

# LAS PROPIEDADES DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS APLICADAS A LA TECNOLOGÍA

## 1. LAS EMISIONES ELECTROMAGNÉTICAS DE LA TELEFONÍA MÓVIL Y LA SALUD

*Eduardo Alonso, Silvia Guzmán  
Telefónica Móviles*

La telefonía móvil hoy en día forma parte de nuestra vida cotidiana. Un reciente estudio realizado por el sociólogo Amando de Miguel sobre el impacto de la Telefonía Móvil en la sociedad española revela que hay más personas dispuestas a prescindir del ordenador o el microondas antes que de su teléfono móvil. Actualmente la tasa de penetración de la telefonía portátil en España alcanza casi al 20% de la población, y las previsiones indican que para el año 2000 se superarán los 20 millones de usuarios, lo que representa la mitad de la población y supera el número actual de teléfonos fijos.

### • EMISIONES ELECTROMAGNÉTICAS

Como es sabido, los sistemas de telefonía móvil utilizan la transmisión de ondas de radio permitiendo la comunicación de sus usuarios desde cualquier lugar que se encuentren o incluso en movimiento. Para satisfacer las necesidades de los usuarios, los operadores deben desplegar una tupida red de estaciones base que proporcione una cobertura con la calidad adecuada. La red Movistar cubre al 99% de la población en el 97% del territorio. Esta alta densidad de estaciones base y el uso generalizado de terminales portátiles ha suscitado en el público la curiosidad sobre los posibles efectos de estas emisiones, tanto sobre la salud como sus posibles interferencias con otros sistemas.

Las ondas de radio son en realidad emisiones electromagnéticas de la misma naturaleza que los rayos, la luz o el calor. Asimismo, existen multitud de aplicaciones domésticas de estas emisiones como la TV, los mandos a distancia, los hornos microondas, etc. La única diferencia entre ellas es la frecuencia y la intensidad utilizada. En el caso de las emisiones producidas artificialmente, existe una extensa normativa tanto a nivel internacional (Comisión Europea, ETSI, CENELEC) como nacional (recogida en el BOE) que establece los límites máximos para la intensidad emitida en cada banda de frecuencias. Así, la potencia máxima utilizada por una estación base de telefonía móvil es de 300 W y de 0,6 W ó 2 W en el caso de los teléfonos portátiles. Estos valores son muy pequeños si se comparan con los 600 W que suelen tener los hornos microondas, los 100.000 – 500.000 W de una estación emisora de TV, o los 2.000.000 W de una emisora de radiodifusión.

## • NIVELES DE EMISIÓN

Antes de entrar en detalles sobre los niveles, es menester aclarar que hay dos tipos de emisiones electromagnéticas, que se distinguen por sus efectos sobre los tejidos vivos y son:

- a) Emisiones ionizantes.
- b) Emisiones no ionizantes.

Las emisiones ionizantes, como su nombre indica, pueden crear iones libres dentro de las células debido a su alta energía, derivada de su elevada frecuencia que está sobre los 2400 millones de MHz. Estas emisiones (rayos X, gamma) son peligrosas y debe controlarse la exposición a las mismas, así como las dosis recibidas. Son bien conocidas, al respecto, las medidas protectoras para el personal sanitario que trabaja con rayos X o los operarios de centrales nucleares.

Debe subrayarse que las frecuencias de operación de la telefonía móvil celular son muy inferiores (en 2,4 millones) a las de las emisiones ionizantes, por lo tanto pertenecen claramente al segundo grupo, esto es a las no ionizantes. Las emisiones no ionizantes no tienen energía suficiente en ningún caso para modificar las moléculas de las células vivas. En función de su frecuencia, cualquier campo electromagnético puede ubicarse en lo que se denomina espectro electromagnético.

Los efectos biológicos de las emisiones dependen del tiempo de exposición y de la tasa de absorción de la potencia radioeléctrica, que se cuantifica en la denominada SAR (Specific Absorption Rate) y se expresa en vatios/kilogramos (W/kg). Como la SAR es difícil de medir en el laboratorio, se utiliza en su lugar la densidad de flujo de potencia de ondas planas que es el valor de la potencia por unidad de superficie (W/m<sup>2</sup>) de la onda. La densidad de flujo, por razones prácticas, suele formularse en mW/cm<sup>2</sup> ó mW/cm<sup>2</sup>.

