos móviles. Esto incluye blindajes y dispositivos que se añaden a los teléfonos móviles. El Comité no está convencido de su efectividad en la reducción de la exposición personal en las condiciones normales de uso de los teléfonos móviles.

Los dispositivos de manos libres, que permiten colocar el teléfono lejos del cuerpo, tienen el potencial de reducir la exposición, pero algunos test recientes han puesto en duda su efectividad a nivel general. Para usuarios que deseen reducir la exposición, el Comité abogó por el uso dispositivos de manos libres de probada efectividad. Un diseño satisfactorio puede incluir el uso de filtros en la parte conectora. Así, un proceso de test estándar para su evaluación debería ser establecido.

La posición reguladora del uso de dispositivos de blindaje y de manos libres, que pueden afectar a la funcionalidad del teléfono, no está clara.

El Comité recomendó que el Gobierno del Reino Unido crease un sistema nacional que permita realizar un test independiente de los dispositivos de blindaje y de manos libres y que permita la distribución de una información clara sobre la efectividad de cada dispositivo. Un marchio oficial de calidad o algo equivalente debería ser introducido para demostrar la conformidad del dispositivo con el estándar.

**5. Comité Nacional de Protección Radiológica (National Radiological Protection Board: NRPB)**

El Comité creyó que el NRPB, que aconseja al Gobierno del Reino Unido en cuestiones relacionadas con las radiaciones ionizantes y no ionizantes, es un valioso elemento, pero da mayor prioridad a la ejecución de aproximaciones más abiertas a problemas de preocupación pública como la tecnología de la telefonía móvil.



## **Normas sobre Autorización e Inspección de las Antenas de Telefonía Móvil.**

**Jesús Cañadas**

Director de Planificación y Gestión. Dirección General de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Palacio de Comunicaciones. Madrid.

### **INTRODUCCION**

Distingamos primeramente lo que son competencias urbanísticas o paisajísticas, propias del Ayuntamiento o Comunidad Autónoma (CCAA), y las competencias de Telecomunicaciones, que de acuerdo con la Constitución Española son materia exclusiva del Estado. Las competencias en aspectos de salud corresponden al Ministerio de Sanidad y Consumo, pero están transferidas a las CCAA.

La gestión del espectro radioeléctrico corresponde por tanto al Estado, quien conforme al artículo 62 de la Ley 11/98, General de Telecomunicaciones (LGT), desarrollará los niveles de emisión radioeléctrica tolerables. El artículo 65 de las LGT establece que con carácter previo a la utilización del espectro radioeléctrico se exigirá preceptivamente la inspección o reconocimiento de las instalaciones, con el fin de comprobar que las mismas se ajustan a las condiciones previamente autorizadas.

El artículo 19 de la Ley 14/1986, General de Sanidad, prevé que las autoridades sanitarias propondrán o participarán con otros Departamentos en la elaboración y ejecución de la legislación, entre otras materias, de las distintas formas de energía.

Así pues, desde el punto de vista competencial, el Ministerio de Ciencia y Tecnología autorizará estaciones radioeléctricas requiriendo entre otras condiciones que no se superen los niveles máximos de exposición radioeléctrica que establezca el Ministerio de

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

Sanidad y Consumo (aglutinando en este sentido a las autoridades locales y CCAA). Este punto es de vital importancia a la hora de hacer una norma unificada y establecer el marco jurídico necesario para el desarrollo de la sociedad de la información con plenas garantías para los ciudadanos, al amparo de la Ley 11/98, General de Telecomunicaciones y de la Ley 14/86, General de Sanidad.

Los límites de exposición y su control son recogidos en el Real Decreto por el que se aprueba el reglamento de desarrollo de la Ley 11/1998, de 24 de Abril, General de Telecomunicaciones, en lo relativo a determinadas condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, límites de exposición y otras restricciones a las emisiones radioeléctricas, y por el que se establecen condiciones de evaluación sanitaria de fuentes de emisiones radioeléctricas, realizado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología conjuntamente con el Ministerio de Sanidad y Consumo, que se basa en la evidencia científica disponible, recogida en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo de la Unión Europea, e incorpora el principio de precaución para minimizar la exposición de los ciudadanos.

La diversidad de operadores, los niveles de calidad y cobertura asociados a los servicios y el aumento de la concentración de usuarios de telefonía móvil, en particular en entornos urbanos, obliga a efectuar un despliegue de un mayor número de estaciones base que den curso al tráfico generado por los mismos. Este mayor número de estaciones base implica que la distancia entre éstas y el usuario del teléfono móvil es menor. Cuanto menor sea la distancia entre un teléfono móvil y la estación base, menor es la potencia que ambos deben emitir, siendo también menor la exposición de los usuarios a las emisiones radioeléctricas y mejorando la calidad de las comunicaciones. Es perfectamente conocido que los sistemas de telefonía móvil superan en la actualidad la penetración del 65% de la población, y los nuevos sistemas permitirán el acceso a Internet móvil ampliando claramente la oferta de servicios.

Recientemente, y con vistas a la regulación, el Ministerio de Sanidad y Consumo ha liderado un Comité de expertos multidisciplinar, con profesionales de reconocido prestigio

nacional e internacional, que ha trabajado, revisando y analizando la evidencia científica disponible sobre emisiones radioeléctricas y salud. Los resultados del estudio de este Comité están en la misma línea que los obtenidos en estudios realizados por las autoridades sanitarias de otros países, tales como Francia y Reino Unido<sup>1</sup>.

El 11 de mayo de 2001, el Ministerio de Sanidad y Consumo ha presentado a los medios de comunicación un resumen del estudio "Campos electromagnéticos y salud pública" elaborado por el citado Comité de expertos<sup>2</sup>.

En este estudio se presta especial atención a las antenas de telefonía, y concluye que la exposición a los campos electromagnéticos no ocasiona efectos adversos para la salud, dentro de los límites recogidos en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea, de 12 julio de 1999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos.

Esta conclusión coincide también con las recomendaciones de la ICNIRP (Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No-Ionizantes), del CENELEC (Comité Europeo de Normas Electrotécnicas) y de la Organización Mundial de la Salud.

Además, la Organización Mundial de la Salud recomienda la adhesión estricta a las recomendaciones internacionales, sin incorporar arbitrariamente factores de seguridad adicionales a los límites establecidos en las mismas. En este sentido, la Recomendación del Consejo de la Unión Europea se constituye en un elemento fundamental de armonización a nivel europeo.

Los límites máximos de exposición regulados son recogidos en el anexo II del Real Decreto<sup>3</sup>, de acuerdo con las conclusiones antes indicadas. No obstante el Real Decreto contempla la minimización de exposiciones como medida de carácter general y recoge otras conclusiones del Comité de expertos, como principios de precaución adicionales.

---

<sup>1</sup> Véase el artículo de W. Stewart en este libro (Nota del Editor).

<sup>2</sup> El texto íntegro ha sido publicado en: <http://www.msc.es/salud/ambiental/ondas/camposelectromag.htm> (Nota del Editor).

<sup>3</sup> Se refiere al Real Decreto 1066/2001, del 28 de septiembre de 2001 (Nota del Editor).

NORMATIVA DE AUTORIZACIÓN E INSPECCIÓN DE ESTACIONES RADIOELÉCTRICAS: REAL DECRETO 1066/2001, de 28 de Septiembre, por el que se aprueba el REGLAMENTO QUE ESTABLECE CONDICIONES DE PROTECCIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO RADIOELÉCTRICO, RESTRICCIONES A LAS EMISIONES RADIOELÉCTRICAS Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN SANITARIA FRENTE A EMISIONES RADIOELÉCTRICAS:

Se extraen del mismo algunos artículos del Real Decreto, en los que se establece el marco legislativo aplicable, no descartándose posteriores Órdenes Ministeriales que los desarrollen, que pueden ir en la línea de establecer procedimientos y protocolos de medida, informaciones a suministrar para crear registros de estaciones ó posibles auditorías, normas de señalización y vallado de estaciones, etc.

Artículo 8.- Determinados requisitos para la autorización de estaciones radioeléctricas y criterios de planificación.

1. Los operadores que establezcan redes soporte de servicios de radiodifusión sonora y televisión y los titulares de licencias individuales de tipo B2 y C2, presentarán un estudio detallado, realizado por técnico competente, que indique los niveles de exposición radioeléctrica en áreas cercanas a sus instalaciones radioeléctricas en las que puedan permanecer habitualmente personas.

Los mencionados niveles de exposición, valorados teniendo en cuenta el entorno radioeléctrico, deberán cumplir los límites establecidos en el Anexo II de este Reglamento.

El citado estudio será presentado ante el Ministerio de Ciencia y Tecnología, incorporado en el proyecto o propuesta técnica necesarios para solicitar la autorización de las instalaciones radioeléctricas, según lo establecido en el Capítulo I, Título III, de la Orden de 9 de marzo de 2000, por la que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley 11/1998, de 24 de abril, General de Telecomunicaciones, en lo relativo al uso del dominio público radioeléctrico.

2. Los operadores y titulares de licencias individuales a los que se refiere el apartado 1 presentarán, simultáneamente y de manera complementaria al estudio citado

en dicho apartado, un proyecto de instalación de señalización y, en su caso, vallado que restrinja el acceso de personal no profesional a zonas en las que pudieran superarse las restricciones establecidas en el Anexo II. Dicha señalización o vallado deberá estar instalado de manera previa a la puesta en servicio de la instalación radioeléctrica.

3. El Ministerio de Ciencia y Tecnología podrá ampliar la obligación prevista en los apartados anteriores a las solicitudes de autorización de otras instalaciones radioeléctricas.

4. El Ministerio de Sanidad y Consumo tendrá acceso a la información que le resulte necesaria sobre los niveles de exposición a los que se refiere el apartado primero de este artículo. Las autoridades sanitarias de las Comunidades Autónomas serán informadas por el Ministerio de Sanidad y Consumo cuando lo soliciten.

5. Sin perjuicio de lo dispuesto en el apartado primero de este artículo, la aprobación definitiva de las instalaciones estará condicionada a la no superación de los límites de exposición recogidos en el Anexo II de este Reglamento.

6. No podrán establecerse nuevas instalaciones radioeléctricas o modificarse las existentes cuando su funcionamiento pudiera suponer que se superen los límites de exposición recogidos en el Anexo II de este Reglamento.

7. En la planificación de las instalaciones radioeléctricas, los titulares de las mismas deberán tener en consideración, entre otros criterios, los siguientes:

- a) La ubicación, características y condiciones de funcionamiento de las estaciones radioeléctricas deben minimizar los niveles de exposición del público en general a las emisiones radioeléctricas con origen tanto en éstas como, en su caso, en los terminales asociados a las mismas, manteniendo una adecuada calidad del servicio.
- b) En el caso de instalación de estaciones radioeléctricas en cubiertas de edificios residenciales, los titulares de instalaciones radioeléctricas procurarán,

siempre que sea posible, instalar el sistema emisor de manera que el diagrama de emisión no incida sobre el propio edificio, terraza o ático.

c) La compartición de emplazamientos podría estar condicionada por la consiguiente concentración de emisiones radioeléctricas.

d) De manera particular, la ubicación, características y condiciones de funcionamiento de las estaciones radioeléctricas debe minimizar, en la mayor medida posible, los niveles de emisión sobre espacios sensibles, tales como escuelas, centros de salud, hospitales o parques públicos.

#### Artículo 9.- Inspección y evaluación de las instalaciones radioeléctricas.

1. Será requisito previo a la utilización del dominio público radioeléctrico por parte de los operadores a los que se refiere el apartado 1 del artículo 8, la inspección o reconocimiento satisfactorio de las instalaciones por los servicios técnicos del Ministerio de Ciencia y Tecnología, en los términos establecidos en el artículo 65 de la Ley 11/1998, de 24 de abril, General de Telecomunicaciones.

2. Las instalaciones radioeléctricas deben ser realizadas por instaladores de telecomunicación inscritos, para el tipo correspondiente, en el registro de instaladores de telecomunicación, según lo dispuesto en el Real Decreto 279/1999, de 22 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento regulador de las infraestructuras comunes de telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de los edificios y de la actividad de instalación de equipos y sistemas de telecomunicaciones.

3. Los servicios técnicos del Ministerio de Ciencia y Tecnología elaborarán planes de inspección para comprobar la adaptación de las instalaciones a lo dispuesto en este Reglamento.

Asimismo, los titulares de licencias individuales de tipo B2 y C2 deberán remitir al Ministerio de Ciencia y Tecnología, en el primer trimestre de cada año natural, una

certificación emitida por técnico competente de que se han respetado los límites de exposición establecidos en el Anexo II de este Reglamento durante el año anterior. Este Ministerio podrá ampliar esta obligación a titulares de otras instalaciones radioeléctricas.

Con carácter anual, el Ministerio de Ciencia y Tecnología, sobre la base de los resultados obtenidos en las citadas inspecciones y a las certificaciones presentadas por los operadores, elaborará y hará público un informe sobre la exposición a emisiones radioeléctricas.

4. El Ministerio de Sanidad y Consumo tendrá acceso a información sobre el resultado de las inspecciones y certificaciones a que se refieren los apartados anteriores de este artículo. Las autoridades sanitarias de las Comunidades Autónomas serán informadas por el Ministerio de Sanidad y Consumo cuando lo soliciten.

DISPOSICIÓN TRANSITORIA ÚNICA. Certificación de instalaciones autorizadas.

En el plazo de 9 meses, contado a partir de la entrada en vigor de este Reglamento, los operadores a los que se refiere el apartado 1 del artículo 7, que dispongan de instalaciones radioeléctricas autorizadas con anterioridad a la fecha de entrada en vigor de este Reglamento remitirán, al Ministerio de Ciencia y Tecnología, una certificación de la conformidad de dichas instalaciones con los límites de exposición establecidos en el Reglamento, expedida por técnico competente en materia de telecomunicaciones.

En caso de que transcurrido este plazo no se presentase la certificación correspondiente a una instalación radioeléctrica, se entenderá que ésta no está autorizada para su funcionamiento. La nueva puesta en servicio de esta instalación radioeléctrica deberá atenerse a lo establecido en los artículos 8 y 9 de este Reglamento.

En el plazo de un año, contando a partir de la entrada en vigor de este Reglamento, los operadores y titulares de licencias individuales a los que se refiere el apartado 1 del artículo 8, que dispongan de instalaciones radioeléctricas autorizadas con anterioridad a la fecha de entrada en vigor de este Reglamento, deberán tener adecuadas

todas sus instalaciones radioeléctricas a lo previsto en el apartado 2 del artículo 8. Una vez concluida esta adecuación, lo comunicarán al Ministerio de Ciencia y Tecnología.

#### Artículo 12. Instalación de estaciones radioeléctricas en un mismo emplazamiento

En el supuesto de instalación de varias estaciones radioeléctricas de diferentes operadores dentro de un mismo emplazamiento, los operadores se facilitarán mutuamente o a través del gestor del emplazamiento, los datos técnicos necesarios para realizar el estudio de que el conjunto de instalaciones del emplazamiento no supera los niveles radioeléctricos máximos establecidos en este Reglamento.

#### **Dispositivos: bases y terminales. Cumplimiento de normas técnicas**

En lo referente a aspectos regulatorios, se extrae del Real Decreto el artículo 11 donde se contempla el régimen aplicable a todos los dispositivos, sobre el que cabe desarrollar Ordenes Ministeriales .

#### Artículo 11.- Equipos y aparatos:

Todos los equipos y aparatos que utilicen el espectro radioeléctrico deberán haber evaluado su conformidad y cumplir el resto de requisitos que le son aplicables, en los términos recogidos en los artículos 56 y 57 de la Ley 11/1998, de 24 de abril, General de Telecomunicaciones y en el Real Decreto 1890/2000, de 20 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece el procedimiento para la evaluación de la conformidad de los aparatos de telecomunicaciones.

Adicionalmente, la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información podrá establecer procedimientos de evaluación voluntaria, conforme a lo dispuesto en el artículo 35 del Reglamento aprobado por el citado Real

Decreto 1890/2000. En dichos procedimientos se podrán definir los parámetros técnicos aplicables a la evaluación, así como la información a suministrar en el manual de usuario o en el embalaje de los equipos.

Los procedimientos de evaluación voluntaria que se establezcan definirán las especificaciones técnicas aplicables, cuyo cumplimiento podrá ser verificado, según el caso, por declaración de conformidad del fabricante del equipo o por pruebas realizadas por organismos externos acreditados.

Las especificaciones técnicas se definirán teniendo en cuenta las normas técnicas elaboradas por los siguientes organismos, con el orden de prelación que se enumera a continuación:

- a) Las adoptadas por organismos europeos de normalización reconocidos: el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI), el Comité Europeo de Normalización (CEN) y el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC).
- b) Las internacionales adoptadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), la Organización Internacional de Normalización (ISO) o la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI).
- c) Las emanadas de organismos españoles de normalización y, en particular, de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).
- d) Las especificaciones técnicas que cuenten con amplia aceptación en la industria y hayan sido elaboradas por los correspondientes organismos internacionales.

En el caso de sistemas de telefonía móvil paneuropeos (GSM, DCS, UMTS), los terminales están homologados y existe libre circulación de los mismos. Pueden por tanto requerirse informaciones adicionales a los fabricantes, tales como características de SAR, diagrama de emisión de antena del móvil etc.

## APLICACIONES PRÁCTICAS DESDE EL PUNTO DE VISTA REGULATORIO: LA TELEFONÍA MÓVIL

### Aplicable a estaciones base

Los adjudicatarios de licencia de telefonía móvil (licencia obtenida generalmente por el procedimiento de concurso) envían en el proyecto técnico un estudio para cada estación, demostrando que se adapta a lo establecido en el Real Decreto.

Tal como se recoge en el artículo 7 A) antes indicado, en la planificación de las estaciones los operadores deberán tratar de minimizar los niveles de exposición radioeléctrica, con origen tanto en las estaciones base como en los terminales asociados. Esta frase es especialmente crítica, teniendo en cuenta que la cobertura de la estación viene impuesta en los sistemas actuales por el alcance del terminal móvil a la estación base (no el alcance propio de la radio base), e incide en muchos aspectos, tales como:

- Empleo de técnicas que aumenten la sensibilidad de los equipos de recepción.
- Establecimiento de controles de potencia tanto en estaciones base como en terminales. En particular el móvil GSM puede emitir entre unos pocos miliwatios hasta 2 watios bajo control de la estación base.
- Indicar a los usuarios, en las campañas de información, que utilicen el teléfono en las zonas de máxima cobertura, momento en el que el terminal móvil emite menos
- Ubicar las estaciones sin alejarse de los cascos urbanos. Estamos hablando de distancias entre estaciones de un mismo operador inferiores a 500 metros para mantener una buena cobertura en interiores. Bajo estas condiciones la media de emisión de los terminales móviles no superará 500 miliwatios.
- Emitir por la estación base la potencia necesaria para proporcionar este alcance, sin sobrepasarse (Esta técnica ya suele ser empleada por los operadores para no autointerferirse sus propias estaciones)

En el proyecto técnico se analizará por el operador el entorno radioeléctrico e incluirán en las características técnicas de la estación la máxima potencia radiada posible con todos los canales en cada sector considerado. Ejemplo: 3 canales, canal 1: 200 vatios, canal 2 y 3:100 vatios (esta reducción es como consecuencia del control de potencia), proporcionarán el dato de 400 vatios de potencia máxima en ese sector. En el estudio se tendrá en cuenta la existencia de otras fuentes de emisión existentes o planificadas, para lo que se seguirán las directrices del Ministerio de Ciencia y Tecnología. El sistema se puede considerar aislado superponiéndose a efectos de cálculo un nivel de campo adicional.

En el proyecto se indicará altura y diagrama mostrando como diagrama de emisión (lóbulo principal + secundario) no incida en el propio edificio, (la forma final puede ser paralelepípedo sobredimensionado, que tenga en cuenta el campo cercano en las proximidades de la antena) ni en el edificio de enfrente.