El documento “Critères de l’hygiène de l’environnement” de la Organización Mundial de la Salud (Organismo de las Naciones Unidas, con sede en Ginebra), contiene las siguientes conclusiones sobre los efectos de la absorción de energía electromagnética por los tejidos:

- a) El efecto principal de las microondas consiste en un calentamiento del objeto irradiado.
- b) Como consecuencia de las características del equilibrio térmico en el organismo humano, es posible admitir una exposición indefinida a una densidad de potencia de 10 mW/cm<sup>2</sup> y una exposición más intensa con una duración más breve.
- c) La formación de cataratas u opacidades del cristalino está excluida para una densidad de potencia inferior a 100 mW/cm<sup>2</sup>.
- d) Consideraciones biofísicas excluyen los riesgos de interacciones entre las ondas y las células nerviosas.

- e) No existe en el hombre ninguna prueba de efectos nocivos por la irradiación de ondas para densidades de potencia inferiores a  $10 \text{ mW/cm}^2$ .

No obstante, como se ha comentado, el tema de los efectos de la exposición a las emisiones no ionizantes sigue investigándose extensamente hoy día. Los resultados disponibles ratifican básicamente, por ahora, las conclusiones anteriores, si bien para mayor seguridad, se han bajado los límites de exposición.

#### • ENTORNOS Y TIPOS DE EMISIONES

Conviene poner de manifiesto que en los estudios radiológicos y para el establecimiento de los límites, se distinguen dos tipos de entornos:

- 1) Entorno controlado, que corresponde a la situación en la que se encuentran las personas que trabajan en áreas sometidas a radiaciones, por ejemplo en centros emisores de radiodifusión y TV u operarios que, ocasionalmente, han de actuar muy cerca de las antenas de emisión. Para estas personas se aplican límites de dosis de radiación en función del tiempo de exposición.
- 2) Entorno no controlado, para el público en general sometido a una radiación permanente. Para estos casos los límites son del orden de la quinta parte de los anteriores.

Cabe, todavía, distinguir dos circunstancias adicionales para la exposición a las ondas electromagnéticas, en función de la fuente de emisión de las mismas:

- 1) Emisión continua o pulsante. La emisión pulsante puede ser intensa en sus picos, pero es discontinua, por lo que el promedio puede ser bajo y menor que una emisión continua.
- 2) Antena fija o rotatoria. Una antena rotatoria (por ejemplo un radar de exploración), sólo radia en una dirección una vez cada vuelta, por lo que aunque emita de forma continua, el efecto en esa dirección es el de una emisión pulsante.

También influye la dirección de llegada de las ondas con respecto a la persona expuesta. La irradiación máxima se produce cuando el frente de onda llega horizontal y perpendicular al cuerpo del individuo que está de pie y es mínima cuando llega vertical. Con una persona acostada ocurre al revés.

#### • VALORES LÍMITES DE EXPOSICIÓN

En las Tablas, se presentan los límites de exposición máximos cuantificados en forma de densidad de flujo de potencia recomendados por diferentes países y Organismos Internacionales para el caso de emisiones no ionizantes, entornos no controlados (exposición permanente) y radiación continua.

País	Límite (mW/cm <sup>2</sup> ) ●
AUSTRALIA	0,45 a 900 MHz 0,90 a 1800 MHz
CANADÁ	1,0
CHECOSLOVAQUIA ●	0,0025
ESPAÑA (INSHT) ●	0,45
ESTADOS UNIDOS (ANSI) ●	0,57
ESTADOS UNIDOS (FCC) ●	0,57
ESTADOS UNIDOS (NCRP) ●	0,57 a 900 MHz 1,0 a 1800 MHz
POLONIA	0,01
REINO UNIDO	0,57 a 900 MHz 1,00 a 1800 MHz

Organismo	Límite (mW/cm <sup>2</sup> )
<b>CENELEC</b> <i>Commite Européen de Normalization Electrotechnique</i>	0,45 a 900 MHz 0,90 a 1800 MHz
<b>ICNIRP</b> <i>International Commission on Non Ionizing Radiation Protection</i>	0,43 a 900 MHz 0,90 a 1800 MHz
<b>IRPA</b> <i>International Radiation Protection Association</i>	0,45 a 900 MHz 0,90 a 1800 MHz

## • CONCLUSIONES DE ALGUNAS INVESTIGACIONES REALIZADAS

Resumimos a continuación los resultados de estudios realizados por Institutos de investigación de reconocido prestigio internacional.

Los resultados de los proyectos terminados, realizados por científicos de la Universidad Técnica de Braunschweig, la Universidad Libre de Berlín y la Universidad de Bonn demuestran, en una serie de pruebas, que no se detectan cambios en la concentración de calcio en las células humanas en las frecuencias de las comunicaciones móviles. El calcio es una de las sustancias más importantes para la acción vital de las células. Tampoco hay indicaciones de mutaciones de genes y cromosomas, lo cual podría inferir un efecto cancerígeno.

También en la Universidad Técnica de Braunschweig, en el Instituto de Biología Humana, en el de Genética Humana y en el Departamento de Citogenética, se puso a prueba si la influencia de ondas de radio incrementa el riesgo de desarrollar cáncer por alguna de las causas conocidas - mutaciones de genes y cromosomas y cambios en el crecimiento celular. Las pruebas se llevaron a cabo sobre sangre procedente de donantes masculinos, sanos, no fumadores entre las edades de 20 y 33 años. Sus linfocitos fueron expuestos, a una temperatura de 37°C, a campos de alta frecuencia de 450 MHz, 900 MHz y 1,8 GHz durante periodos entre 39 y 70 horas. Tras estas pruebas se concluyó que no hay ninguna evidencia de que las ondas electromagnéticas causen daño alguno a las células expuestas.

En el Departamento de Investigación del Hospital Ramón y Cajal de Madrid, Alejandro Úbeda Maeso y María Ángeles Trillo Ruiz, en su artículo publicado en la Revista de la Sociedad Española de Protección Radiológica: "Radiaciones Electromagnéticas Emitidas por Antenas de Telefonía Móvil: Sus efectos sobre la Salud", concluyen que en conjunto, las valoraciones de los resultados obtenidos a partir de los estudios realizados hasta la fecha, coinciden en señalar que no existen evidencias firmes de efectos adversos derivados de exposiciones a RF de niveles inferiores a los establecidos por las normativas vigentes. Se entiende pues, que los temores a posibles efectos nocivos de la exposición a emisiones no ionizantes emitidas por antenas de telefonía móvil carecen de fundamento suficiente. En general, dichos temores se basan en informaciones no contrastadas, que no han sido sometidas al filtro del estudio por parte de los equipos expertos que revisan y evalúan la validez de un trabajo como condición para su publicación en revistas científicas- técnicas especializadas.

En "The American Physical Society", el artículo aparecido en Abril de 1995, y apoyado con un trabajo realizado por David Hafeweister, miembro del Departamento de Física de la Universidad Politécnica del Estado de California, basado en decenas de estudios e informes sobre este tema, la conclusión final de este artículo, es que no existe ninguna conexión científica demostrada entre salud y exposición a campos electromagnéticos producidos por instalaciones y aparatos eléctricos.

## • CONCLUSIONES

Los sistemas de telefonía móvil celular requieren la instalación de estaciones base y antenas en entornos urbanos, cerca de las personas. Los equipos de telefonía móvil utilizan las ondas electromagnéticas como base de su funcionamiento.

Las emisiones producidas por las antenas de telefonía móvil son de carácter no ionizante y los efectos físicos comunicados hasta ahora consisten en un calentamiento del tejido irradiado. Tales efectos únicamente se producen en inmediata proximidad de las antenas.

Numerosos estudios realizados por organismos e instituciones internacionales de reconocidísimo prestigio han demostrado que no existe para las personas ningún tipo de riesgo motivado por estas emisiones, cuyo uso está perfectamente regulado. Los equipos utilizados por Telefónica Móviles cumplen las Normas Técnicas internacionales de calidad y seguridad.