El Ministerio de Ciencia y Tecnología facilitará al Ministerio de Sanidad y Consumo los datos técnicos necesarios para determinar los niveles de máximos de exposición procedentes de estas fuentes.

El Real Decreto contempla la certificación anual para garantizar el cumplimiento de los límites de exposición y las inspecciones periódicas que llevará a cabo el Ministerio de Ciencia y Tecnología, especialmente en las zonas socialmente sensibles (como colegios, hospitales etc.), en donde se sigue el criterio de planificación de minimizar las exposiciones.

La experiencia tanto nacional como extranjera arroja resultados de límites de exposición para el caso de las antenas de telefonía móvil muy por debajo de los que establece la Recomendación 1999/519/CE<sup>4</sup>, consecuencia a su vez de que este tipo de estaciones ya fueron pensadas para ubicar en entornos urbanos dentro de los límites que establece la norma CENELEC, similar en estas frecuencias a los que se recogen en la Recomendación. En el caso de que la instalación de la estación sea correcta (se tiene que montar por instaladores de telecomunicación inscritos), la experiencia dice que solo se

---

<sup>4</sup> Véase el artículo de A. Úbeda en este libro (Nota del Editor).

superan límites establecidos en el caso de la superposición de fuentes externas de gran potencia y relativa proximidad. El Ministerio de Ciencia y Tecnología tendrá en cuenta estas fuentes, que controlará cuando estén dentro de su competencia (telecomunicaciones), y adicionalmente el Ministerio de Sanidad y Consumo podrá tener en cuenta la existencia de otras fuentes existentes.

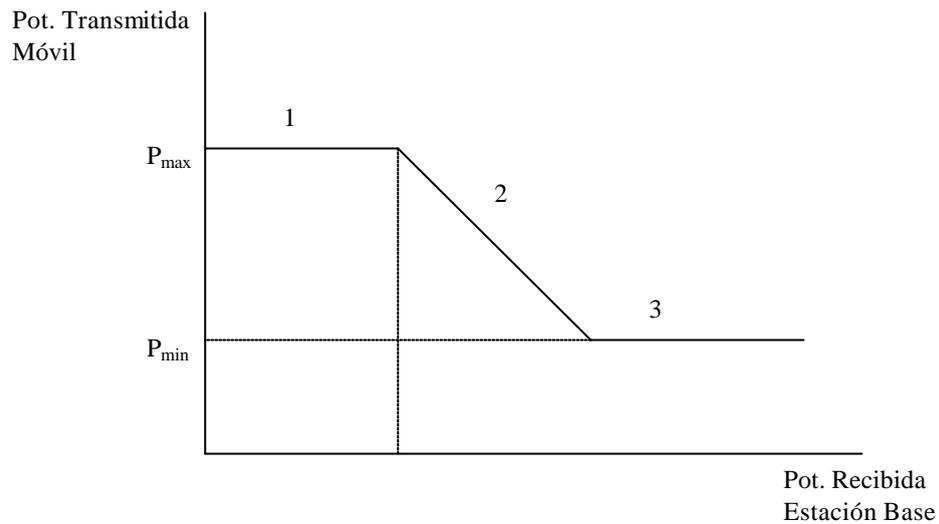
En cualquier caso el Real Decreto contempla para la autorización de este tipo de estaciones la realización de un estudio sobre niveles de exposición para los lugares de permanencia habitual de personas, que será posteriormente certificado antes de su puesta en servicio

**Aplicable a terminales:**

Es importante conocer como se efectúa el control de potencia en los terminales móviles. Para ello tomamos de referencia el sistema GSM, que es el mas impuesto actualmente. El control de potencia es una funcionalidad GSM que tiene como objetivo reducir la interferencia existente en la red.

El control de potencia actúa reduciendo la potencia de los móviles que se reciben en la estación base con mayor nivel, con lo que la interferencia global disminuye. Se aprovechan así las situaciones en que se puede mantener una buena calidad con menos potencia de transmisión en el móvil.

La potencia del terminal móvil es regulable entre dos valores: un límite superior  $P_{max}$ , y uno inferior  $P_{min}$ . Estos límites están definidos en los estándares GSM. Para móviles de fase 2 en la banda de 900,  $P_{max} = 33$  dBm, y  $P_{min} = 5$  dBm. Por defecto, los móviles transmiten a potencia máxima ( $P_{max}$ ).



Esta función se realiza mediante comandos enviados por la estación base.

#### **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ESTACIONES BASE DENTRO DE LOS LÍMITES DE EXPOSICIÓN: EFECTOS ACUMULATIVOS DE CAMPO ELÉCTRICO:**

Para ello es necesario considerar la potencia emitida por un determinado sistema objeto de análisis. Esta potencia conocida como *pire* (potencia isotrópica radiada equivalente) hay que considerarla en cada dirección, para que acorde a la nomenclatura técnica empleada, es función del ángulo  $\theta$  que forma con el eje vertical y del ángulo  $\phi$  sobre el eje horizontal.

La *pire* es en realidad función de  $(\theta, \phi)$ , pero por comodidad se la representa en este documento con las siglas *pire*.

**DISTANCIAS DE REFERENCIA:**

Aplicando los niveles de referencia y las formulas de propagación en campo directo de los campos electromagnéticos, en el caso de considerar sistemas aislados medidos en campo lejano es posible establecer las siguientes distancias de referencia, que aseguran el cumplimiento de los límites de exposición:

Considerando campo eléctrico E:  $E = \frac{\sqrt{30 \cdot p_{ire}}}{D}$ , deduciendo D según a partir de los valores que se establecen en el anexo II del Reglamento

A su vez se puede conocer la amplitud de campo magnético H mediante la formula:

$$H = \frac{120 \cdot p}{E}, \text{ deduciendo D en función de la formula anterior}$$

Considerando Densidad de potencia:  $S = \frac{p_{ire}}{4 \cdot p \cdot D^2}$

BANDA DE FRECUENCIAS	DISTANCIA DE REFERENCIA en metros
0,003-1 MHz.	0,06 x (pire) <sup>1/2</sup>
1-10 MHz.	0,06 x (pire x f) <sup>1/2</sup>
10-400 MHz.	0,2 x (pire) <sup>1/2</sup>
400-2000 MHz.	4 x (pire/f) <sup>1/2</sup>
2-300 GHz.	0,09 x (pire) <sup>1/2</sup>

Nota: *pire* es función de (? , ? ), dada en watos

f: frecuencia, en Mhz.

Señalamos que la aplicación de estas formulas es referida a campo lejano, es decir a distancias superiores a  $\frac{2 \cdot d^2}{\lambda}$ , siendo  $\lambda$  el cociente entre 300/f, siendo f la frecuencia en MHz., y d la altura máxima de la antena. Distancias típicas de campo lejano pueden ser de 100 metros en una estación de radiodifusión AM, y 25 metros en una antena de telefonía

móvil. A medida que deja de cumplirse esta aproximación las fórmulas dejarán de ser válidas, pero salvo en las proximidades inmediatas a la antena donde hay que considerar campo cercano, los errores cometidos no son excesivos.

Para el caso de sistemas radiantes múltiples con la misma ubicación se establecerá como nueva distancia de referencia la siguiente:

- 1) Por debajo de 10 MHz. : Se considerará la suma lineal de las distancias de referencia individuales:

$$D = D_1 + D_2 + \dots + D_n$$

- 2) Por encima de 10 MHz. : Se considerará la suma cuadrática de las distancias de referencia individuales

$$D = \sqrt{D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2}$$

- 3) Para el caso de sistemas radiantes múltiples, es más aconsejable hacer una superposición de niveles de campo y de densidad de potencia, y comprobar que el conjunto no supere los límites establecidos. No obstante las formulas se simplifican mucho considerando sistemas aislados a los que se les superponen niveles.

Seguidamente se analiza hasta qué punto pueden considerarse los sistemas aislados, admitiendo despreciable la influencia de las restantes estaciones:

#### **INSTALACIONES POR DEBAJO DE 10 MHz.**

En estos casos, atendiendo a la formula del campo eléctrico, la acumulación de campos implica una suma lineal.

Como fuentes más significativas de telecomunicaciones están los mástiles de radiodifusión en Onda Media (OM), que tienen potencias radiadas aparentes de 600 kilovatios, a los que corresponden a distancias de seguridad de 60 metros por estación, y

para estas distancias las formulas son válidas. Los limites de exposición decrecen linealmente con la distancia.

Hay pocas estaciones de estas características, por sus características están alejadas de los núcleos urbanos y tienen vallados y señalización que impide su acceso

Como conclusión, aunque este tipo de estaciones está de por sí alejadas a los extrarradios o zonas rurales, es importante contemplar el efecto aditivo de campo con otras fuentes como pueden ser las líneas de alta tensión, frecuentes para alimentar este tipo de estaciones, así como las líneas de electrificación de ferrocarriles que se puedan encontrar próximas, teniendo en cuenta que la adición de campos electromagnéticos es lineal, por lo que los operadores de estas estaciones dimensionan su vallado contemplando los efectos en conjunto.

Los estudios efectuados hasta la fecha revelan que los niveles de intensidad de campo, en zonas accesibles al público en general en las proximidades de este tipo de estaciones, están por debajo de los que establece la Recomendación.

#### **INSTALACIONES EN FRECUENCIAS SUPERIORES A 10 MHz.**

Los niveles de campo en estas frecuencias decrecen con el cuadrado de la distancia, reduciéndose significativamente el efecto acumulativo sólo a las proximidades de las estaciones que emiten con gran potencia. Hay muchas estaciones trabajando en frecuencias superiores a 10 MHz, analizándose las más significativas.

Las estaciones de radiodifusión sonora en FM (86-108 MHz.) de gran cobertura pueden tener potencias de 80 kilovatios de p<sub>ire</sub>, que corresponden a distancias de seguridad próximas a los 100 metros. Generalmente las Administraciones requieren que estos tipos de sistemas sean instalados bajo condiciones específicas de seguridad en muchos aspectos. En materia de exposición existe la norma CENELEC muy similar en cuanto a límites de exposición a los regulados actualmente.

Las estaciones de radiodifusión TV de gran cobertura en UHF pueden tener pires del orden de 150 kilovatios., que corresponden a distancias de seguridad próximas a los 100 metros.

Es frecuente la compartición en el mismo emplazamiento de estaciones de TV y FM de gran cobertura, sobre todo en los centros primarios de TV, necesitándose elevadas distancias de seguridad. No obstante las Administraciones mantienen este tipo de centros a alturas elevadas y por lo general alejados de las ciudades, comprobándose que pese a su elevada potencia de emisión, su altura y estrechez de haz de emisión asegura el cumplimiento de los niveles de exposición recogidos en el Real Decreto.

Alternativamente los sistemas de radiodifusión FM se instalan sobre otros mástiles, y las potencias autorizadas suelen ser inferiores a las anteriormente indicadas. Incluso permitirse ubicar en el casco urbano para potencias pequeñas.

Los radioenlaces de microondas, aún teniendo elevada potencia, son muy directivos y el haz principal enlaza ópticamente con el receptor, por lo que no inciden sobre viviendas y apenas añaden campo eléctrico en lugares de permanencia habitual de personas. Su efecto puede ser considerado despreciable.

Las estaciones de telefonía móvil se caracterizan por su elevado número y necesidad de instalación sobre medios urbanos, pero sus distancias de seguridad aplicando las mencionadas formulas, con las potencias máximas usadas, son normalmente inferiores a 5 metros para un único sistema, tomando esta distancia en la dirección de emisión, nunca en esférico. Posteriormente se detallarán los parámetros típicos

#### **APLICACIONES PRÁCTICAS DE LAS DISTANCIAS DE REFERENCIA:**

A la vista de lo dicho anteriormente cabe diferenciar dos grandes grupos: Las estaciones de telefonía móvil y acceso radio, que si comparten ubicación se considerarán como única fuente, que tienen distancias de referencia pequeñas, donde el efecto

acumulativo es despreciable, y los sistemas de radiodifusión de gran potencia, especialmente los de AM que pueden suponer efectos acumulativos..

Consecuentemente se comete un error muy pequeño al considerar los sistemas de telefonía aislados siempre que cumplan alguna condición (como puede ser que no se encuentre otro sistema de telefonía móvil en un radio de 4 veces su distancia de referencia), y superponer a efectos de estudio niveles adicionales procedentes de otras fuentes, como podrían ser las del servicio de Radiodifusión o similar, que puede ser perfectamente cuantificado.

Seguidamente se analiza en detalle las antenas de características de los sistemas de telefonía móvil, para ver efecto en la generación de niveles



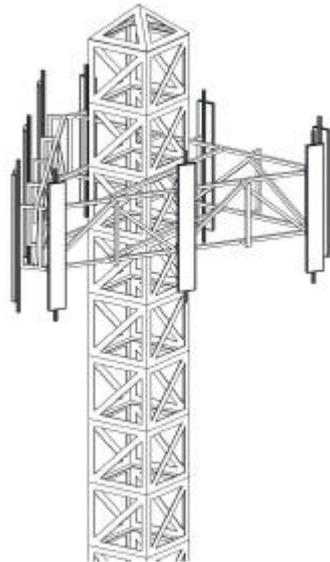
La antena típica de telefonía móvil que representa la figura es un apilamiento vertical de dipolos (array), montado sobre un reflector, por lo que estas antenas tienen forma rectangular con gran altura. El reflector proporciona la emisión hacia adelante y muy escasa hacia atrás.

Es importante notar que esta figura es la antena propiamente dicha, y por su diseño su emisión es sectorial, cubriendo un sector de ángulo comprendido entre 60 y 120° con un haz vertical muy estrecho, típicamente de 6-8°. Este tipo de antenas son extremadamente directivas, apenas emiten hacia atrás y hacia abajo

Atendiendo a la cobertura sectorial de este tipo de antenas, es frecuente ver varias antenas sobre un mismo mástil apuntando cada una de ellas en una dirección. Es típico ver sobre un mástil 3 antenas de este tipo, cubriendo la zona con una cobertura en forma de trébol.

Debido a que el alcance de la estación base viene impuesto normalmente por el alcance del terminal móvil a la estación base (cobertura inversa), y el terminal móvil tiene su potencia limitada para garantizar el cumplimiento de los límites de exposición, es necesario aumentar lo más posible la sensibilidad de recepción de las estaciones base. Una técnica

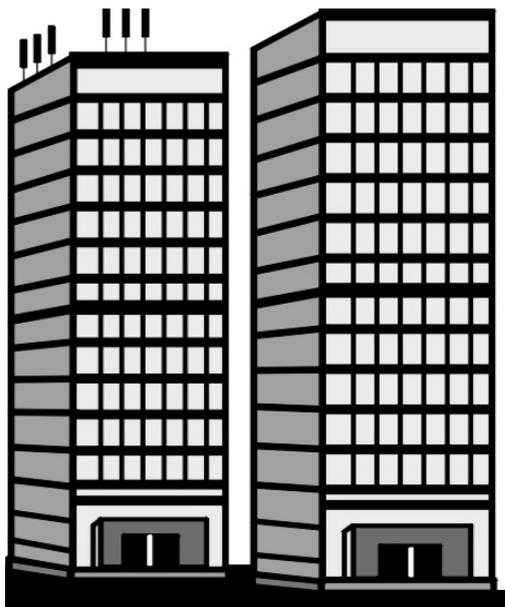
empleada es la diversidad por recepción, en las que ponen 3 antenas apuntando a una misma dirección (mismo sector)



Esta es la típica figura en el que se da una cobertura omnidireccional desde una estación base.

La torre tiene tres frentes de emisión, si bien cada frente tienen tres antenas, de las que solo emite la del medio. Las otras dos son de recepción, para aumentar la calidad de la misma.

Es frecuente ver sobre este tipo de torres las antenas de otros sistemas, concretamente GSM-900 y DCS-1800, con algunos elementos de radioenlace.



Una alternativa que cumple perfectamente las normas de instalación es situar las antenas en los bordes de las azoteas, apuntando al exterior tal como se representa la figura. Esta técnica es especialmente útil ya que libera de niveles de exposición la terraza sobre la que se instala. (Dada la existencia del reflector, estas antenas apenas emiten hacia atrás, no siendo necesario recurrir a una excesiva elevación, reduciendo así el impacto urbanístico

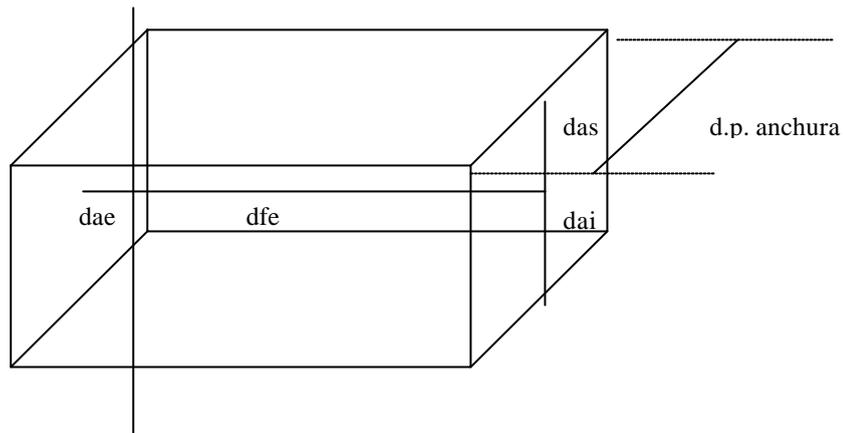
Los efectos del campo eléctrico sólo afectan por tanto en las proximidades de la antena, y si el haz de emisión de éstas incide sobre terrazas, áticos o edificios situados enfrente a corta distancia.

Dado el tamaño de las antenas (2 metros de altura para el sistema GSM), la distancia de campo lejano es de unos 25 metros, consecuentemente las formulas de cálculo de distancias de referencia tienen un margen de error, aunque no es excesivo. Es en las proximidades de la antena donde puede haber este efecto, aconsejando sustituir el haz de emisión por un paralelepípedo tomando como referencia la altura de la propia antena. Este paralelepípedo tendría una altura de 2 metros, distancia de 6 metros y contendría el haz de emisión. Por otra parte, a corta distancia donde este efecto es más significativo, las características de radiación de los elementos del array impiden la emisión sobre su vertical, obteniéndose una disminución de campo.

#### **DIMENSIONAMIENTO DEL VOLUMEN DE PROTECCION: PARALELEPIPEDO DE REFERENCIA**

Algunos autores están proponiendo la posibilidad de establecer volúmenes de protección, que tiene la ventaja de facilitar la realización de los proyectos y determinar las zonas no accesibles a público en general. No obstante el cumplimiento de los límites de exposición se garantiza haciendo las correspondientes medidas.

A efectos de tratar informáticamente la emisión de la antena, podría considerarse asociado a cada antena un volumen de protección constituido por un paralelepípedo de referencia tal como se recoge en la figura:



En función de la altura relativa y potencia radiada máxima del conjunto en los diferentes sectores, es posible definir una zona de incidencia de haz en donde se superan los niveles establecidos.

El paralelepípedo de referencia tiene la ventaja de ser fácilmente medible, pues proporciona los siguientes datos

- distancia de protección en dirección de frente de emisión (dfe)
- distancia de protección en dirección hacia atrás de la emisión (dae)
- distancia de protección en altura superior (das) (no crítica)
- distancia de protección en altura hacia abajo
- distancia de protección en anchura (Nótese que se circunscribe un cuadrado sobre un sector circular)

Esta aproximación puede ser válida para sistemas de telefonía móvil y acceso radio, que tienen escasa potencia, pero puede alterarse en el caso de superposición de altos niveles de campo externos, pero suelen ser casos muy concretos.

Todas estas distancias pueden obtenerse mediante funciones matemáticas sencillas, en función de los diagramas de radiación de las antenas según ángulos de (°, °) y las potencias autorizada en cada estación.

Para convertir el paralelepipedo de referencia, caso de ser un sistema aislado al equivalente de sistema múltiple o considerar incluso la influencia de un campo externo, equivaldría a una superposición de niveles.

Considerando la densidad de potencia:

$$S = \frac{pire}{4 \bullet p \bullet D^2} \text{ con superposición de niveles, la nueva S sería:}$$

$$S = S (\text{dato Recomendación}) - S (\text{superposición}),$$

que aplicándose sobre la formula:

$$S = \frac{pire}{4 \bullet p \bullet D^2}, \text{ proporcionaría las nuevas distancias de referencia}$$

Estos volúmenes de protección desembocarán finalmente en un vallado o declaración de zona inaccesible. El Ministerio de Ciencia y Tecnología validará, si procede, el proyecto técnico, y las certificaciones de los operadores garantizarán el mantenimiento de los límites de exposición en lugares de permanencia habitual de público en general, producidos ya no sólo por la propia estación, sino por su entorno.

## **PLAN DE INSPECCION. INFORME ANUAL**

De acuerdo con el antes citado artículo 9.2 del Reglamento, los servicios técnicos del Ministerio de Ciencia y Tecnología elaborarán planes de inspección para comprobar la adaptación de las instalaciones a lo dispuesto en este Reglamento.

Este plan está actualmente pendiente de definición, podría ir sobre tres vertientes:

- 1.- Evaluación genérica de niveles de intensidad de campo, con vistas a determinar o validar niveles de superposición, identificar fuentes y zonas de niveles de campo elevado, o elaborar, si fuese necesario, mapas de niveles de exposición.
- 2.- Inspección de estaciones radioeléctricas, con vistas a comprobar tanto el adecuado funcionamiento de las mismas como la calidad de las certificaciones.
- 3.- Inspección en zonas consideradas socialmente sensibles, como colegios, hospitales, mostrando los niveles de exposición radioeléctrica existentes sobre estos centros.

Los resultados de estas inspecciones formarán parte del informe anual contemplado en el reglamento.

## **ACCIONES COMPLEMENTARIAS DEL REAL DECRETO**

### **DECLARACION DE CONFORMIDAD**

Está en desarrollo el estándar CENELEC para la conformidad de estaciones base y terminales fijos en lo referente a niveles de exposición radioeléctrica, que operan en las bandas entre 110 MHz. y 40 GHz. En el caso de que la potencia emitida por la estación base sea inferior a 20 miliwatios no es necesario realizar cálculos.

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

La declaración de conformidad será realizada por el propio operador (indicando cuando proceda los datos del instalador).

Las normas que se desarrollen en España irán en consonancia con la norma CENELEC.

### **CAMPAÑA DE INFORMACION**

En línea con lo que han hecho otros países, y de acuerdo con lo que establece la Recomendación 1999/519/CE, se va a proporcionar información suficiente a los ciudadanos, en formato adecuado, sobre el funcionamiento de las estaciones base y teléfonos móviles, así como consejos sobre el uso de estos últimos.

Aparte del informe anual, tanto por el Ministerio de Sanidad y Consumo como por el Ministerio de Ciencia y Tecnología se elaborarán documentaciones básicas divulgativas sobre los estudios de los campos electromagnéticos y las características de emisión de las estaciones.

### **REGISTRO DE ESTACIONES BASE Y EMPLAZAMIENTOS:**

El Ministerio de Ciencia y Tecnología dispone actualmente de este registro, que irá adecuando y aumentando para proporcionar la información necesaria. Parte de la misma será remitida al Ministerio de Sanidad y Consumo según se recoge en el reglamento.

La información a suministrar será regulada por Ordenes Ministeriales.

### **DEFINICION DE PROTOCOLO DE MEDIDAS:**

En la actualidad es necesario establecer y definir un protocolo de medidas. Se está efectuando a nivel internacional, por parte de diferentes grupos de trabajo. Deberá garantizar fiabilidad y rapidez, ya que el número de mediciones a realizar es importante,

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

teniendo en cuenta que las certificaciones de instalaciones en medios urbanos irán acompañadas de medidas.

Las medidas hay que realizarlas en las zonas accesibles a público en general, para caso peor (considerando las zonas de máxima reflexión)

El protocolo se contempla en dos fases:

- 1.- Niveles medidos con sonda isotrópica presentando valores muy bajos respecto a los que establece el Real Decreto, que serán dados por válidos.
- 2.- Medidas que superen los valores anteriores, siendo necesario utilizar analizador de espectro o receptor selectivo y extrapolar al máximo número de canales, midiéndose los campos eléctricos y magnéticos ni no hay seguridad de que la medida se haya efectuado en campo lejano.

El protocolo de medidas será establecido vía Orden Ministerial

#### **FOMENTO DE INVESTIGACION:**

Por parte del Ministerio de Ciencia y Tecnología se hará un especial apoyo a los proyectos de investigación sobre los efectos de las emisiones radioeléctricas, como por ejemplo los presentados en el Programa de Fomento de la Investigación Técnica (PROFIT)



## **La Percepción y Comunicación del Riesgo de las Ondas Electromagnéticas.**

**Elena Ordaz Castillo\* y Francisco Marqués Marqués\*\***

\*Técnico de Gestión de OO.AA del Ministerio de Sanidad y Consumo. \*\*Director de la Escuela Nacional de Medicina del Trabajo. Fac. Medicina. Univ. Complutense. 28040 Madrid. Instituto de Salud Carlos III. Ministerio de Sanidad y Consumo.

### **Resumen y Conclusiones**

El riesgo ocupa un lugar relevante en los debates de la sociedad actual. Siguiendo el ritmo de las inquietudes que emergen a nivel global respecto de temas como la supervivencia y la contaminación ambiental, la electropolución ha adquirido gran importancia, tanto en discusiones científicas como públicas

Las líneas de alta tensión, la telefonía móvil, y en general, los campos electromagnéticos, están en el centro de la polémica aunque ni siquiera los científicos son capaces de llegar a una conclusión. La controversia acerca de los efectos de la exposición a campos electromagnéticos sobre la salud lleva con nosotros casi 30 años. A los CEM se les ha atribuido una gran variedad de efectos que van desde alteraciones del comportamiento y la fertilidad hasta un posible efecto cancerígeno.

Los medios juegan un papel importante en la controversia sobre los CEM. Los datos contradictorios son interpretados como una controversia científica y los estudios epidemiológicos son, a veces, malinterpretados, con escaso interés en los resultados negativos y sin prestar atención a la validez del diseño del estudio.

En este trabajo se revisan los aspectos de la percepción del riesgo, y la comunicación, como un aspecto esencial en la correcta gestión de los riesgos ambientales.

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

## Introducción



EL MUNDO

**Figura 1:** Unas líneas de alta tensión.

(<http://www.el-mundo.es/salud/Snumeros/97/S254/S254investigacion.html>)

La sociedad moderna ha asistido en las últimas décadas a un progreso técnico, no imaginable hace apenas unos años. Este desarrollo se ha asociado siempre a diversos peligros y riesgos, tanto percibidos como reales.

Fruto de este vertiginoso desarrollo, la contaminación se ha convertido en un problema a escala planetaria, con consecuencias graves para el medio ambiente y la salud humana.

Por desgracia, en vez de mejorarse en los últimos años, a los contaminantes ya conocidos se ha venido a sumar la

contaminación electromagnética, como subproducto del desarrollo tecnológico masivo basado en la electricidad y las comunicaciones.

Cuando nos referimos a contaminación electromagnética o electropolución, hablamos de la contaminación producida por los campos eléctricos y electromagnéticos, como consecuencia de la multiplicidad de aparatos eléctricos y electrónicos que nos rodean por todas partes, tanto en nuestro hogar como en el trabajo. De esta forma, la población en general se encuentra expuesta de forma cotidiana y continuada (ambiente laboral y doméstico) a la influencia de la contaminación producida como consecuencia de nuestro modo de vida.

Dada la proliferación incontrolada de fuentes de contaminación electromagnética a nuestro alrededor, son múltiples los científicos de renombre internacional que han mostrado su interés por el tema. Así, en el terreno de la investigación son muchos los estudios realizados, aunque no todos han sido diseñados con el suficiente rigor científico.

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)



**Figura 2:** niños jugando cerca de líneas de alta tensión

([http://www.larazon.es/ediciones/antteriores/2001-05-20/noticias/noti\\_soc06.htm](http://www.larazon.es/ediciones/antteriores/2001-05-20/noticias/noti_soc06.htm))

En general los grupos a favor de estas tecnologías tienden a resaltar los resultados negativos de estos estudios, mientras que los opositores hacen lo contrario, advirtiendo decreciente riesgo al que nos vemos sometidos. De entre los efectos adversos publicados podemos destacar la aparición de cefaleas, insomnio, alteraciones del comportamiento, depresión, ansiedad, alergias y mucho más alarmante, la posible relación con el desarrollo de cáncer, enfermedad de Alzheimer, abortos, malformaciones congénitas o leucemia infantil.

Cuando algo tan extendido y tan poco comprendido como es un campo electromagnético muy bajo, se acusa de causar cáncer en niños, las reacciones de la gente pueden estar motivado más por la pasión que por la razón.

La preocupación por este tema comenzó en Denver, Colorado, cuando unos investigadores se preocuparon por unos casos de cáncer en niños y

creyeron que la causa era vivir cerca de líneas de alto voltaje. El análisis se publicó en 1979 y se basaba en la configuración de los cables de alto voltaje y en la distancia de las casas a las líneas de tensión, pero no en la medición directa de la exposición a los campos magnéticos, El informe denotó que el riesgo de leucemia en niños era más del doble entre los pequeños que vivían cerca de estos lugares. Esto desató el temor y se empezaron a realizar más estudios.

Al mismo tiempo, los activistas y los medios de comunicación comenzaron a extender la noticia de que los campos electromagnéticos de frecuencia baja, que es la que genera la corriente eléctrica de las líneas de alta tensión, provocaban cáncer.

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

Fruto de esta preocupación creciente por la electropolución han surgido distintas propuestas de actuación. Ya en 1994 el Parlamento Europeo invitó a la Comisión a elaborar una normativa con el objeto de limitar la exposición de los trabajadores y del público en general a la contaminación electromagnética. En 1997, la Comisión Europea publicó una propuesta de un Programa de Acción comunitaria 1999-2003 sobre enfermedades relacionadas con la contaminación en donde se incluía la contaminación electromagnética. Desde el punto de vista normativo la Unión Europea ha promulgado una serie de directivas de prevención de los trabajadores frente a la contaminación electromagnética, a la seguridad de los productos y sobre la evaluación de impacto ambiental de ciertos proyectos.

Consciente de la creciente preocupación social de la población y de la existencia de regulaciones de ámbito nacional promulgadas por algunos Estados Miembros y del vacío existente en otros, la Comisión Europea acordó una serie de recomendaciones en materia de electropolución (1999/519/CE)

De mayor envergadura es el proyecto CEM (de campos electromagnéticos), iniciado en 1996 bajo los auspicios de la *Organización Mundial de la Salud* (OMS) para evaluar los efectos biológicos y los posibles riesgos sanitarios de la exposición a campos electromagnéticos. Este proyecto se coordina desde la sede de la OMS en Ginebra, Suiza y en él participan más de 40 países y siete organizaciones internacionales: Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC), Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), Comisión Europea (CE), Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (CIPRNI), Oficina Internacional del Trabajo (OIT), Organización del Tratado del Atlántico del Norte (OTAN), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). En un principio, se estableció una duración mínima de cinco años a lo largo de los cuales la OMS ha recogido más de 25.000 artículos publicados sobre este tema. Sin embargo las conclusiones finales no se harán públicas hasta el año 2005-2006, dada la gran complejidad del tema, la controversia suscitada y las enormes contradicciones encontradas.

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

Los que sostienen que sí son peligrosas se apoyan en rigurosos estudio. En Suecia, un país cuidadoso del ambiente y con gran participación de las comunidades, el asunto de las líneas de alta tensión y la salud humana ha sido relevante y varios investigadores han tratado el asunto. El trabajo de Feychting & Ahlbom (1993) del Instituto Karolinska ( Estocolmo), consideró a menores de 16 años que hubieran vivido por lo menos un año a no más de 300 m de líneas de transmisión de 200 y 400 kV. Se encontró un aumento en el riesgo para leucemia infantil, proporcional a la radiación magnética, pero no para linfoma ni tumores del sistema nervioso central. No se aumentó el riesgo para todos los tipos de cáncer infantil combinados.

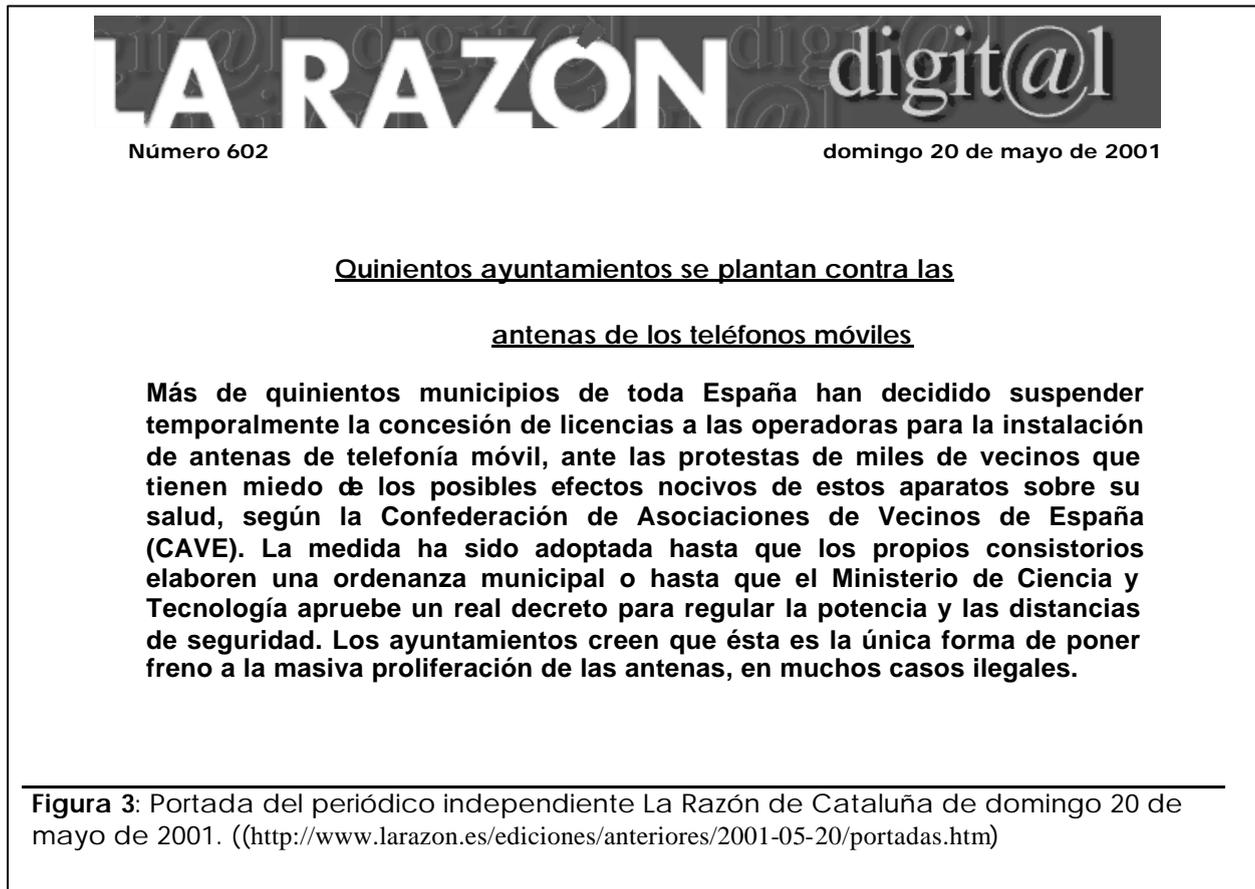
Apareció después la publicación de estos autores sobre el efecto de las líneas de alta tensión sobre posibles patologías asociadas en adultos (Feychting & Ahlbom, 1994). Entre sus hallazgos destaca que para leucemia crónica linfática y para tumores del sistema nervioso central el riesgo relativo fue cercano o menor a uno, lo cual indica que no hay asociación entre CEM y estas enfermedades. En los casos de leucemia mieloide (aguda y crónica) se encontró un riesgo relativo elevado, lo cual señala una probabilidad de que CEM se asocien a esos tipos de cáncer.

La Universidad de Bristol es mucho menos conservadora sobre la postura a adoptar, y así en un artículo publicado por el equipo del Profesor Henshaw (1996), se atribuye a los campos electromagnéticos la capacidad de atraer partículas cargadas de radón y otros cancerígenos y por esa vía favorecer el cáncer de pulmón, si bien apuntan una escasa o nula relación entre leucemia infantil y exposición a campos electromagnéticos

Las compañías de telecomunicación y eléctricas tampoco ofrecen unas pruebas concluyentes. "No podemos asegurar que sean inocuos, lo que sí podemos afirmar es que se lleva 30 años intentando demostrar que los campos electromagnéticos son peligrosos y todavía no se ha conseguido.

A pesar de las contradicciones, es innegable que año tras año aumentan las denuncias populares en contra de los efectos de los CEM. En nuestro país en 1997 un

juzgado de Murcia admitió a trámite la primera demanda contra una compañía eléctrica por daños en la salud de los vecinos de un transformador emisor de campos electromagnéticos. Incluso el Defensor del Pueblo ha tomado cartas en el asunto instando a que se adopten medidas de seguridad para que la población quede exenta de campos electromagnéticos producidos por líneas de alta tensión. Mas recientemente en una publicación del diario La Razón encontramos el siguiente titular:



En resumen, La sociedad está cada día más sensibilizada con estos temas por lo que es evidente la urgente necesidad de información veraz que demanda cada vez con más fuerza la sociedad a fin de defender su derecho a la salud.

### **La percepción de riesgos ambientales por la sociedad**

Antes de adentrarnos en algo tan complejo como es la percepción del riesgo conviene definir el concepto de Riesgo. Así Riesgo es una palabra antigua y de uso común en muchas lenguas. En su uso corriente denota incertidumbre asociada a un evento futuro o a un evento supuesto. Una descripción con sentido común del término riesgo debería incluir las circunstancias que amenacen con disminuir la seguridad, el bienestar social, la salud, el bienestar y la libertad de una entidad determinada. Esta descripción no apunta a definiciones técnicas o específicas del riesgo, pero ejemplifica el rango de aplicaciones que posee ese término y aclara que el concepto de riesgo está estrechamente ligado a valores humanos significativos. Un punto de vista interesante en el debate y en la investigación sobre el riesgo está, por lo tanto, relacionado con la forma en que el concepto de riesgo es utilizado e interpretado. La Tercera Nueva Edición Internacional del Diccionario Webster de 1976, diferencia cuatro significados de riesgo, a saber:

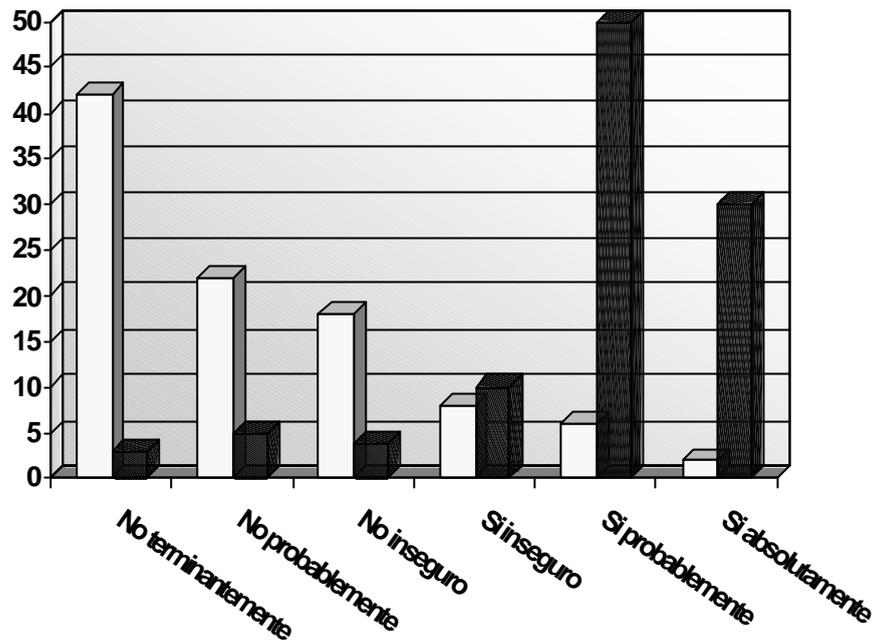
1. Posibilidad de pérdidas, de lesiones, de desventajas o de destrucción;
2. Alguien o algo que produce o sugiere una situación arriesgada o una posibilidad adversa: un elemento o factor peligroso más frecuentemente citado con calificativos para indicar el grado o tipo de peligro;
3. Posibilidad de pérdida o de peligro para el objeto o el asegurado cubierto por el contrato;
4. El producto del monto que podría perderse por la probabilidad de perderlo, comparado con la expectativa

La inquietud social acerca de los efectos en la salud de los campos electromagnéticos procedentes de instalaciones o redes de energía eléctrica o de telecomunicaciones, se ha transformado en descontento y a veces en verdadera ira contra las empresas implicadas y las Administraciones competentes. Esta preocupación no ha cesado de incrementarse, alcanzando actualmente niveles de auténtica generalización territorial, contándose por decenas las asociaciones y plataformas que mantienen pulsos reivindicativos con empresas e instituciones.