## 2. LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN ELECTRODOMÉSTICOS DE LÍNEA BLANCA

*Fernando José Ramón García*

*Dr. Ingeniero Industrial y responsable del departamento de electrónica y encimeras de inducción de BSH Balay S.A.*

**La mayoría de aparatos electrodomésticos funcionan aplicando ciertas propiedades de los campos electromagnéticos al uso doméstico. La empresa líder del sector en el mercado español, el Grupo BSH (Bosch und Siemens Hausgeräte) con su central en Alemania, lleva muchos años dedicando sus investigaciones a la mejora de la tecnología en electrodomésticos de línea blanca y a estudiar sus posibles implicaciones en la salud o el medio ambiente. Esta multinacional que comercializa sus productos bajo las marcas: Bosch, Siemens, Balay, Crolls, Superser, Lynx, Neff, y Gaggenau vendió 3,9 millones de aparatos en España durante 1998.**

Los electrodomésticos se aprovechan de las propiedades de los campos para producir efectos aplicables en usos domésticos: movimiento en el motor de una lavadora, calentamiento por agitación molecular en el microondas, luz en indicadores, comunicación en mandos a distancia o calentamiento por inducción en cocinas. Son sobradamente conocidas al menos desde el punto de vista práctico la mayoría de estas aplicaciones, sin embargo hemos creído conveniente describir con más detalle las características especiales de las cocinas de inducción electromagnética, por ser uno de los electrodomésticos de más reciente implantación y más desconocidos por la mayoría de los usuarios.

Las cocinas o encimeras de inducción no presentan, a simple vista, diferencias con las cocinas vitrocerámicas de fuegos resistivos puesto que externamente solo se aprecia el cristal vitrocerámico. La diferencia se aprecia en el momento de cocinar y radica en la forma de hacer llegar el calor al recipiente: las cocinas resistivas lo hacen generando calor en una resistencia y haciéndolo llegar al recipiente principalmente por conducción, mientras que las cocinas de inducción envían el calor en forma de radiación electromagnética, que se transforma en calor en el propio recipiente. Podríamos hacer la similitud de enviar un mensaje (el calor) desde un emisor (la red eléctrica) hasta un receptor (el recipiente). En las cocinas de inducción el mensaje se envía por radio y en las resistivas mediante una carta.

Transmitir calor por radiación electromagnética hace que las cocinas de inducción sean mucho más rápidas que las resistivas, la superficie de trabajo (el vidrio cerámico) esté a temperaturas mucho más bajas (también se llaman cocinas de superficie fría) y sean mucho más fáciles de limpiar. La eficiencia energética de las cocinas de inducción es superior a los otros tipos de cocinas y puede apreciarse en la factura eléctrica. Además las cocinas de inducción detectan presencia de recipiente, dejando de funcionar si no está colocado el recipiente en la zona de trabajo.

Las cocinas de inducción electromagnética están formadas por un convertidor electrónico de potencia que transforma la energía de la red (50 Hz) a una frecuencia superior (20-75 kHz). Esta energía se transmite desde una bobina inductora directamente al recipiente a calentar. El campo generado en la bobina se transforma en calor en el recipiente a través de la generación de corrientes inducidas o de Foucault y también por histéresis magnética. Para diseñar los elementos inductores que generan el campo electromagnético, que a su vez genera el calor en los recipientes, se usan programas de ordenador que calculan la distribución de campos electromagnéticos en la geometría deseada. Estos programas resuelven numéricamente (por el método de elementos finitos) las ecuaciones de Maxwell en la geometría de trabajo. En la figura se muestra un ejemplo de aplicación de estos programas en una cocina de inducción.

BSH electrodomésticos fue pionero en 1990 en la introducción de las encimeras de inducción en el mercado español con un desarrollo propio hecho en colaboración con la Universidad de Zaragoza. La fábrica de BSH Balay en Zaragoza es hoy en día centro de desarrollo y fabricación de encimeras de inducción para todo grupo BSH, exportando más del 60% de la producción.

## • CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS Y POSIBLES EFECTOS EN SERES VIVOS

Este es uno de los temas que más polémica, estudios y publicaciones está generando a nivel mundial, dada la falta de datos objetivos concretos. En lo que respecta a aparatos electrodomésticos, existe un grupo de trabajo a nivel europeo en el que se está generando una normativa específica sobre los métodos de medida y los niveles máximos de emisión de campo eléctrico y magnético. Esta nueva normativa, no exenta de polémicas, se está realizando en base a estudios y ensayos médicos y los niveles permitidos de emisión de campo van a depender de la frecuencia de la emisión y de la distancia de medida. Se están barajando distancias cortas de exposición (hasta 30-100 cm). Según datos proporcionados por la "U.S. Environmental Protection Agency", son los aparatos portátiles los que más emisión de campo magnético producen, por ejemplo aspiradores (hasta 18  $\mu$ T) o abrelatas eléctricos (hasta 28  $\mu$ T)

Una vez que entre la nueva normativa, se conocerá con precisión los niveles de campo magnético y eléctrico producido por cada aparato de cada marca. Al igual que ocurre hoy en día con aspectos medioambientales como ruido acústico o eficiencia energética, en un futuro próximo la emisión electromagnética del aparato será un argumento de compra.

Como acciones especiales del grupo BSH electrodomésticos en aspectos de emisión de campo magnético y sus posibles efectos en la salud, se está participando activamente en la elaboración de los procedimientos de medida para la nueva normativa y por otro lado se está incorporando en todos los nuevos desarrollos la reducción de la emisión electromagnética como objetivo de desarrollo.



## • COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA (CEM)

Los aparatos electrodomésticos, que por su funcionamiento generan perturbación electromagnética, son capaces de “convivir electromagnéticamente” con multitud de otros aparatos (otros electrodomésticos, teléfonos, ordenadores, luminarias, emisoras etc.) que a su vez también generan y se ven afectados por los campos electromagnéticos.

La CEM y sus normativas de obligado cumplimiento desde 1996 para todo aparato electrodoméstico estudian y regulan tanto aspectos de emisión de campos por los aparatos como de inmunidad a perturbaciones electromagnéticas producidas por otros aparatos.

Entre los ensayos de inmunidad se simulan desde la posibilidad de caída de un rayo en las cercanías hasta el efecto que producido en un aparato cuando otro aparato o luminaria vecina se conecta o desconecta de la alimentación, ¿quién no ha notado interferencias en radio o televisión al encender o apagar algún aparato cercano?

Como acciones especiales el grupo BSH ha generado una normativa especial propia para sus aparatos, en la que las exigencias de cumplimiento de los distintos ensayos son más severas que la normativa oficial.

### 3. LÍNEAS ELÉCTRICAS Y CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

*Carlos Llanos Lecumberri*

*Técnico del Departamento de Medio Ambiente de REE*

Las líneas eléctricas son indispensables para el suministro de energía eléctrica allá donde sea necesaria. Los campos eléctricos y magnéticos que generan estas líneas han sido objeto de estudio durante décadas por su posible repercusión en el medio ambiente y la salud humana. Sin embargo, hoy en día la conclusión de los comités de expertos y los organismos internacionales es que, teniendo en cuenta toda la evidencia científica disponible, no existe riesgo para la salud pública.

La energía eléctrica es un elemento imprescindible en la sociedad actual. Nuestra vida cotidiana, en el hogar, en el trabajo, en las escuelas, hospitales, etc., depende en gran medida de la electricidad. Sin embargo, y al contrario de lo que sucede con otras fuentes de energía (gas, petróleo, carbón...), la energía eléctrica no se puede almacenar en grandes cantidades. Toda la electricidad que se necesita en un lugar y en un momento determinado tiene que producirse de forma simultánea a cuando se utiliza.

Para ello hay que establecer un equilibrio complicado y permanente entre generación y consumo mediante unas redes de transporte y distribución seguras y fiables, capaces de minimizar las pérdidas y garantizar el suministro a toda la población. Estas redes incluyen toda una serie de equipamientos eléctricos, que incluyen líneas eléctricas, subestaciones, estaciones transformadoras, etc., de diversas tensiones. En España, al igual que en toda Europa occidental, la máxima tensión de las líneas eléctricas es de 400 kV, aunque en otros países existen tensiones superiores (765 kV en Estados Unidos, Canadá o Rusia y 1.000 kV en Japón).

Desde hace más de 30 años se viene especulando con la posibilidad de que los campos eléctricos y magnéticos generados por líneas e instalaciones eléctricas puedan producir efectos nocivos en el medio ambiente y en la salud humana. Las primeras noticias al respecto surgen en la Unión Soviética en los años 60, aunque este tema comenzó a cobrar fuerza a partir de 1979, con la publicación en EE.UU. del primer estudio epidemiológico realizado entre personas que residían cerca de líneas de alta tensión.