No obstante, la historia reciente ha demostrado que la falta de conocimientos sobre las consecuencias de los avances tecnológicos sobre la salud puede no ser el único motivo de oposición social a las innovaciones. Es posible achacarlo también al caso omiso que se hace a las diferencias en la percepción del riesgo, diferencias que no quedan adecuadamente reflejadas en las comunicaciones entre científicos, gobiernos, industria y público.

Se ha encontrado, frecuentemente, que los miembros del público tienen un punto de vista respecto de los riesgos de la tecnología que difiere del punto de vista de los expertos, (Slovic, Fischhoff & Lichtenstein, 1979). Sjöberg (1991) sugirió que, a veces, los expertos desempeñan el rol de promotores de la tecnología y ese puede ser, en parte, el motivo de esa diferencia.

El público a menudo argumenta que los riesgos producidos por la tecnología son grandes e inaceptables, mientras que los expertos no coinciden con esos conceptos. Esto se ilustra en la figura 4, donde se representan datos recientes provenientes de una muestra tomada al azar de la población en Suecia y de una muestra correspondiente a un grupo de expertos. (Sjöberg & Drottz-Sjöberg, 1994). El interrogante planteado fue: los problemas inherentes a la gestión a largo plazo de residuos radiactivos de alta actividad ¿han sido resueltos satisfactoriamente?. Como puede verse en la figura, los expertos y el público tienen puntos de vista completamente distintos en este tema. El público se mostró tremendamente escéptico, mientras que los expertos se manifestaron seguros de que los problemas habían sido resueltos.



**Figura 4:** Gráfica de datos procedentes de una encuesta realizada entre una muestra tomada al azar de la población sueca y de una muestra correspondiente a un grupo de expertos sobre el siguiente interrogante planteado: “los problemas inherentes a la gestión a largo plazo de residuos radiactivos de alta actividad ¿han sido resueltos satisfactoriamente?”

La opinión de los expertos se refleja en barras en negro y la opinión del público encuestado mediante barras claras.

(Sjöberg & Drottz-Sjöberg, 1994)

Para tratar de comprender la percepción del riesgo por la población, es importante distinguir entre peligro y riesgo para la salud

Un peligro puede ser un objeto o un conjunto de circunstancias potencialmente nocivos para la salud de la persona. El riesgo es la probabilidad de que una persona resulte perjudicada por un peligro determinado.

Los primeros estudios relacionados con la percepción del riesgo fueron llevados a cabo por Starr en 1969. Estos ensayos preliminares pusieron de manifiesto la relación existente entre los riesgos causados por la tecnología y los beneficios sociales desde un enfoque de **manifiesta preferencia**, mostrando que los niveles de riesgo estaban en relación con los beneficios: se aceptaban mayores riesgos si los beneficios aumentaban. Starr encontró también que los riesgos que identificaba como **voluntarios** eran más aceptados que los **riesgos involuntarios** aunque fuesen 10-100 veces mayores que estos últimos.

Paul Slovic y sus colaboradores desarrollaron más ampliamente el trabajo iniciado por Starr y encontraron que hay muchos parámetros que pueden usarse para caracterizar al riesgo, y que su aceptabilidad no está sólo dada por sus beneficios y por la aceptación voluntaria. En un primer lugar los resultados mostraron que haciendo un análisis de factores se destacaban tres de ellos de entre un gran número de parámetros tales como el factor **riesgo temido** (que involucra, por ejemplo, catástrofe potencial, temor, falta de control), el factor **riesgo desconocido** (que involucra, por ejemplo, peligros nuevos, no detectables, desconocidos) y el factor **cantidad de los expuestos al riesgo**. Brun (1992) investigó los riesgos causados por el hombre y los comparó con los riesgos naturales. Otros autores engrosaron esa lista y actualmente unos 20 parámetros de la percepción del riesgo han sido identificados (Covello, 1985; Hansson, 1989). La **Tabla 1** ejemplifica sobre los factores comúnmente usados para explicar la percepción del riesgo.

Para dar sólo algunos ejemplos: si un peligro o una actividad peligrosa se consideran raros, científicamente desconocidos o involuntarios, se percibe al riesgo como más alto comparado con el riesgo de situaciones más conocidas y los legos exigen mayor nivel de seguridad para las tecnologías que se encuadran dentro de estas características. Si hay niños involucrados, el riesgo está distribuido heterogéneamente o, si los efectos pueden ser irreversibles, el riesgo percibido aumenta. Es el caso también de eventos adversos que logran amplia difusión en los medios de comunicación masiva y que se tornan, aunque temporalmente, en elementos que captan la atención del público en general, por lo que se ubican alto en la escala del riesgo percibido (Combs & Slovic, 1979). Si hay niños u otras

personas vulnerables involucradas en un accidente o expuestos a un riesgo, la severidad percibida del peligro aumenta. Se producen reacciones similares si se identifica y se presenta a la víctima, en vez de considerársela un número para las estadísticas. El grado de confianza en las autoridades reguladoras, que estiman y mitigan los riesgos, también afecta a la percepción de los mismos.

El enfoque psicométrico ha desempeñado un papel muy importante en la investigación sobre percepción del riesgo y ha generado una considerable cantidad de estudios.

Sjöberg y Winroth (1986), encontraron que el valor moral de una actividad era el factor dominante a tenerse en cuenta en la aceptabilidad del riesgo. Por lo tanto, los riesgos no son aceptables en un sentido absoluto, sino en relación al contexto y a otras consecuencias de la acción, o a las consecuencias de la inacción. Del mismo modo, se podría argumentar que la percepción del riesgo existe dentro de un contexto interactivo de factores específicos, valores, motivaciones, metas y beneficios.

La disponibilidad de la información juega, indudablemente, un rol importante. Se encontró que los riesgos se ponderan como mayores en países con libertad de prensa, mientras que se les da menor importancia en países con prensa controlada. En países que fueron comunistas, donde los medios son actualmente independientes para informar sobre los riesgos locales, el nivel percibido del riesgo parece ser alto.

Se supone, frecuentemente, que un bajo estándar de vida induce a una menor preocupación sobre los riesgos para la salud y del medio ambiente. Sin embargo, esto parece no ser cierto.

En una encuesta sobre inquietudes por el medio ambiente en muchos países, que incluía a varios países pobres y en vías de desarrollo, se encontró que coexistían la pobreza con la preocupación por el medio ambiente (Dunlap et al. 1993).

Otras variables de fondo comunes tales como el sexo, el nivel de educación, el ingreso y la edad, son factores que frecuentemente covarían con la ponderación del riesgo.

Las mujeres, generalmente, evalúan más altos a los riesgos que los hombres y están menos dispuestas a aceptarlos (Sjöberg & Drottz-Sjöberg, 1993). Se han registrado diferencias más altas entre hombres y mujeres cuando los riesgos para el público en general son medidos en comparación con riesgos personales. Las personas con mayor nivel de educación, o aquellas especialmente entrenadas o experimentadas, le asignan menor nivel a los riesgos que el resto de las personas. Las personas jóvenes, particularmente los hombres jóvenes, evalúan a los riesgos en un nivel inferior, comparados con los grupos de más edad. La sensibilidad al riesgo, que sería la disposición individual a reaccionar más fácilmente o más intensamente debido, por ejemplo, a la ansiedad, generalmente se correlaciona pobremente con el riesgo percibido.

Resumiendo, el conocimiento sobre los factores que influyen en la percepción del riesgo puede mejorar la interpretación de los diferentes puntos de vista que surgen en los debates sobre el mismo, mejorar la comunicación sobre los riesgos y facilitar las políticas de acción.

Factor/parámetro	Condiciones hipotéticas para percepciones más altas del riesgo o de la ponderación del mismo
<b><i>Factores relacionados al tipo de peligro</i></b>	
Catástrofe potencial	Capaz de causar un alto número de muertes/lesionados en el tiempo o en relación con un solo evento, en comparación con los riesgos normales
Aceptación voluntaria	Involuntario
Grado de control	Incontrolable
Conocimiento	Poco conocido por el individuo
Incerteza científica	Poco conocido o desconocido para la ciencia
Controversia	Incierta: hay distintas opiniones sobre el riesgo
Temor	Terrible: temor por el tipo de consecuencias
Historia	Recurrente: ocurrencia previa de accidentes
Aparición de los efectos	Repentina: falta de advertencias previas o importantes efectos inmediatos
Reversibilidad	Irreversibilidad: las consecuencias no pueden ser reguladas o remediadas

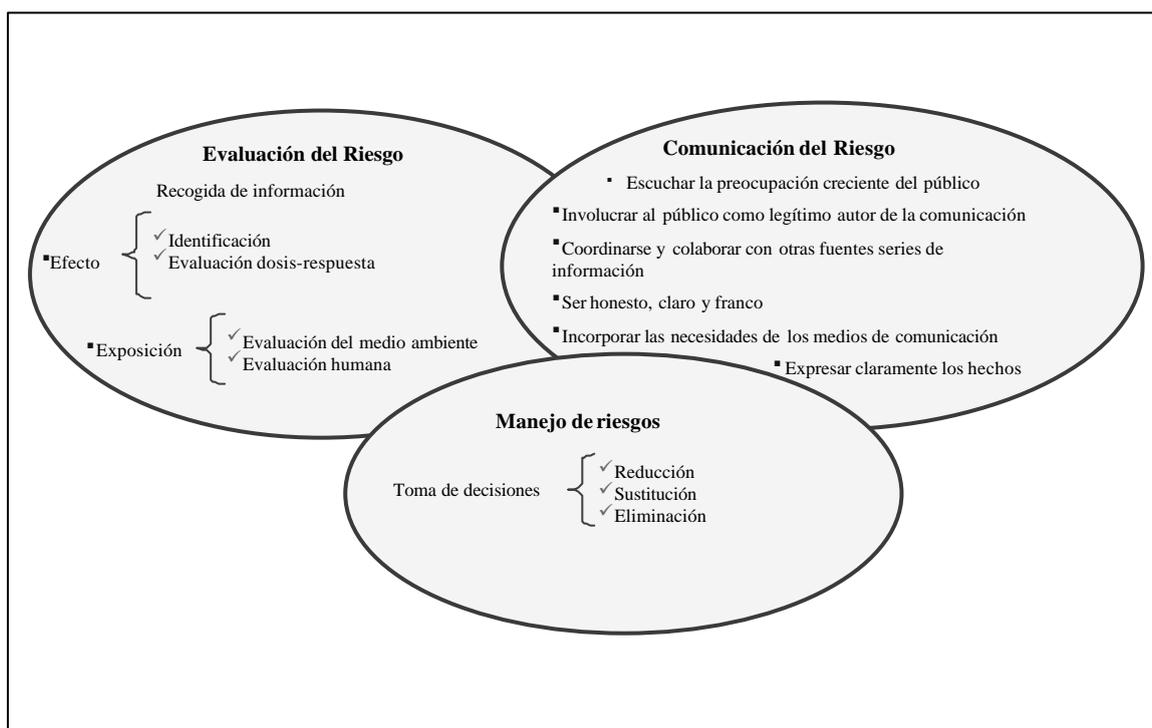
Factor/parámetro	Condiciones hipotéticas para percepciones más altas del riesgo o de la ponderación del mismo
<b><i>Factores relacionados al contexto social</i></b>	
Equidad	Basada en la injusta distribución de riesgos y beneficios
Beneficios	Incertidumbre respecto a beneficios
Confianza	Dirigida o estimada por autoridades o expertos no fiables
Disponibilidad de la información	Se percibe la información no fiable o insuficiente, los rumores crecen en importancia
Niños involucrados	Abarca a niños o fetos
Generaciones futuras	Afecta a futuras generaciones en forma injusta o irrevocable.
Identidad de la víctima	Causa daño a alguien conocido o querido
<b><i>Factores relacionados con el contexto sobre el riesgo o las ponderaciones</i></b>	
Blanco del riesgo	Ponderaciones de los riesgos para otros y no para uno mismo
Definición del riesgo	Énfasis sobre las consecuencias en contraste con las probabilidades
Marco contextual	Estrechamente relacionado en el tiempo con un experiencia personal negativa o con un situación que induce a una mala disposición
<b><i>Factores relacionados con características individuales</i></b>	
Género	Las mujeres expresan más alta percepción de riesgo que los hombres
Educación	Personas de menor educación expresan generalmente estimaciones más altas
Edad	Las personas mayores expresan generalmente estimaciones más altas
Ingreso	Las personas de menores ingresos expresan generalmente estimaciones más altas
Sensibilidad psicológica	Las personas más ansiosas expresan generalmente estimaciones más altas
Habilidades personales	Las personas que no tienen conocimientos o entrenamientos sobre riesgos expresan generalmente estimaciones más altas
<p><b>Tabla I:</b> Factores generalmente utilizados para explicar la percepción del riesgo</p> <p>“la Percepción del Riesgo” edición 16 (Lennart Sjöberg y Britt-Marie Drotz-Sjöberg. Traducción de María R. Huguet )</p> <p><a href="http://www.radioproteccion.org.ar/15-2.htm">http://www.radioproteccion.org.ar/15-2.htm</a></p>	

### La comunicación del riesgo en Salud Pública

De acuerdo con The National Research Council (1989) la Comunicación del Riesgo se define como un “proceso interactivo de intercambio de información y opinión entre individuos, grupos e instituciones que, a menudo, implica múltiples mensajes acerca de la naturaleza del riesgo o expresiones de preocupación, opiniones o reacciones frente a mensajes de riesgo, así como acuerdos legales e institucionales para la gestión del riesgo”.

La comunicación del riesgo es más que el envío de información científica precisa y constituye uno de los elementos básicos en el análisis del riesgo:

*El modelo de tres etapas del análisis de riesgos :(figura 5)*



**Figura 5:** Modelo de tres etapas del análisis de riesgo  
Informe de los paneles de la NAPPO para el periodo 1998/99: Principios y Prácticas para el Manejo del Riesgo (Conrad G. Brunk)  
[http://www.nappo.org/anrep\\_s-16-9899.htm](http://www.nappo.org/anrep_s-16-9899.htm)

1.-Evaluación del Riesgo (Ciencia Pura)

1.1.-Determinar el Nivel del Riesgo

1.2.-Principalmente una Empresa Científica

2.-Manejo del Riesgo (Ciencia Social)

2.1.-Mantener el Riesgo bajo limites aceptables

2.2.-Principalmente una Empresa Política

3.-Comunicación del Riesgo(Ciencia Política)

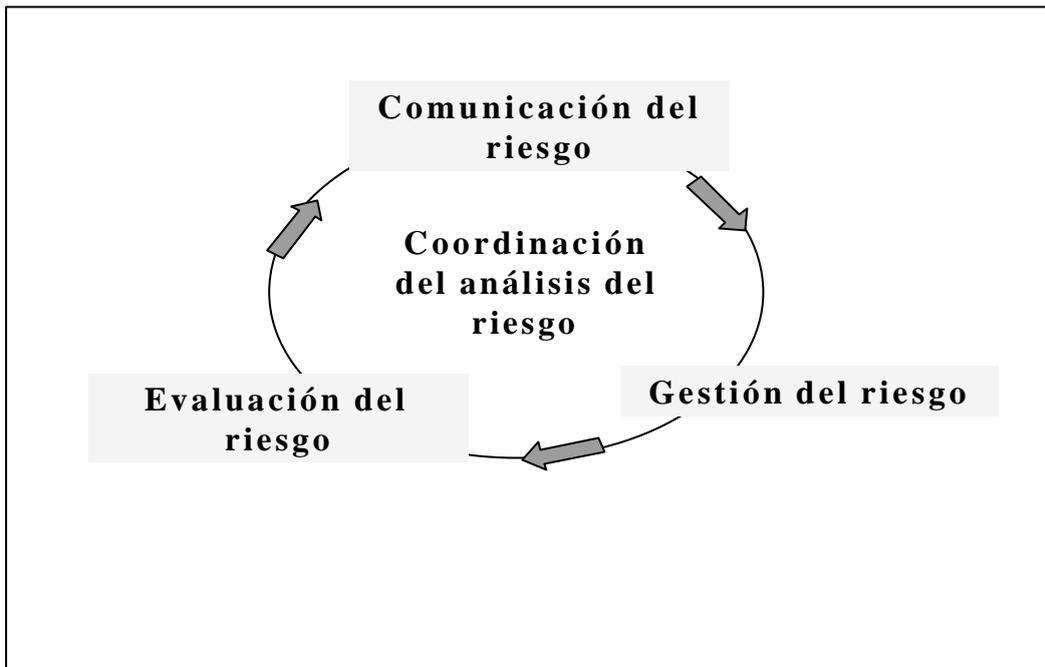
4.-Intercambio apropiado de Información sobre el Riesgo entre los que manejan el Riesgo y el Público

Por otro lado, la Comunicación de Riesgo se puede abordar desde dos punto de vista distintos (Figura 6):

1.- Comunicación del Riesgo como Educación Pública de los que no son expertos: medio por el cual los "expertos" convencen al público de adoptar el punto de vista de "expertos" acerca del riesgo y su aceptabilidad.

2.- Comunicación del Riesgo como un flujo de información de dos vías entre el analista del riesgo y todos aquellos que tienen un "interés" en el proceso (stakeholders, en ingles) lo cual conlleva a:

- elaborar normas de seguridad adecuadas
- fomentar la participación del público y confiar en el manejo del riesgo
- informar y educar al público



**Figura 6:** Modelo del análisis integrado del riesgo integral e interactivo  
Informe de los paneles de la NAPPO para el periodo 1998/99: Principios y Prácticas para el Manejo del Riesgo (Conrad G. Brunk)  
[http://www.nappo.org/anrep\\_s16-9899.htm](http://www.nappo.org/anrep_s16-9899.htm)

Las tareas fundamentales en el proceso de comunicación de riesgos podemos clasificarlas en :

**Tarea 1.- Incorporar en el manejo de riesgo las percepciones que tiene el público, es decir, ¿qué hace que el riesgo sea aceptable por la gente?:**

- a) Expectativa de beneficio importante
- b) El resto de las opciones son aún más arriesgadas
- c) El riesgo se toma en forma voluntaria o se acepta
- d) El riesgo (o peligro) es familiar
- e) Los riesgos y beneficios están distribuidos en forma "equitativa"

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

- f) El riesgo no es parte de una actividad poco ética
- g) El que gestiona el riesgo es digno de confianza

**Tarea 2.- Enviar al público mensajes acerca del riesgo que infundan confianza. El público sospecha acerca de las afirmaciones del "riesgo cero" cuando:**

- a) se perciben incertidumbres en la ciencia
- b) la magnitud del daño se percibe como "catastrófica" o abarca el tema del "terror"
- c) se percibe al que gestiona el riesgo como que tiene un interés en la actividad del riesgo ("productor del riesgo").
- d) no se confía en el que gestiona el riesgo

***¿Cómo se mina la confianza del público en la correcta gestión del riesgo?***

- a) Ignorando las percepciones del público acerca del riesgo y los valores percibidos que están en riesgo.
- b) Escogiendo políticas de evaluación del riesgo que lleven a una subestimación crónica del riesgo.
- c) Tratando de persuadir al público de que sus percepciones de las magnitudes del riesgo y aceptabilidad son erróneas, y de que los expertos tienen la razón.
- d) Haciendo afirmaciones constantes acerca del "riesgo cero."
- e) Dando mensajes contradictorios.

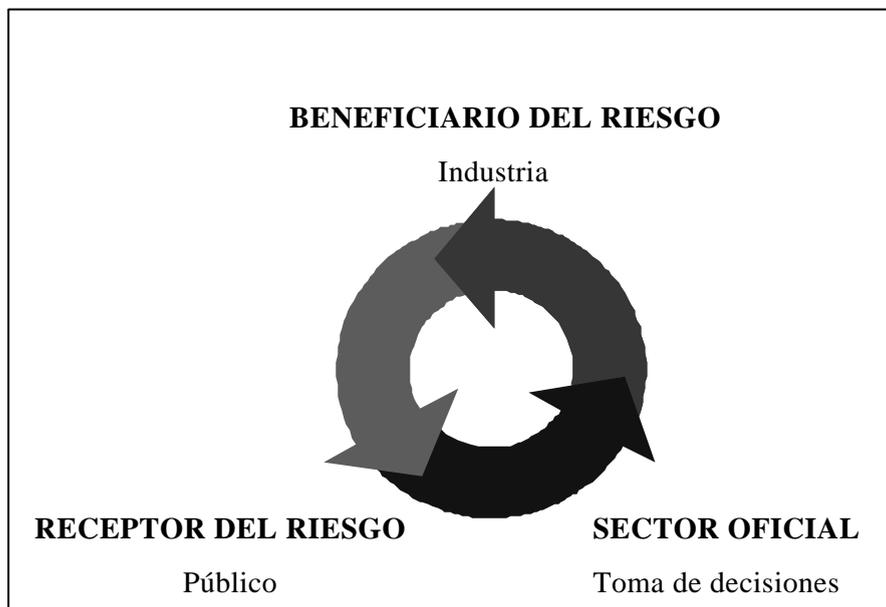
### **Sectores involucrados en el proceso de comunicación de riesgos frente a CEM**

Como ya hemos comentado anteriormente, una parte esencial de la transparencia requerida en el proceso de análisis de riesgo es la comunicación. Esta debe de ser multidireccional hacia todos los sectores involucrados, es decir los beneficiarios de los

avances tecnológicos, industria, los receptores del riesgo, público en general y los expertos y el sector oficial .

Es necesario identificar claramente los sectores involucrados en cada caso. Esto puede llevarse a cabo respondiendo a la pregunta ¿sobre quién recaen los riesgos y sobre quién los beneficios? Es importante que se establezca una estrategia de comunicación con objeto de asegurar que todos los sectores participen y estén informados del proceso de toma de decisiones.

En líneas generales, el diseño de una estrategia de comunicación requiere de un estudio por parte de los comunicadores que evidencie cuál es el conocimiento que tiene el público acerca del tema de interés. Este estudio se denomina *diagnóstico de comunicación* y se realiza con la finalidad de identificar las necesidades de información existentes en un



**Figura 7.** Proceso de comunicación del riesgo (imagen modificada a partir del proceso de comunicación del riesgo en el sector pecuario).

<http://ns1.oirsa.org.sv/Castellano/Di06/Di0601/Pagina0206.html>

grupo de población. Los responsables en el proceso de comunicación del riesgo en cuestión tienen que diferenciar entre la información necesaria y la disponible para la comprensión y orientación de la práctica social de individuos, grupos, estratos, clases, naciones.

La Figura 7 ilustra la importancia de la comunicación en el proceso de análisis de riesgos.

### 1.-Empresas/Industrias

Las empresas eléctricas llevan años realizando investigaciones sobre los CEM. En un primer momento, se centraron en sus posibles efectos sobre los trabajadores que desarrollan su actividad en instalaciones eléctricas. Con el tiempo estas investigaciones se han ampliado a todas las personas que viven o trabajan cerca de estos equipamientos o que usan habitualmente determinados electrodomésticos.

En la actualidad, ninguno de los organismos nacionales o internacionales que ha analizado el conjunto de la literatura científica existente sobre este tema ha dictaminado que los CEM que generan las instalaciones eléctricas tengan efectos nocivos sobre la salud de los seres vivos.

Las empresas eléctricas siguen, no obstante, desarrollando investigaciones en este terreno, dedicando recursos técnicos y humanos a ampliar el conocimiento científico sobre los CEM y a informar a los ciudadanos sobre esta cuestión.

Supongamos por un momento que científicos subvencionados por una empresa demostrasen que la radiación de la telefonía sin cable origina, sin ninguna duda, cáncer. El mero retraso durante 6 meses de esta noticia implicaría mucho dinero. Las empresas no se muestran muy inclinadas a aceptar pasivamente los hallazgos científicos si estos dañan su balance final. Lo que es bueno para la hoja de balance no siempre es bueno para la salud pública. Es indudable que existe un conflicto de intereses que debe ser soslayado a fin de

evitar una ventaja poco conveniente, por no decir perjudicial de los intereses privados sobre los del público en general.

De ahí la importancia de mantener una transparencia en el proceso de comunicación. Las empresas, dada la gran ansiedad que despierta en la población este tema, deben explicar a la población cómo se evalúan y gestionan los riesgos relacionados con la electropolución, así como los resultados de sus estudios de investigación, y desarrollar campañas formativas en relación con la contaminación electromagnética.

En este punto la comunidad científica no está libre de la polémica. Wartenberg & Greenberg (1992), hicieron algunas recomendaciones a los científicos para tratar la comunicación de los riesgos ambientales en radio y televisión:

- Acudir a los medios con dos o tres puntos previamente preparados en contenido y exposición
- Asumir que la audiencia puede tener un buen nivel educativo, pero no conocimientos científicos
- Evitar términos científicos y si se hace explicarlos brevemente.
- No desacreditar otros puntos de vista
- Estar preparado para responder a preguntas personales como ¿estaría usted dispuesto a comprar una casa situada debajo de un tendido de alta tensión?
- Ser cauto en la comparación de riesgos y si se hace, solo comparar fuentes de riesgo percibidas como similares

## 2.-Población, en general

En este apartado, conviene hacer hincapié en las distintas formas que tiene el público de percibir el riesgo, tal y como comentábamos inicialmente y en la distinción que el mismo establece entre riesgo y peligro.

Por otro lado, la preocupación del público también varía. Así, en países como Italia parece centrarse más en los efectos a largo plazo sobre la salud, sin consideraciones sobre el impacto ambiental, mientras que en otros como Gran Bretaña se discute también los aspectos estéticos de la electropolución.

Independientemente de cuál sea la percepción del riesgo a tratar, la sociedad debe conocer las propuestas y los planes relativos a la construcción de instalaciones de campos electromagnéticos que puedan afectar a su salud. Igualmente, y atendiendo a la Ley 38/1995, de 12 de diciembre (BOE 13.12.95) todo ciudadano tiene derecho al acceso a una información veraz en materia de medio ambiente, a facilitar por parte de los poderes públicos. De esta forma, la población en general podrá ejercer algún tipo de control y participar de forma activa en el proceso de toma de decisiones tanto de la Industria como de las Administraciones.

### 3.-Sector oficial

En líneas generales, las Administraciones públicas tienen que asesorar y advertir a los gobiernos de los posibles riesgos asociados a los CEM.

En general, y aunque se están dando avances en ese sentido, nos encontramos ante un gran vacío de normativas de protección de la salud de las personas y del medio ambiente frente a la contaminación electromagnética ocasionada por las infraestructuras de la telefonía móvil.

En España existen 22.000 estaciones-base de telefonía móvil distribuidas por todo el territorio, con mayor concentración en el medio urbano. Esta situación se puede resumir como de carencia absoluta de una ordenación del sector que se ha traducido en la proliferación desordenada y en la concentración de este tipo de infraestructuras en las áreas urbanas como consecuencia de la liberalización del sector de las telecomunicaciones y de la competencia entre las diversas operadoras.

Estos aspectos se han plasmado en quejas de los ciudadanos afectados y no afectados ante la indefensión legislativa, lo que ha impulsado normas legislativas en Cataluña, Zaragoza, Madrid y otras comunidades autónomas.

Las propuestas de actuación para abordar el problema de la contaminación electromagnética se deben dirigir conjuntamente desde las tres administraciones, estatal, autonómica y municipal, aplicando los principios de prevención y de "quien contamina paga" evitando la emisión de contaminantes y minimizando los posibles riesgos ambientales y sanitarios.

No obstante y ante la falta de normas estatales y la presión de los ciudadanos y grupos ecologistas, los ayuntamientos de cientos de municipios españoles han decidido poner orden a la caótica proliferación de antenas de telefonía móvil en los núcleos urbanos y han suspendido la concesión de licencias a las operadoras para instalar estas estaciones base. Par ello, han decidido elaborar ordenanzas que regulen la ubicación de estos aparatos en el único ámbito en el que tienen competencias: el urbanístico. Esta medida adoptada de forma provisional, deberá ser adoptada legalmente tras la reciente aprobación del Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se establece las condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.

### **Los científicos, divididos ante los riesgos de las ondas**

La masiva proliferación de fuentes generadoras de campos electromagnéticos (CEM) en nuestra sociedad, como las líneas de alta tensión, aparatos eléctricos y antenas de telefonía móvil ha generado incertidumbres por los posibles efectos sobre la salud humana de estos campos que hasta ahora los científicos no han despejado. Y es que las contradicciones entre los estudios realizados son muchas. De entre los efectos sobre la salud que se han barajado destacan las cefaleas, insomnio, alteraciones en el comportamiento, depresión, ansiedad, leucemia infantil, cáncer, enfermedad de Alzheimer, alergias y abortos.

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

El Instituto Karolinska estudió a casi medio millón de personas expuestas a los CEM y concluyó que la exposición prolongada incrementa los riesgos de leucemia. Un estudio de la Universidad de Carolina del Norte afirmó que los trabajadores regularmente expuestos a los CEM tienen un índice de suicidio muy superior al resto. El conocido como "Informe Stewart" en el Reino Unido fue realizado por una Comisión de Expertos a petición del Gobierno británico. En sus conclusiones se afirma que si se respetan las distancias de seguridad no hay problemas para la salud humana, aunque aconseja alejar las fuentes generadoras de colegios y hospitales. El Instituto Militar de Higiene y Epidemiología de Varsovia en un estudio con soldados expuestos a radiaciones de microondas (las mismas que utilizan los móviles) confirmó que son más propensos a desarrollar hasta 10 tipos de cánceres. En España, un informe realizado por un grupo de expertos a petición del Ministerio de Sanidad y Consumo español concluye que, si se respetan los límites de seguridad establecidos por la UE, no hay riesgos para la salud. En resumen ¡la controversia está servida!

### **Papel de los medios de comunicación**

Es evidente que los medios juegan un papel importante en la controversia sobre los CEM. La transferencia de la información entre los científicos y el público es a menudo insatisfactoria, y los datos pueden ser distorsionados. Los datos contradictorios son interpretados como una controversia científica y los estudios epidemiológicos son, a veces, malinterpretados, con escaso interés en los resultados negativos y sin prestar atención a la validez del diseño del estudio.

Al analizar los medios de comunicación social y su influencia sobre la opinión pública partimos de un hecho concreto: cada país, cada sociedad, cada cultura y cada etapa histórica son particulares y específicas; por tanto, los modelos presentados difícilmente se dan en estado puro. Podemos hablar de:

- a. Modelo autoritario: Los medios son considerados instrumentos para llevar a cabo la política del gobierno y son características particulares la fuerte censura y la tendencia propagandística.
- b. Modelo liberal: Se considera a los medios como instrumentos para controlar el gobierno, deviniendo en poderosos grupos de presión.
- c. Modelo de responsabilidad social: Quien tenga algo que decir debería poder hacerlo y los medios de comunicación son controlados por la opinión pública, los consumidores organizados y la ética profesional.
- d. Modelo socialista-comunista: El sistema de comunicación es sólo un elemento más de todo el medio ambiente que rodea al individuo.
- e. Modelo desarrollista: Los profesionales de los medios no sólo tienen libertades sino también responsabilidades y el estado tiene derecho a intervenir en las operaciones de los medios de comunicación o a restringirlas.
- f. Modelo democrático participativo: El derecho de acceso y participación de ciudadanos y grupos, rechazo al control burocrático o centralizado, priorización de los medios en función del usuario y no del propietario, los profesionales o los anunciantes, los grupos y organizaciones locales deben contar con sus propios medios, pues las comunicaciones a pequeña escala, interactivas y participativas son mejores que aquellas a gran escala, profesionalizadas y unidireccionales.

En cuanto a los posibles efectos de los medios sobre la opinión pública, atendiendo a criterios de interrelación intencionalidad/ tiempo, podemos hablar de

#### **1.-efectos a corto plazo**

- 1.1.- voluntarios, como una campaña publicitaria o una campaña institucional
- 1.2.- involuntarios, como reacciones colectivas experimentadas simultáneamente por muchas personas, lo que conduce a alguna acción conjunta, generalmente no regulada ni institucionalizada, siendo los efectos más fuertes los de miedo,

angustia y cólera, conducentes al pánico y al desorden civil, como el programa radiofónico sobre la invasión de los marcianos, de Orson Welles.

## **2.- efectos a largo plazo,**

2.1.-voluntarios como la difusión del desarrollo y de las innovaciones con el objeto de fomentar el desarrollo a largo plazo, utilizando campañas, dentro de la concepción de la planificación de la comunicación

2.2.- involuntarios como consecuencia de la acumulación y la omnipresencia de los medios, e indicativos de un cambio en el paradigma de investigación, más centrada ésta en los efectos cognoscitivos, como los efectos en la distribución de los conocimientos y sobre la conciencia variable de los acontecimientos.

La tendencia generalizada postula que los medios, especialmente la televisión, influyen directamente en la audiencia y pueden reflejar y transformar la realidad e influir en el clima de opinión, y como mediadores en el espacio público hacer creer a la población que la imagen que difunden es un reflejo fiel de la realidad, mientras que bien la prensa puede no conseguir la mayor parte del tiempo decir a la gente lo que debe pensar, es sorprendentemente capaz de decir a los propios lectores en torno de qué temas deben pensar algo.

En Gran Bretaña, un grupo de expertos realizó un estudio acerca del tipo de información que recibía la población en relación a los campos electromagnéticos. Para ello, revisaron 641 publicaciones de prensa y aproximadamente 76 programas de radio y televisión durante el periodo comprendido entre enero de 1999 y febrero del 2000. Los resultados hablaban por si solos, así el 79% de las noticias alegaban efectos adversos para la salud de los teléfonos móviles y las estaciones de base mientras que sólo un 9% de ellas manifestaron la falta de rigor científico de los estudios realizados.

En contraposición, grupos ecologistas y plataformas sindicalistas se quejan del silencio que guardan los medios de comunicación en torno a esta tema. Nos enteramos de cualquier avance que se produce en el estudio del genoma humano, clonación de células,

lucha contra el SIDA, etc., en cambio, en el campo de las enfermedades por electromagnetismo se están conociendo nuevos datos casi a diario, pero la divulgación es escasa. Las empresas de telefonía, además de ser muy fuertes económicamente, están muy introducidas en los medios de comunicación, por lo que los intereses de las unas pueden estar supeditados a los de las otras.

### **Conclusión**

La revolución en las comunicaciones es el gran fenómeno de nuestro tiempo. Ya tiene, y previsiblemente se agrandarán en el futuro, efectos muy positivos en el terreno social y económico. Pero es un fenómeno que crece más en sus potencialidades que en el control sobre éstas. Cada día se produce un nuevo avance. La tecnología nos sorprende por minutos. Pero no sabemos si con ella crecen también los riesgos

Las nuevas tecnologías vinculadas a la denominada "sociedad de la información y de la comunicación", en concreto, el desarrollo de la telefonía móvil y de sus infraestructuras de comunicación (antenas y estaciones base) ha obligado a la implantación de este tipo de instalaciones en la mayoría de los municipios de nuestro país tanto en el medio urbano como en el medio rural. Su invento, apenas sospechado hace poco más de una década, ha cambiado costumbres y capacidades de la sociedad. Ha abierto una nueva frontera. Pero su misma rapidez ha hecho que nadie sepa a ciencia cierta si las emisiones electromagnéticas en las que se apoya esta tecnología puedan tener consecuencias nocivas para la salud de los usuarios.

Las previsiones para el futuro prevén nuevas generaciones de teléfonos móviles con nuevos servicios y con el acceso a nuevas prestaciones, que requerirán la utilización de tecnologías más sofisticadas de mayor potencia e implantación territorial.

Estas nuevas tecnologías de CEM añadirán desconfianza y miedo, a la preocupación social ya existente en torno a las líneas de alta tensión a menos que se establezca un sistema eficaz de información a la ciudadanía y unas comunicaciones

eficaces entre los científicos, los gobiernos, la industria y el público. Nos podemos preguntar por qué la regulación no ha sido anterior a la instalación, aunque como antes hemos afirmado, la revolución tecnológica ha sido tan rápida que ha sorprendido a los propios administradores.

Mientras tanto la controversia en torno a los posibles efectos de los CEM, continúa y hasta que no se obtenga una postura de consenso conviene ceñirse al principio de precaución<sup>1</sup> acordado en el Tratado de Maastrich (1993), por el cual los gobiernos: "tienen el deber de tomar acciones preventivas en orden a impedir el daño antes de que se establezca la evidencia científica."

### **Bibliografía**

- ABREU SOJO, Iván (1997). *El estudio de la opinión pública. Espacio público y medios de comunicación social*. Vadell Hermanos Edit. Valencia, Caracas.
- ALVAREZ, Federico (1978). *La información contemporánea*. Edit. Contexto. Caracas.
- BARKE, R.P., JENKINS-SMITH, H.C. *Politics and scientific expertise: Scientists, risk perception, and nuclear waste policy*. *Risk Analysis*, 13 (1993) 425-439.
- BASTIDE, S. MOATTI, J.-P., PAGES, J.-P., FAGNANI, F., *Risk perception and social acceptability of technologies: The French case*. *Risk Analysis*, 9 (1989) 215-224.
- BJÖRKMAN, M., *Decision making, risk taking and psychological time: Review of empirical findings and psychological theory*. *Scandinavian Journal of Psychology*, 25 (1984) 31-49.
- BREHMER, B., *The psychology of risk*. In W.T. SINGLETON & J. HOVDEN (Eds.), *Risk and decisions* New York: Wiley (1987) 25-39.
- BRUN, W., *Cognitive components in risk perception: Natural versus manmade risks*. *Journal of Behavioural Decision Making*, 5 (1992) 117-132.
- COMBS; B., SLOVIC, P., *Newspaper coverage of causes of death*. *Journalism Quarterly*, 56 (1979) 837-843, 849.
- COVELLO, V.T., *Social and behavioural research on risk: uses in risk management decision making*. In V.T. COVELLO (Ed.), *Environmental impact assessment, technology assessment and risk analysis*. Berlin: Springer (1985) 1-14.
- DUNLAP, R.E., GALLUP, G.H., Jr., GALLUP, A.M., *Of global concern. Results of the health of the planet survey*. *Environment*. 35 (1993) 7-39.

---

<sup>1</sup> Véase el artículo de F. Vargas para más información sobre el Principio de Precaución y la Gestión de Riesgos (Nota del Editor).

- DROTTZ-SJÖBERG, B.-M., *Perception of risk. Studies of risk attitudes, perceptions and definitions.* Stockholm: Center for Risk Research, Stockholm School of Economics (1991).
- FEYCHTING & ALHBORM Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines. *Am J Epidemiol.* 1993 Oct 1;138(7):467-81.
- FEYCHTING & ALHBORM Magnetic fields, leukaemia, and central nervous system tumours in Swedish adults residing near high-voltage power lines. *Epidemiology.* 1994 Sep;5(5):501-9. Magnetic fields, leukaemia, and central nervous system tumours in Swedish adults residing near high-voltage power lines.
- FISCHHOFF, B., Acceptable risk: A conceptual proposal. *Risk: Health, Safety & Environment* 1, (1994) 1-28.
- FISCHHOFF, B., SLOVIC, P., LICHTENSTEIN, S., "The public" vs. "the experts": perceived vs. actual disagreements about risks of nuclear power. In V. COVELLO, G.
- FLAMM, J. RODE RICKS, and R. TARDIFF (Eds.), *Analysis of actual vs. Perceived risks.* New York: Plenum (1983).
- GARDNER, G. T., GOULD, L. C., *Public perceptions of the risk and benefits of technology.* *Risk Analysis* 9 (1989) 225-242.
- HANSSON, S.-O., *Dimensions of risk.* *Risk Analysis* 9 (1989) 107-112.
- HENSHAW DL., ROSS AN., FEWS AP. & PREECE, AW. Enhanced deposition of radon daughter nuclei in the vicinity of power frequency electromagnetic fields. *Int J Radiat Biol* 1996; 69: 25-38.
- SJÖBERG, L., DROTTZ-SJÖBERG, B.-M., *Moral value, risk and risk tolerance.* (RHIZIKON: Risk Research Report N° 11). Center for Risk Research, Stockholm School of Economics (1993).
- SJÖBERG, L., WINROTH, E., *Risk, moral value of actions, and mood.* *Scandinavian Journal of Psychology* 27 (1986) 191-208.
- SLOVIC, P., Perception of risk. *Science* 236 (1987) 280-285.
- SLOVIC, P., FISCHHOFF, B., LICHTENSTEIN, S., *Rating the risks: the structure of expert and lay perceptions.* *Environment* 21 (1979) 14-20.
- SJÖBERG, L., *Risk perception by experts and the public.* (Rhizikon: Risk Research Reports N° 4). Center for Risk Research, Stockholm School of Economics (1991).
- SJÖBERG, L., *Perceived risk vs. demand for risk reduction.* In Conference on the Consequences of Risk Perceptions. Center for Risk Research, Stockholm School of Economics (1993c).
- SJÖBERG, L., WINROTH, E., *Risk, moral value of actions, and mood.* *Scandinavian Journal of Psychology* 27 (1986) 191-208.
- SVENSON, O., KARLSSON, G., *Decision-making, time horizons, and risk in the very long-term perspective.* *Risk Analysis* 9 (1989) 385-399.
- VLEK, C., STALLEN, P.J., *Judging risks and benefits in the small and in the large.* *Organizational Behavior and Human Performance* 28 (1981) 235-271.
- WALDRON, J., K.S. *Schrader-Frechette, risk and rationality: Philosophical foundations for populist reforms.* Book Review In: *Ecology Law Quarterly* 20 (1993) 347-369.
- WARTENBERG & GREENBERG. *Epidemiology, the press and the EMF controversy. Public understanding of science* 1992;1(4):383-394
- WEINSTEIN, N.D., *Unrealistic optimism about illness susceptibility: Conclusions from a community wide sample.* *Journal of Behavioral Medicine* 10 (1987) 481-500.

## **Legislación**

Ley 38/1995, de 12 de diciembre, sobre Derecho de acceso a la información en materia de medio ambiente (BOE nº 297, de 13.12.1995).

Recomendación 1999/519/CE del Consejo, de 12 de julio, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos.

Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se establece las condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas

## **Enlaces de interés sobre comunicación de riesgos de los CEM**

Campos electromagnéticos y riesgos para la salud. Folleto UNESA

[www.unesa.es/PDF/camposelectromagneticos5.pdf](http://www.unesa.es/PDF/camposelectromagneticos5.pdf)

Campos electromagnéticos y Salud Pública. O.M.S.

[www.who.int/peh-emf/publications/facts\\_press/fact\\_spanish.htm](http://www.who.int/peh-emf/publications/facts_press/fact_spanish.htm)

V Congreso Nacional de Medio Ambiente

[www.comfia.net/actual/mediambient/electromag.htm](http://www.comfia.net/actual/mediambient/electromag.htm)

Campos electromagnéticos en nuestro entorno. Informe especial UNESA

[www.cofis.es/actividad/publica/informes/unesa.htm](http://www.cofis.es/actividad/publica/informes/unesa.htm)

Campos electromagnéticos y Salud. Informe 05/2001- Parlamento Europeo

[www.europarl.eu.int/stoa/publi/pdf/briefings/05\\_es.pdf](http://www.europarl.eu.int/stoa/publi/pdf/briefings/05_es.pdf)

Comunicación de la Comisión por la que se adopta un programa de acción comunitaria (1999-2003) sobre las enfermedades relacionadas con la contaminación. Comité de las Regiones

[www.cor.eu.int/presentation/down/comm5/spanish/287-97.htm](http://www.cor.eu.int/presentation/down/comm5/spanish/287-97.htm)

Comunidades de propietarios e instalación de antenas de telefonía móvil. Informe jurídico de Soledad Gallego Bernad

[http://www.mediterranea.org/cae/telefonía\\_movil.htm](http://www.mediterranea.org/cae/telefonía_movil.htm)

Non-ionising Radiation

<http://www.nrpb.org.uk/Advice/Nir-is.htm>

Independent Expert Group on Mobile Phones. (The Stewart Report)

<http://www.iegmp.org.uk/>

Informe de los paneles de la NAPPO para el periodo 1998/99: Principios y Prácticas para el Manejo del Riesgo (Conrad G. Brunk)

[http://www.nappo.org/anrep\\_s-16-9899.htm](http://www.nappo.org/anrep_s-16-9899.htm)

“La Percepción del Riesgo” edición 16 (Lennart Sjöberg y Britt-Marie Drotz-Sjöberg. Traducción de María R. Huguet )

<http://www.radioproteccion.org.ar/15-2.htm>

## **Prensa digital**

<http://www.elmundo.es/salud/Snumeros/97/S254/S254investigacion.html>

[http://www.larazon.es/ediciones/anteriores/2001-05-20/noticias/noti\\_soc06.htm](http://www.larazon.es/ediciones/anteriores/2001-05-20/noticias/noti_soc06.htm)

<http://www.larazon.es/ediciones/anteriores/2001-05-20/portadas.htm>

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)



## RESUMEN FINAL Y CONCLUSIONES

### Alejandro Úbeda Maeso

Servicio de Bioelectromagnética. Dpto. Investigación. Hospital Ramón y Cajal. 28034 Madrid.

#### 1. Características distintivas de esta obra.

Como hace notar el Profesor Gil-Lozaga en su Introducción General, este libro posee una serie de peculiaridades que le hacen único en su género. En primer lugar, se trata de la obra más completa en la materia, tanto por su extensión como por la amplitud de sus enfoques, escrita hasta el presente en español. Su publicación en Internet, sin restricciones de acceso, permitirá poner en manos de millones de hispanohablantes información independiente, crucial para la comprensión de cuestiones de salud ambiental que han venido interesando a las autoridades sanitarias y a los ciudadanos, los cuales demandan respuestas concisas y comprensibles a sus preguntas sobre potenciales riesgos derivados de la exposición de la población a radiaciones no ionizantes ambientales. El trabajo se ha escrito usando una terminología y un estilo asequibles a un público con educación media, no científico, al cual está primordialmente dirigida esta obra. Sin embargo, el tratamiento de la materia se ha hecho con el rigor científico-técnico que corresponde a sus autores, por lo que será también de utilidad para lectores más especializados.

Otra propiedad que distingue a esta obra es que nace sobre la premisa de máxima libertad otorgada a los autores para expresar sus puntos de vista sin restricción y sin interdependencias. Para ello, se seleccionó un conjunto de expertos especializados en diversas disciplinas relacionadas con las ciencias biomédicas, la gestión de riesgos ambientales y la física de las radiaciones no ionizantes. Se proporcionó a cada uno de estos expertos un título tentativo sobre las materias que se deseaba incluir en el libro y se les pidió

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

que escribiesen el correspondiente capítulo, con unas indicaciones sobre el formato y la extensión recomendada del texto. Sin embargo, se concedió a los autores libertad para introducir cambios en el título y para decidir sobre la extensión, la estructura del artículo y el formato de las referencias con los que se sintieran más cómodos. Asimismo, se concedió a los contribuidores la capacidad de elegir el enfoque de su texto, de forma que podrían, si lo consideraban conveniente para una mejor exposición de sus puntos de vista, tocar materias que estaban específicamente incluidas en otros capítulos. Se advirtió a los autores que la labor de los editores sobre los textos se reduciría a lo estrictamente necesario para garantizar la comprensión de los escritos mediante correcciones tipográficas o identificación de errores particularmente notorios. En consecuencia, los autores serían los únicos responsables de los errores que pudieran contener sus textos, de la veracidad de los datos incluidos y de la ecuanimidad de sus conclusiones.

El resultado es, en opinión de este investigador, un libro original, espontáneo y dinámico, de un alto valor intrínseco, construido con capítulos que se complementan eficazmente entre sí, pero que no se hacen concesiones mutuas ni son deudores unos de otros. Cada capítulo puede ser leído por separado, como unidad independiente de información, sin necesidad de haber pasado por los que le preceden, ni de leer los que le siguen. El precio obvio: aquella audiencia interesada, que lea el libro completo, encontrará que algunas materias se repiten en diversos capítulos. Por ejemplo, son mayoría los autores que introducen su capítulo con una explicación sobre las propiedades de los campos electromagnéticos (CEM) no ionizantes. Asimismo, pocos son los capítulos que, aun tratando específicamente de campos de frecuencias bajas, no dedican un apartado a los bioefectos de las señales de telefonía móvil, una materia que ha suscitado el mayor interés entre los ciudadanos y los medios. No es cometido de este editor señalar cuáles serían los capítulos que tratan estos dos temas concretos con mayor rigor, cada autor aporta información original y valiosa, de forma que ninguno de los textos puede ser destacado en detrimento de los demás.

Otra de las peculiaridades de una obra con las características citadas es la presencia en algún capítulo de lo que, desde el punto de vista de este editor, serían posibles inconsistencias o pequeños errores, que no son graves y no comprometen la calidad del artículo ni la coherencia de sus conclusiones. Una labor editorial estándar, como la que se ejerce en revistas científicas especializadas, hubiera señalado al autor esos errores con la petición de que los enmendase. Hemos elegido no hacerlo así por las razones expuestas arriba. Estas carencias probablemente pasarán inadvertidas al lector que no esté familiarizado con la materia, y no perjudicarán la comprensión de la obra. La audiencia experta tendrá, por su parte, una oportunidad estimulante de hacer una lectura crítica de unos textos “en su estado puro”.

Lo anterior podría inducir en el lector la idea de que los textos de esta obra no han sido sometidos a revisión editorial alguna o, tal vez, que los trabajos habrían sido aceptados incluso antes de ser entregados al editor. Asumir tal cosa sería un error. Por el contrario, el hecho de saber que sólo se permitirían cambios mínimos sobre la versión original de los manuscritos, ha obligado a los autores a ser particularmente escrupulosos en la redacción de sus textos. De hecho, aquellos manuscritos recibidos que no cumplieron los criterios de calidad inicial exigidos, han sido rechazados directamente y devueltos a sus autores.

## **2. La amplitud del tratamiento**

El tema objeto del libro, ondas electromagnéticas y salud, se ha querido tratar en toda su amplitud. Con ese fin se ha realizado un esfuerzo para contar con la colaboración de expertos en disciplinas que van desde la física de los campos electromagnéticos y las radioondas hasta la investigación en bioelectromagnética. Así, han colaborado en la obra físicos, biólogos, médicos, biofísicos, epidemiólogos o expertos en gestión de riesgos medioambientales. Dados los objetivos del libro, los autores son en su mayoría hispanohablantes. Sin embargo, cuando hemos entendido que alguna de las áreas de interés podría ser enfocada de forma particularmente eficaz por científicos externos al

ámbito español, se ha acudido a ellos. En este caso, los manuscritos originales han sido traducidos personalmente por los editores del libro.

Tal procedimiento ha permitido abordar en esta obra las diferentes facetas de los posibles efectos de las exposiciones a las ondas electromagnéticas. Ente ellas, cabe destacar las siguientes: 1, la física de las ondas; 2, dosimetría y medición; 3, exposiciones en los distintos rangos de frecuencias, desde las frecuencias extremadamente bajas (DC-ELF) hasta las radiofrecuencias (RF) y las microondas (MW); 4, epidemiología del cáncer y de otras enfermedades en grupos expuestos a señales no ionizantes; 5, estudios experimentales en humanos, animales de laboratorio y cultivos celulares, y su interpretación en relación con posibles efectos nocivos de las exposiciones; 6, valoración de los distintos tipos de interpretaciones; 7, evaluación, gestión y comunicación de los posibles riesgos; 8, legislación nacional e internacional basada en la evaluación de riesgos realizada por comités de expertos independientes. Aunque la gran mayoría de los autores pertenecen a universidades o a otros centros públicos de investigación, no se ha querido excluir a expertos que, aun perteneciendo a empresas privadas, han demostrado su autoridad en el tratamiento de algunos aspectos técnicos de la cuestión.

### **3. La disparidad en los enfoques científicos de la cuestión**

La estructura de una obra como la presente, basada en la libertad de expresión de criterios, dudas y certezas científicos, busca la exposición abierta de disparidades en la interpretación que los distintos autores, según su área de experiencia y su enfoque personal de la cuestión, dan a la amplia evidencia científica con la que contamos en el presente. Estas diferencias de criterios y opiniones no constituyen un fenómeno espurio en esta obra ni específico de esta disciplina. Al contrario, la obra ha sido diseñada para poner de manifiesto esas disparidades, que siendo inherentes a todas las ciencias, suelen hacerse particularmente patentes en aquellas materias relacionadas con la biomedicina y la salud pública ambiental y laboral.

## Causas de la disparidad

E. Ordaz y F. Marqués, en su capítulo, hacen un interesante análisis de las diferencias significativas que existen entre el público y los expertos en sus respectivas percepciones sobre los posibles efectos nocivos de las exposiciones a agentes ambientales potencialmente nocivos. El tema, que es abordado también por otros autores en este libro, se analiza con detenimiento en dicho capítulo. Sin embargo, me interesa más en este punto llamar la atención sobre las disparidades entre los propios expertos, que son descritas por F. Marqués y E. Ordaz en términos bastante contundentes.

¿Cómo es posible que existan diferencias entre expertos? ¿Cuáles son las causas de esas diferencias? ¿Quién tiene razón? Son preguntas lógicas que nos plantea con frecuencia el ciudadano interesado. El hecho de que existan discrepancias entre científicos es, no sólo normal en todas las disciplinas científicas, sino obligado y vital para el avance de las ciencias. Esas discrepancias, que en la mayoría de los casos no trascienden el círculo de los expertos y no llegan a ser conocidas por el gran público, en el caso particular de los efectos de las radiaciones no ionizantes han sido, más que aireadas, magnificadas a través de medios de comunicación no especializados.

¿A qué se deben las diferencias de criterios entre distintos expertos? En materias relacionadas con salud pública y agentes ambientales, la evaluación de riesgos requiere del estudio y valoración de una extensa información científica en numerosas disciplinas. Para ello es necesario contar con la ayuda de equipos multidisciplinares, compuestos de expertos en diferentes materias. Es lógico que personas entrenadas en áreas de experiencia distintas mantengan puntos de vista muy diferentes sobre una misma cuestión. A ello habría que añadir las influencias que sus puntos de vista e ideología personales pudieran ejercer inconscientemente sobre los criterios dichos expertos<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Ver en el capítulo escrito por E. Ordaz y F. Marqués, el apartado sobre influencias sociales-económicas educativas, en la percepción de riesgos por parte de los individuos.

En el caso de la presente obra, hemos contado con la colaboración de especialistas en las siguientes áreas: Física e ingenierías, evaluación de literatura científica, evaluación de riesgos, gestión de riesgos, valoración clínica de efectos de radiaciones ionizantes, valoración clínica de problemas de compatibilidad electromagnética, investigadores (experimentadores) en bioelectromagnetismo que han encontrado y publicado respuestas biológicas a CEM débiles, investigadores en bioelectromagnetismo cuyas experimentaciones no han revelado efectos de campos de baja intensidad o potencia. ¿Es sorprendente que expertos con áreas de experiencia tan dispares enfoquen el tema de los bioefectos de las ondas electromagnéticas de formas distintas y lleguen de esa manera a conclusiones que no son idénticas entre sí? Personalmente, entiendo que lo contrario (una homogeneidad en las conclusiones de los distintos expertos) sería no sólo sorprendente, sino sospechoso.

¿En qué consisten, entonces, esas disparidades de criterios entre expertos? Muchos expertos mantienen que sólo pueden darse efectos biológicos en respuesta a exposiciones de alta potencia o intensidad. Se basan para ello en conceptos clásicos, plenamente conocidos por la física actual<sup>2</sup>. Otros expertos aceptan, además, la posibilidad de bioefectos en respuesta a señales de potencias o intensidades más bajas. Se basan éstos en una serie amplia de datos experimentales que, de ser admitidos como válidos, indicarían que nuestros conocimientos actuales de la biofísica son todavía incompletos, ya que esos resultados sólo serían explicables a partir de modelos biofísicos avanzados, todavía no suficientemente desarrollados y contrastados<sup>3</sup>. Esta diferencia apriorística de conceptos determina la forma en que un experto evalúa la evidencia científica. Así, el evaluador que no acepta la posibilidad de respuesta a señales débiles, tenderá, en buena lógica, a interpretar cualquier indicio de ese tipo de respuesta como un artefacto debido a un diseño experimental inapropiado o a un falso resultado positivo producto del azar. Ese evaluador mostrará una propensión a ser más crítico con ese estudio que con otros cuyos resultados

---

<sup>2</sup> Para una descripción de estos criterios, ver el capítulo de A. Hernando. Ver también los capítulos de J. Bernar y de J.E. Moulder.

<sup>3</sup> Véase el capítulo escrito por C.F. Blackman.

estén más próximos a sus tesis, y exigirá de aquél pruebas de fiabilidad más severas. El mismo tipo de actitud, pero con una predisposición en sentido opuesto, podrá darse en un evaluador inclinado a admitir una sensibilidad biológica ante señales débiles. Probablemente, cada experto tomado por separado es, en mayor o menor grado y consciente o inconscientemente, culpable y víctima de ese sesgo apriorístico.

¿Qué pruebas existen de bioefectos de campos débiles? Se pueden encontrar menciones a ese tipo de efectos en varios capítulos de este libro<sup>4</sup>. J. García-Sancho, en su revisión de efectos *in vitro* cita los casos bien descritos de aves migratorias, peces y mamíferos marinos o insectos que se orientan mediante la detección de microdiferencias locales en la intensidad o dirección del campo geomagnético. La naturaleza de este fenómeno, plenamente aceptado, no está determinada todavía.

Otro caso, también citado por tres de los autores<sup>5</sup> que contribuyen en el apartado *Efectos Biológicos de los Campos Electromagnéticos*, es el de la inducción de malformaciones (teratogénesis) en embriones de aves expuestos a señales pulsadas débiles. Es ese un ejemplo que, por ser altamente representativo de las causas de las diferencias de criterios, describiremos aquí en detalle. A principios de la década de los 80, el Departamento de Investigación del Hospital Ramón y Cajal (Madrid) estudiaba la naturaleza (todavía no bien conocida en la actualidad) de los efectos de campos electromagnéticos de frecuencias bajas y señal pulsada con aplicaciones en traumatología y regeneración de tejidos<sup>6</sup>. Uno de los modelos biológicos elegidos era el embrión de aves, por su especial sensibilidad a agentes físicos. En el curso de esos trabajos se constató que la exposición continuada a señales de muy baja intensidad ( $B < 1$  microtesla rms) durante los dos primeros días de su desarrollo inducía en algunos de los embriones malformaciones que, como se demostró en estudios posteriores, eran incompatibles con la supervivencia de los especímenes. La tasa de malformación observada en el grupo expuesto era baja, pero estadísticamente mayor que la encontrada en los correspondientes controles. La

---

<sup>4</sup> Ver, por ejemplo, los capítulos de C.F. Blackman, de P. Gil-Loyzaga y de A. Úbeda.

<sup>5</sup> Capítulos de C.F. Blackman, de J. García-Sancho y de R. Cabo y J. Represa.

publicación de los estudios generó un notable interés en diversos sectores de la comunidad científica, ya que nuestros conocimientos de la biofísica no contemplaban la posibilidad de efectos provocados por señales de frecuencias bajas que tuvieran intensidades inferiores a las decenas de militeslas. Un comentario publicado por aquellas fechas en la revista *Science* decía, refiriéndose a los resultados descritos “el efecto, si es real, podría representar el hallazgo más relevante del último cuarto del Siglo XX”. Dos años más tarde, y en respuesta a ese interés, un grupo de científicos de la US. Environmental Protection Agency (EPA), realizó durante diez días una inspección exhaustiva del laboratorio español y de sus procedimientos y protocolos. A partir de los resultados satisfactorios de esa inspección, la Administración estadounidense puso en marcha el denominado “Henhouse Project”. Un proyecto ambicioso, sin precedentes, dirigido a contrastar los resultados originales. El proyecto, en cual participaron tres laboratorios estadounidenses, uno canadiense y dos europeos, estaba coordinado por la US. EPA. Esta agencia construyó 6 sistemas idénticos de generación y exposición de campos, y los montó en cada uno de los 6 laboratorios participantes. Los parámetros como temperatura, humedad, vibraciones y campo magnético eran registrados permanentemente. Un ingeniero de la EPA se desplazaba de un laboratorio a otro a fin de garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas. Cada laboratorio realizó un total de 10 repeticiones “ciegas” de un experimento estándar, con 10 embriones expuestos a campo magnético y 10 controles en cada repetición. Al final de cada repetición, los laboratorios enviaban sus datos crudos por correo electrónico al laboratorio central, de la US. EPA. Concluida la fase experimental, el laboratorio central hizo analizar el bloque de resultados a un experto independiente.

Los resultados mostraron que, a pesar de que cada laboratorio utilizó sólo un pequeño número de embriones (una media de 90 expuestos y 90 controles en total), dos laboratorios encontraron efectos lo suficientemente robustos para ser estadísticamente significativos por sí solos ( $p < 0,001$  en uno de los casos)<sup>7</sup>. De los restantes laboratorios, tres

---

<sup>6</sup> Ver también el capítulo escrito por P. Gil-Loyzaga.

<sup>7</sup> Las diferencias entre controles y expuestos se consideran estadísticamente significativas cuando  $p \leq 0.05$ . Se considera que las semejanzas entre las muestras comparadas son máximas cuando el valor de  $p$  se aproxima a 1.

encontraron índices elevados de anomalías en sus grupos expuestos, pero las diferencias individuales con respecto a sus controles no alcanzaban las exigencias de significancia estadística ( $p = 0,08$  en uno de los casos). Un laboratorio no encontró diferencias entre su grupo expuesto y sus controles. Según reza el “abstract” del artículo, “Cuando los datos de los 6 laboratorios fueron analizados en su conjunto, la diferencia en la incidencia de anomalías entre los embriones expuestos (25%) y sus controles (19%), aunque pequeña, es altamente significativa ( $p < 0,001$ )”<sup>8</sup>. En consecuencia, los científicos integrantes del proyecto interpretaron sus resultados como una validación definitiva del efecto descrito en los trabajos originales. Desde entonces, al menos una docena de estudios han venido extendiendo los conocimientos sobre las características y condiciones de la sensibilidad del embrión temprano de aves a campos electromagnéticos débiles, de muy bajas frecuencias y de señal pulsada<sup>9</sup>.

Existe en la literatura constancia de resultados que, como los del Henhouse Project, muestran efectos sutiles, pero significativos estadísticamente, en respuesta a CEM débiles. Aunque el mecanismo biofísico que subyace a estos efectos no ha sido identificado satisfactoriamente, esta evidencia no puede ser ignorada; y de hecho, veremos más adelante que no es ignorada en las conclusiones de las revisiones llevadas a cabo por diferentes comités científicos nacionales e internacionales.

¿Quién tiene entonces razón? Hoy no es posible responder a esa pregunta sin decir tal vez que ninguna de las dos opciones es equivocada. De hecho, las respuestas de los sistemas vivos a CEM relativamente intensos de distintas frecuencias, son explicadas con máxima eficacia y capacidad de predicción mediante modelos biofísicos bien conocidos en la actualidad. Ahora bien, según afirma con autoridad el Profesor Antonio Hernando, catedrático y académico, en su correspondiente capítulo de esta obra, “hoy el electromagnetismo es una ciencia cerrada y acabada. Los efectos de los campos

---

<sup>8</sup> Berman y colaboradores (18 autores, en orden alfabético), 1990. Citado por J. García-Sancho y por R. Cabo y J. Represa.

magnéticos sobre la materia, interacciones magnéticas, son perfectamente conocidos (...) La dificultad para explicar sus efectos sobre la salud proviene de la falta de conocimiento suficientemente detallado sobre todos los mecanismos físico-químicos que constituyen la vida (...) No hay que inventar nuevas propiedades de los campos electromagnéticos para justificar su acción sobre lo vivo, más bien hay que profundizar en los mecanismos que gobiernan la marcha de las partículas cargadas, presentes en la célula, para partiendo de las fuerzas bien conocidas de los campos electromagnéticos sobre dichas cargas, explicar su efecto sobre los mecanismos biológicos”.

En efecto, los principales argumentos empleados en contra de los pretendidos bioefectos de los campos no ionizantes débiles se basan en el concepto de *ruido térmico* y en la idea de que sólo campos magnéticos de amplitud suficiente como para inducir en los organismos expuestos corrientes eléctricas netamente más intensas que las propias de tejidos como el nervioso o el muscular, podrían provocar efectos significativos en sistemas biológicos. Estos conceptos, que explican y predicen correctamente los bioefectos de campos intensos, deberían ser revisados (ampliados) con el concurso de nuevos conocimientos en las ciencias biomédicas, si fuera necesario explicar hallazgos empíricos de posibles respuestas a campos menos intensos. Ello contribuiría a confirmar definitivamente la validez de los criterios de seguridad ante exposiciones a campos electromagnéticos ambientales y, lo que pudiera ser más importante, a profundizar en el conocimiento científico de fenómenos con potenciales aplicaciones en terapia por radiaciones electromagnéticas no ionizantes<sup>10</sup>.

¿Hasta que punto son importantes estas discrepancias cuando hablamos de efectos sobre la salud? En ese caso, las discrepancias entre criterios científicos podrían ser de escasa relevancia. Si retomamos el ejemplo de los resultados del *Henhouse Project* y sus implicaciones en materia de salud pública, encontramos que: 1) La señal pulsada empleada

---

<sup>9</sup> Una comparación entre mi descripción de estos trabajos y las que pueden encontrarse en otros capítulos de este libro puede resultar útil al lector para entender la naturaleza de lo que hemos llamado aquí “discrepancias” entre científicos.

<sup>10</sup> Ver el capítulo escrito por P. Gil Lozaga.

tiene unas características electromagnéticas muy peculiares<sup>11</sup> y no se da en ambientes a los que está expuesto el público en general. En esos ambientes son más típicas las señales de onda sinusoidal. 2) La exposición tuvo lugar ininterrumpidamente durante los dos primeros días de desarrollo de las aves (equivalente a aproximadamente 6 – 7 semanas para el embrión humano). 3) Aunque el efecto ha sido confirmado en embriones de aves mediante varias repeticiones por grupos independientes, distintos trabajos posteriores indican que el embrión de mamíferos no se vería afectado por campos débiles<sup>12</sup>. 4) En su conjunto, la evidencia epidemiológica no muestra una relación causal entre exposición materna a campos débiles de baja frecuencia y pérdida fetal o anomalías en el desarrollo en humanos. En consecuencia, las observaciones de efectos teratógenos inducidos en aves por campos débiles no pueden ser extrapolados a humanos y, por lo tanto, su relevancia en materia salud es como mínimo cuestionable.

Algo similar ocurre para otros resultados obtenidos como respuesta a campos débiles. En general, 1) La respuesta suele ser “específica de especie”: sólo determinadas, especies, sujetos o tipos celulares serían sensibles. 2) Suelen darse fenómenos de reversibilidad del efecto o de adaptación a él. 3) Suelen darse fenómenos de “ventana”: sensibilidad exclusivamente a formas de señal, frecuencias o intensidades muy específicas<sup>13</sup>. 4) Pueden estar implicados fenómenos de resonancia tales que sólo ante parámetros de exposición muy restringidos y en ambientes muy determinados cabría esperar una respuesta de un sistema biológico dado<sup>14</sup>. 5) Muchas de las respuestas positivas se han observado en sistemas celulares (*in vitro*), por lo que su relevancia en materia de salud humana es cuestionable o dudosa.

En definitiva, los bioefectos observados en respuesta a campos débiles no son demostrativos de posibles efectos nocivos para la salud. Además, estos efectos serían regidos por fenómenos biofísicos cuyos principios y modelos de actuación no están

---

<sup>11</sup> Ver los comentarios de C.F Blackman en su capítulo respecto a señales pulsadas.

<sup>12</sup> Ver los capítulos de J. García Sancho y de R. Cabo y J. Represa de este libro.

<sup>13</sup> Ver el capítulo escrito por C.F. Blackman.

<sup>14</sup> Ver el capítulo de J. García Sancho.

suficientemente establecidos. En estas condiciones, la promulgación de estándares de seguridad basados en los citados bioefectos, sutiles y altamente específicos, para cuya comprensión carecemos de modelos contrastados, no parece hoy justificada. La opción lógica, dice J. Bernar en su capítulo, es “legislar en base a lo único sobre lo que se puede legislar: los efectos agudos a corto plazo que son los únicos comprobados y para los que existe un mecanismo a nivel biofísico comprobado”. Así lo han entendido la *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*, el Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea, y otras autoridades sanitarias de diversos países, como Canadá y los Estados Unidos de América<sup>15</sup>. Asimismo, los diferentes Comités que han evaluado posteriormente la evidencia científica reciente entienden que los efectos biológicos inducidos por niveles de exposición débiles (considerados inocuos en las normativas internacionales vigentes) no constituyen indicios de nocividad para humanos. En consecuencia, los Comités<sup>16</sup> concluyen que los estándares internacionales (incluyendo los europeos y los españoles) permiten garantizar la seguridad del público ante la exposición a campos electromagnéticos no ionizantes.

¿Coinciden, en términos generales, las conclusiones de los autores de este libro con las de los citados Comités de Expertos? Anticiparemos que la respuesta es Sí, y lo comprobaremos mediante el siguiente Resumen de las Conclusiones de los Autores que, a efectos de claridad encuadraremos en los cuatro apartados generales que integran la obra:

**Apartado 1: Conceptos Generales y Legislación sobre Ondas y Campos Electromagnéticos:** Los autores a cargo de esta sección hacen una revisión resumida de los principios de físicos y biofísicos del bioelectromagnetismo. En general, estos autores describen el “ruido térmico” y las densidades de corriente del orden de las generadas en procesos fisiológicos (1 – 10 A/m<sup>2</sup>) como límites por debajo de los cuales no se espera

---

<sup>15</sup> Ver los capítulos de J. Bernar y de P. Riu de este libro.

<sup>16</sup> Ver el capítulo de W. Stewart. Ver también, por ejemplo, las conclusiones del Comité de Expertos españoles [www.msc.es/salud/ambiental/home.htm](http://www.msc.es/salud/ambiental/home.htm) y Téléphones mobiles et santé. Direction Générale de la Santé, 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).

encontrar bioefectos de las corrientes inducidas por los campos electromagnéticos de bajas frecuencias. También se explica por qué sólo las radiofrecuencias capaces de incrementar significativamente la temperatura de los tejidos serían susceptibles de inducir respuestas biológicas (térmicas) potencialmente nocivas<sup>17</sup>. Aun así, los autores advierten que es necesario profundizar en el estudio de los mecanismos implicados en la respuesta de biomoléculas cargadas a la acción de los campos electromagnéticos, a fin de explicar correctamente los efectos de estos campos sobre la materia viva.

Este primer apartado contiene también dos cuidadas revisiones, completas y puestas al día, de la legislación sobre exposición del público y de los trabajadores a campos electromagnéticos no ionizantes (J. Bernar y P. Riu), así como un estudio original sobre los niveles de campos de frecuencia industrial (50/60 Hz) que pueden registrarse en ambientes residenciales y ocupacionales (C. Llanos).

Los autores concluyen, en términos generales, que el cumplimiento de la legislación internacional, europea y española garantiza la seguridad de los ciudadanos y de los trabajadores, y que los niveles de los campos no ionizantes registrados típicamente en ambientes residenciales y ocupacionales se encuentran varios órdenes de magnitud por debajo de los límites establecidos por las leyes.

**Apartado 2. Efectos Biológicos de los Campos Electromagnéticos**, con especial atención a efectos de exposiciones ambientales a campos de frecuencias bajas, como los emitidos por electrodomésticos y por sistemas de generación y conducción de energía eléctrica. Dada la complejidad de la materia y la variedad de temas abordados, este es, con diferencia el apartado que integra un mayor número de capítulos. En él se tratan los diversos aspectos de los bioefectos de los CEM de frecuencias bajas y sus posibles repercusiones sobre la salud humana, y se proponen nuevas aproximaciones que cubran las presentes necesidades de investigación adicional. Algunos autores incluyen también

---

<sup>17</sup> Ver también el capítulo escrito por J.E. Moulder.

revisiones de efectos de radiofrecuencias, con atención especial a aquellas que están moduladas a frecuencias bajas. Los estudios epidemiológicos, sobre todo los que investigan una posible relación causal entre exposición a campos intensos de frecuencia industrial y cáncer, son citados en cuatro de los capítulos y en los apéndices añadidos por el editor. En el último capítulo del apartado, F. Vargas resume las estrategias de evaluación de riesgos basadas en la evidencia científica, y las aplica al caso de los efectos de los CEM sobre la salud.

Las conclusiones de las distintas revisiones sobre bioefectos revelan las diferentes aproximaciones de los autores. C.F. Blackman describe respuestas relevantes a campos débiles de bajas frecuencias. El autor muestra cómo parámetros biológicos y electromagnéticos específicos pueden influir en las respuestas de algunos sistemas, y cita modelos biofísicos dirigidos a explicar tales respuestas. En todo caso, advierte el autor: “los resultados (positivos en estudios de laboratorio) se han observado bajo una variedad de condiciones de exposición a CEM que limitan la posibilidad de generalizaciones en tanto los parámetros críticos de exposición no hayan sido establecidos”. Además, “no hay que olvidar que las modificaciones inducidas por CEM en cultivos celulares y en preparaciones moleculares NO son demostrativas de riesgos para la salud...” Blackman sugiere, sin embargo que “los resultados (positivos en estudios de laboratorio) pueden ser de utilidad en la identificación de escenarios de exposición (parámetros electromagnéticos o estado fisiológico del sistema biológico) para examinar estudios *in vivo* y para evaluar datos epidemiológicos” y presenta un análisis comparativo de diversas estrategias de evaluación de la evidencia científica, según el peso que otorgan a los citados datos experimentales positivos.

P. Gil-Loyzaga revisa los efectos de los campos electromagnéticos sobre la fisiología del sistema nervioso, que parece mostrarse particularmente sensible a señales de frecuencias extremadamente bajas (o moduladas a frecuencias bajas), en el orden de las decenas de hertzios. Estos campos se han empleado en pruebas de regeneración de fibras nerviosas y de modificaciones en la actividad electroencefalográfica. En todo caso, dado el

carácter clínico o experimental de los estudios y la especificidad de los parámetros electromagnéticos de exposición, no existen indicios de que las exposiciones a campos de frecuencia industrial, típicos de ambientes residenciales u ocupacionales, provoquen efectos nocivos sobre el funcionamiento del sistema nervioso humano<sup>18</sup>.

Los trabajos de J. Cabo y J. Represa, y de J. García Sancho revisan extensamente la literatura sobre respuestas a señales de frecuencias bajas en modelos celulares y animales. Las revisiones tienen en cuenta los distintos aspectos de la investigación y de su posible relevancia en la evaluación de efectos sobre la salud humana, incluyendo aquellos aspectos relacionados con efectos sobre el sistema nervioso y su fisiología, sobre el desarrollo embrionario o sobre la etiología del cáncer, en células, en animales y en humanos. Los autores dan cuenta de distintos tipos de bioefectos descritos en la literatura, pero concluyen que “pese a que han sido observados en animales de experimentación respuestas y efectos biológicos asociados a exposiciones a CEM, la traducción de dichos efectos biológicos en consecuencias negativas para la salud humana no ha podido aún ser establecida” (Cabo y Represa) o que “no hay evidencia convincente de que la exposición a CEM débiles (< 100  $\mu$ T), a los que está expuesta la población en general, afecte las funciones biológicas” (J. García Sancho). En todo caso, estos autores ponen de manifiesto una serie de carencias en los conocimientos presentes y recomiendan la ampliación de la evidencia experimental en ámbitos que incluyen: la determinación de mecanismos celulares y moleculares de interacción de los CEM, el establecimiento de los parámetros específicos de exposición (intensidad, tiempo, etc.) responsables de respuestas biológicas, profundizar en la investigación de los efectos observados en el sistema nervioso, y despejar las incógnitas sobre una posible influencia indirecta de los CEM en la evolución del cáncer.

En el capítulo correspondiente a O. Bernal y col. estudian las posibles condiciones en las que señales electromagnéticas de diferentes fuentes y frecuencias pudieran causar interferencias en equipos vitales, potencialmente electrosensibles, como marcapasos y

---

<sup>18</sup> Este autor revisa también los efectos de las señales de radiofrecuencias en el sistema nervioso. Sus conclusiones se recogen en el apartado siguiente, sobre Telefonía Móvil y Salud.

desfibriladores. Estas interferencia podrían darse, y llegar a tener consecuencias severas para el portador del dispositivos, en determinados ambientes ocupacionales y clínicos que, si embargo están generalmente bien controlados para impedir ese tipo de accidentes. En lo que se refiere ambientes públicos, los autores concluyen que “la probabilidad de alteraciones en el funcionamiento de dispositivos cardiacos es muy baja, y la posibilidad de que estas alteraciones originen síntomas es aún más baja”. Para evitar tales alteraciones improbables, los autores recomiendan que los usuarios de los implantes citados tomen precauciones básicas, que incluyen “evitar ambientes ocupacionales típicos de industrias siderometalúrgicas y de centrales de producción y distribución eléctrica”, o “la exposición prolongada a sistemas antirrobo y detectores de metales”, entre otras estrategias<sup>19</sup>.

Los estudios epidemiológicos que contemplan la posible relación entre exposición a campos de frecuencias bajas y determinados tipos de cáncer en niños y adultos son tratados, bajo enfoques de profundidad y vigencia diversas, por Blackman, Cabo y Represa, Espinosa y col. y Vargas. Estos últimos autores son los que dedican una mayor extensión de su trabajo a la descripción de los estudios epidemiológicos, y comparan sus conclusiones con las obtenidas en estudios sobre efectos de radiaciones ionizantes (energía atómica, radiación solar ionizante). A fin de proporcionar al lector información más completa sobre algunos de los estudios que se citan repetidamente en los capítulos mencionados, los datos epidemiológicos son ampliados mediante dos *Adenda del Editor* que incluyen: 1) La transcripción de la sección dedicada a epidemiología en grupos expuestos a CEM de frecuencia industrial en el Informe Técnico del Comité Español de Expertos Independientes (Ministerio de Sanidad y Consumo), incluyendo algunas de las conclusiones y recomendaciones relativas al tema. 2) Tabla-resumen de la clasificación de cancerígenos de la *International Agency for Research on Cancer* (IARC, Organización Mundial de la Salud).

---

<sup>19</sup> Estos autores revisan también los efectos de las señales de telefonía móvil en los dispositivos cardiacos. Sus conclusiones son citadas en el apartado siguiente, sobre Telefonía Móvil y Salud.

El capítulo escrito por F. Vargas, cierra el apartado dedicado a Efectos Biológicos de los CEM. Vargas constata la evolución desfavorable en la “percepción de riesgos” derivados de la exposición a CEM por parte de la sociedad. El artículo describe las estrategias actuales en evaluación y gestión de riesgos originados por agentes ambientales químicos o físicos. A partir de la aplicación de las técnicas de EVALUACIÓN DE LA EVIDENCIA a la cuestión de los CEM de frecuencias bajas, Vargas concluye: “Existe evidencia limitada de un riesgo incrementado de leucemia infantil, y de leucemia linfocítica crónica asociada con exposición ocupacional”, pero esa “evidencia epidemiológica (...) es inconsistente, no conclusiva e insuficiente”. Además, “no existe evidencia de asociación con otros tipos de cáncer” y “no se han identificado sistemas mecanicísticos ni evidencia experimental que explique las asociaciones observadas”, por lo que “la probabilidad de que la exposición a los CEM (de frecuencia industrial) sea un peligro para la salud es actualmente pequeña”.

En lo que concierne a la GESTIÓN DE RIESGOS, Vargas explica las condiciones de aplicación del “Principio de Precaución” y, haciéndose eco de las conclusiones del Comité de Expertos Españoles (MSC) recomienda “la aplicación de los estándares europeos” de seguridad, así como “mantener un enfoque preventivo, actualizar la información científica y promover campañas de información ciudadana”.

El artículo concluye que la aplicación de las anteriores recomendaciones y del Real Decreto 1066/2001 “son medidas eficaces para garantizar la salud de los ciudadanos. Sin embargo, las autoridades sanitarias deberán estar al día de los nuevos avances que puedan producirse en el conocimiento de los efectos de los CEM y deberán promover la investigación sobre CEM y salud humana”.<sup>20</sup>

### **Apartado 3. Telefonía Móvil y Salud.**

Esta sección está compuesta por tres artículos. En el primero de ellos, este editor hace una revisión general de la evidencia actual sobre los distintos aspectos en los que la

---

<sup>20</sup> Estas conclusiones se refieren también a efectos de las señales de radiofrecuencias sobre la salud.

exposición a señales típicas de telefonía móvil pudieran afectar a la salud humana, incluyendo: niveles de exposición en las proximidades de las fuentes, influencia de las exposiciones sobre la etiología del cáncer, sobre la electrogénesis cerebral, la síntesis y liberación de hormonas y sobre factores neurológicos o psicosociales. También se trata la cuestión de la compatibilidad electromagnética y del riesgo de accidentes de tráfico. Se incluyen en este capítulo dos tablas-resumen de estrategias para la prevención de posibles riesgos o de percepciones de riesgo.

El siguiente capítulo, por J.E. Moulder, se enfoca específicamente en los efectos de las RF en general, y de la telefonía móvil en particular, en la inducción y desarrollo del cáncer. Dado que hasta la fecha éste ha sido el más investigado de los posibles efectos de las RF sobre la salud, el capítulo de Moulder es el más extenso, con diferencia, de los contenidos en la presente obra. En él, el autor hace una revisión exhaustiva de materias que van desde la biofísica de las RF o la epidemiología del cáncer en grupos que viven o trabajan cerca de fuentes emisoras de RF y en usuarios de teléfonos móviles, hasta la evidencia en animales y en células sobre carcinogénesis, genotoxicidad o potencial epigenético de las señales RF.

El apartado se cierra con el capítulo redactado por Sir William Stewart, chairman del Comité de Expertos Británicos, que resume las conclusiones a las que llegó un comité designado *ad hoc* para la valoración de los posibles riesgos derivados del uso de la tecnología de telefonía móvil. El comité está integrado por especialistas en diversas materias que, siguiendo criterios preestablecidos, aplicados para protección ante agentes físicos o químicos ambientales, alcanzaron conclusiones acerca de posibles efectos sobre la salud relacionados con el uso de la telefonía móvil y propusieron estrategias de protección para los ciudadanos. Este texto constituye un excelente ejemplo del tipo de documento generado por un comité de expertos independientes, y sus conclusiones son similares a las obtenidas por otros comités nacionales o internacionales.

Se resumen a continuación las conclusiones de los autores de este Apartado. Para ello, dividiremos la materia tratada en las correspondientes subsecciones:

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)

1. *Niveles de exposición:* Los cálculos sobre modelos matemático-físicos y las mediciones realizadas con teléfonos móviles muestran que una parte sustancial de la energía emitida por el teléfono es absorbida por los tejidos periféricos, lo cual reduce la absorción de esa energía por parte del cerebro. Estos niveles de energía quedan muy por debajo de los establecidos por los límites de seguridad vigentes, sobre todo en el caso de modelos recientes de teléfonos digitales. En cuanto a las antenas de estaciones base urbanas, las mediciones tomadas en viviendas próximas registraron valores de señal del orden de las milésimas a cienmilésimas de los niveles de referencia. A ese respecto, el texto de W. Stewart dice “el Comité (de Expertos Británicos) concluyó que no existe riesgo general para la salud de las personas que viven cerca de las estaciones base ya que las exposiciones se corresponden con pequeñas fracciones de los límites especificados en las normativas...”

2. *Efectos Biológicos:* Dice J.E. Moulder en las conclusiones de su capítulo: “la evaluación biofísica indica que es poco verosímil que las radiaciones RF ejerzan alguna actividad biológica a los niveles de potencia subtérmicos característicos de las exposiciones ambientales,<sup>21</sup> de los consumidores o de la mayoría de los trabajadores.” Sin embargo, esa afirmación no debe ser interpretada como que la evidencia actual permite descartar la posibilidad de bioefectos a niveles subtérmicos. Según W. Stewart “existe evidencia científica que sugiere que puede haber efectos biológicos dentro de los límites establecidos por las Normativas. Esto no necesariamente significa que esos efectos desemboquen en enfermedad o en daño, pero constituyen una información potencialmente importante.”

3. *Carcinogénesis:* Los estudios de laboratorio han proporcionado datos inconsistentes sobre las posibles influencias de las señales de telefonía en las distintas etapas de la inducción y desarrollo del cáncer. Así, Moulder dice en el resumen de su capítulo: “Los numerosos estudios realizados hasta hoy en animales no proporcionan evidencia consistente de que la exposición a radiaciones RF de intensidades no térmicas provoque o promueva el desarrollo de cánceres; y la exposición de células a radiaciones RF con una intensidad que

---

<sup>21</sup> Subrayado por el Editor.

no eleve la temperatura no produce ninguna actividad genotóxica o epigenética consistente." En todo caso, las revisiones de la literatura reflejan problemas en el diseño de algunos estudios, y muestran que algunos aspectos de la carcinogénesis no han sido suficientemente explorados, por lo que se ha recomendado la ampliación de aquellas investigaciones que permitan superar esas carencias. Tampoco los estudios epidemiológicos sobre usuarios de teléfonos, sobre grupos que residen cerca de antenas de radiocomunicación y sobre trabajadores, analizados en su conjunto, han mostrado incrementos en la incidencia del cáncer ligados a ese tipo de exposiciones. De acuerdo con J.E. Moulder, "la evidencia epidemiológica actual sobre una asociación causal entre cáncer y exposición a radiaciones RF es débil o inexistente." También en el caso de la epidemiología muchos de los estudios presentan limitaciones por falta de dosimetría correcta o de controles apropiados, por un tamaño muestral pequeño o por no haber tenido en cuenta potenciales factores de confusión o de sesgo. Dado que la adecuada garantía de una ausencia de efectos cancerígenos requiere datos epidemiológicos libres de las citadas limitaciones, en la actualidad se está realizando un esfuerzo significativo en la ejecución de estudios internacionales cuyos resultados estarán disponibles en los próximos 2-3 años.

4. *Efectos Neurofisiológicos.* Los estudios experimentales realizados sobre voluntarios humanos son descritos por A. Úbeda y por P. Gil-Loyzaga en sus respectivos capítulos. Ambos autores coinciden en señales que existe evidencia de que las señales RF pulsadas, típicas de telefonía móvil, pueden provocar modificaciones ligeras en la actividad eléctrica cerebral o en potenciales evocados auditivos y visuales en sujetos despiertos, y cambios en la duración de algunas fases del sueño en voluntarios expuestos mientras dormían. Estas modificaciones sutiles, cuyo origen térmico parece cuestionable, entran plenamente en el rango fisiológico y son reversibles (desaparecen al eliminar el estímulo). Aunque, como advierte P. Gil-Loyzaga, "en el momento actual no se puede predecir cuál puede ser el resultado, a largo plazo, de la exposición continuada sobre la fisiología cerebral" los efectos observados han sido interpretados más como "indicios de respuestas fisiológicas ante una excitación eléctrica, que como pruebas de potenciales efectos

nocivos capaces de provocar daños permanentes en la salud del usuario” (De Seze, 2000)<sup>22</sup>. De nuevo, solamente la obtención de datos más completos permitirá saber si los efectos observados, a pesar de ser sutiles y transitorios, constituyen indicios de potenciales trastornos o si se trata simplemente de respuestas de adaptación a un estímulo electromagnético.

5. *Efectos neurológicos o psicosociales.* Los resultados de algunas encuestas que mostraban indicios de una incidencia elevada de dolores de cabeza, ansiedad o sensaciones de picor o calor en usuarios de teléfonos móviles, han sido considerados no concluyentes en su conjunto, debido a limitaciones metodológicas importantes, propias de este tipo de estudios. De hecho, los intentos de mostrar en laboratorio una relación causal entre exposición a señales de telefonía y la aparición de los síntomas descritos por sujetos supuestamente “electrosensibles” han fracasado hasta el presente. Y tampoco se ha podido constatar todavía que dolencias similares a las anteriores, que algunos ciudadanos achacan a la proximidad de antenas de telefonía a sus viviendas, tengan su origen en la exposición a las señales electromagnéticas. Aún así, esa sintomatología es causa obvia de inquietud y malestar entre algunos ciudadanos, por lo que diversos estudios en curso están intentando determinar cuáles son las causas reales de tales dolencias.

6. *Compatibilidad Electromagnética.* También O. Bernal y col., en su capítulo de esta obra, describen las causas y efectos de posibles interferencias de las señales de telefonía móvil sobre el funcionamiento de dispositivos cardíacos implantables, como los marcapasos y desfibriladores. A partir de la revisión de la evidencia, se concluye que “la posibilidad de interferencias con dispositivos cardíacos es remota y, en el caso de que se dieran, la probabilidad de que se originen síntomas es muy baja” (O. Bernal y col.). A fin de minimizar riesgos, se recomienda guardar una distancia de seguridad de 15 cm o más entre la antena del teléfono en funcionamiento y el generador del implante, así como procurar aplicar el teléfono al oído contralateral al generador.

---

<sup>22</sup> Citado por A. Úbeda en su correspondiente capítulo en este libro.

7. *Uso del teléfono móvil durante la conducción de vehículos.* Se trata de una práctica habitual, pero ilegal, ya que se ha demostrado que incrementa en 4-5 veces el riesgo de sufrir un accidente. Este incremento del riesgo no se debe a un efecto directo de las señales RF sobre el sistema nervioso, sino a una merma en la capacidad de reacción del conductor por la necesidad de prestar atención simultáneamente a más de una tarea.

8. *Conclusiones generales y recomendaciones sobre prevención de riesgos:* A partir de la información resumida en los puntos anteriores, se pueden obtener las siguientes conclusiones generales<sup>23</sup> “El resultado del estudio de la evidencia existente sugiere que la exposición a radiaciones RF por debajo de las normativas nacional (...) e internacional (ICNIRP) no causa efectos adversos sobre la salud en la población general”. Dado que “existen factores adicionales que necesitan ser tenidos en cuenta para contemplar la posibilidad de un eventual efecto para la salud, que las poblaciones no son genéticamente homogéneas y que pueden existir variaciones en la susceptibilidad frente a riesgos medioambientales (...) es recomendable que se adopte una actitud de precaución en el uso de las tecnologías de telefonía móvil hasta que se disponga de más información detallada y científicamente contrastada...” Las recomendaciones para la prevención de riesgos son enumeradas sucintamente en el capítulo de A. Úbeda, y descritas con mayor detalle por W. Stewart. En efecto, a fin de garantizar la seguridad de los ciudadanos, diversos autores y Comités de Expertos han recomendado la adopción de estrategias de precaución cuyo desarrollo debe estar supeditado a la permanente evaluación de la evidencia científica y a la ampliación de ésta. Ente las citadas recomendaciones destacaremos: La aplicación de la normativa internacional ICNIRP, la planificación y regulación de la instalación de estaciones base, el establecimiento de zonas de exclusión en las inmediaciones de estaciones base (áreas en las que pudieran rebasarse los límites de seguridad), el marcaje de los teléfonos móviles en función del SAR, la promoción de la

---

<sup>23</sup> Tomadas del capítulo escrito por W. Stewart.

investigación en áreas prioritarias, y la liberación de información independiente destinada al público<sup>24</sup>.

**Apartado 4: Telefonía Móvil, Ondas Electromagnéticas y Sociedad:** Este apartado contempla aspectos fundamentales relacionados con las Recomendaciones de los Comités, recogidas en el párrafo anterior: la regulación de instalación de estaciones base (J. Cañadas) y la comunicación de riesgos (E. Ordaz y F. Marqués).

El capítulo de J. Cañadas contiene una selección de artículos del Real Decreto 1066/2001, presentado por los Ministerios de Ciencia y Tecnología y de Sanidad y Consumo, para la “protección del dominio público radioeléctrico (...) y la protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas”. Los artículos han sido seleccionados en virtud de su relación con las emisiones de telefonía móvil. Así, 1) se adoptan los Niveles de Referencia y las Restricciones Básicas propuestos por ICNIRP y CUE para la protección del público ante exposiciones a emisiones radioeléctricas; 2) se establecen las competencias de los citados ministerios en materia de control y protección ante dichos CEM no ionizantes; 3) se establecen los criterios de planificación y ubicación de las instalaciones; 4) se regulan las condiciones de inspección y de evaluación técnica y sanitaria de las instalaciones. Además, se contempla un conjunto de “Acciones Complementarias al Real Decreto” que incluyen: el mantenimiento de un registro (mapa) de estaciones base y emplazamientos, la elaboración de un protocolo para la normalización de mediciones, el fomento de la investigación sobre los bioefectos de las emisiones y la realización de campañas de información dirigidas a los ciudadanos.

En el último capítulo del libro, E. Ordaz y F. Marqués estudian desde una perspectiva amplia las causas de la actualmente alta Percepción del Riesgo respecto a las exposiciones a CEM ambientales, y analizan las circunstancias que han llevado a un rechazo hacia algunas fuentes específicas, como las líneas de alta tensión o las antenas de telefonía, por

---

<sup>24</sup> Los enunciados de estas recomendaciones, transcritos aquí a partir del texto de W. Stewart, coinciden con los de las Recomendaciones del Comité de Expertos Independientes (Ministerio de Sanidad y Consumo). Estas Recomendaciones han sido recogidas en su mayoría en el Real Decreto 1066/2001. Ver el capítulo de J. Cañadas.

parte de determinados sectores de la población. Entre dichas circunstancias, una estrategia inapropiada de la Comunicación del Riesgo ha podido tener un elevado peso y un efecto perverso de menoscabo de la confianza del público hacia los responsables de la Gestión del Riesgo. A este respecto, considero altamente recomendable para estos gestores, pertenezcan a agencias públicas o a compañías privadas, la lectura del pequeño apartado titulado *“¿Cómo se mina la confianza del público en la correcta gestión del riesgo?”* En efecto, una estrategia apropiada de Gestión del Riesgo necesita de una correcta Comunicación del Riesgo, que no ignore como absurdas las percepciones de la magnitud y aceptabilidad del riesgo por parte del público, y que ponga a la disposición de éste información accesible, asequible, independiente y fidedigna. A propósito, el objetivo de esta obra no es otro que contribuir a proporcionar y difundir ese tipo de información. Los autores confiamos en que el ciudadano obtenga algún beneficio a partir de la lectura de este libro; eso satisfaría en buena medida nuestras aspiraciones de servir con nuestro trabajo a la sociedad a la que pertenecemos.

## CONCLUSIONES, RESUMEN FINAL

Sobre la base amplia de nuestros presentes conocimientos, los niveles de seguridad establecidos por ICNIRP, por la Unión Europea y por otros países o estados, como es el caso de España, son suficientes para salvaguardar la salud de la población general ante exposiciones a campos electromagnéticos débiles, como los generados por fuentes típicas de ambientes urbanos o residenciales.

En efecto, ni nuestros actuales conocimientos de la física de la materia viva, ni la evidencia científica, epidemiológica y experimental, de la que disponemos, han aportado pruebas consistentes de la existencia de peligros para la población general derivados de exposiciones a campos de potencias o intensidades débiles, por debajo de los citados límites.

Si se han encontrado, en experimentos de laboratorio, respuestas biológicas a campos electromagnéticos cuyas intensidades entrarían el rango de las consideradas no nocivas por las regulaciones internacionales. Sin embargo, de la evaluación de estas respuestas no se ha obtenido evidencia de efectos adversos para humanos.

Los portadores de dispositivos cardíacos deben estar informados de las circunstancias en las cuales el correcto funcionamiento de sus implantes pudiera verse comprometido a causa de interferencias producidas por algunas fuentes emisoras de CEM intensos.

Existen todavía algunos aspectos de la respuesta biológica a los campos electromagnéticos que deben ser explorados a fin de garantizar plenamente la seguridad en el empleo de las tecnologías de uso actual y de aquellas de las que previsiblemente empezaremos a beneficiarnos en un futuro próximo. Dichos aspectos están siendo investigados en la actualidad.

Es importante, por lo tanto, que la aplicación de las normativas conceda prioridad a la seguridad de los ciudadanos y garantice el estricto respeto a los límites establecidos. Al mismo tiempo, las autoridades responsables de la Gestión de Riesgos ambientales deberán mantener una actitud vigilante y preventiva, promocionar la investigación científica sobre los efectos de los CEM y estar al corriente de los nuevos avances en el conocimiento de la materia.

Esas autoridades deben ser sensibles al interés de los ciudadanos acerca de las exposiciones a campos ambientales. Los ciudadanos deben recibir con puntualidad información veraz e independiente, a fin de evitar tanto riesgos como alarmas injustificadas.

Estas conclusiones no deben ser consideradas definitivas, sino abiertas a futuras modificaciones basadas en la ampliación del conocimiento a través de nueva evidencia científica.

Alejandro Úbeda Maeso  
Servicio de Bioelectromagnética, Departamento de Investigación,  
Hospital Ramón y Cajal  
28034 MADRID

[www.ondasysalud.com](http://www.ondasysalud.com)