La creciente preocupación por la salud humana, y los factores que pudieran influir en ella, hicieron que a partir de esa fecha se hayan llevado a cabo multitud de estudios sobre si la exposición a los campos eléctricos y magnéticos generados por la energía eléctrica podría presentar algún tipo de riesgo para la salud. Alguno parecía sugerir la posibilidad de que la exposición a este tipo de campos incrementa el riesgo de contraer ciertas enfermedades, como tumores cerebrales o leucemia infantil.

Estos estudios reciben una gran atención por parte de los medios de comunicación y de la opinión pública en general, pero lo cierto es que sus resultados no son consistentes ni concluyentes. La inmensa mayoría de los estudios realizados hasta la fecha (y muy en particular los realizados en los últimos años) no muestran evidencias de tal relación.

## • CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Existen diversos tipos de ondas electromagnéticas, tanto de origen natural (el campo estático natural de la Tierra, radiación ultravioleta, luz visible...) como artificial (radio y TV, radares, microondas, los rayos X utilizados en medicina...). La principal diferencia entre ellas es la frecuencia de la onda, que determina tanto la cantidad de energía que transporta como los efectos biológicos que pueden producir en los organismos.

Las líneas eléctricas emiten campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial (50/60 Hz). El hecho de que sea una frecuencia extremadamente baja implica que no tiene suficiente energía para dañar el ADN y originar mutaciones cancerígenas, ni siquiera para generar un calentamiento de los tejidos, como las microondas; aunque sí puede producir otro tipo de efectos biológicos conocidos, como inducir corrientes eléctricas en el interior del organismo.

Su baja frecuencia produce también que el campo eléctrico y el magnético estén desacoplados, por lo que actúan por separado y su intensidad decrece muy rápidamente al aumentar la distancia a la fuente que los genera.

Los niveles de campo eléctrico y magnético generados por una línea de alta tensión dependen fundamentalmente de la tensión y la intensidad de corriente que transporta, así como de otros factores como el número y disposición geométrica de los conductores y su distancia al suelo, etc. Las medidas realizadas en Red Eléctrica siguiendo la metodología aceptada internacionalmente ofrecen como conclusión que los valores máximos de campo eléctrico y magnético generados por una línea de 400 kV en España están en torno a 3-5 kV/m y 3-15  $\mu$ T respectivamente. Sin embargo, a 30 metros el nivel de campo eléctrico oscila entre 0,1 y 1,3 kV/m y el de campo magnético entre 0,2 y 2  $\mu$ T; siendo prácticamente imperceptibles a partir de los 100 metros de distancia.

## • EFECTOS EN LA SALUD

Al evaluar la posible incidencia en la salud de cualquier agente es necesario conocer tanto la dosis, que es la cantidad del agente absorbida por el organismo en un periodo de tiempo determinado, como los efectos biológicos que puede producir en el organismo, tanto de forma inmediata (a corto plazo) como en forma de enfermedades a largo plazo. A continuación se presentan de forma muy resumida las conclusiones de la investigación en sus tres principales aspectos: biofísicos, epidemiológicos y biológicos.

### **Aspectos biofísicos**

Cuando un objeto se sitúa en un campo electromagnético se produce una interacción entre ambos; si el objeto es un organismo vivo lo que hay que dilucidar es si esta interacción puede interferir en el comportamiento biofísico normal del organismo y producir efectos nocivos. En este sentido no se ha podido demostrar un mecanismo que logre explicar cómo unos campos de tan baja frecuencia e intensidad como los generados por las líneas eléctricas puedan producir efectos nocivos a largo plazo en la salud humana; en particular, se puede afirmar que no ejercen una acción directa sobre el material genético y que, por lo tanto, no producen malformaciones o cáncer.

Se conocen diversos mecanismos de interacción entre estos campos y el organismo, pero ninguno de ellos es capaz de explicar los supuestos efectos nocivos que se les ha atribuido a las líneas eléctricas a lo largo de estos años. Entre estos mecanismos se encuentran la percepción de magnetofosfenos, presencia de cargas superficiales,

corrientes de contacto al tocar otros objetos expuestos y la inducción de campos y corrientes eléctricas en el interior del organismo. Estos mecanismos han sido estudiados y evaluados de forma exhaustiva, y han sido descartados como posibles fuentes de enfermedades.

Los únicos efectos conocidos y comprobados derivados de la exposición a campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial son los efectos a corto plazo que se producen cuando la densidad de corriente inducida supera cierto valor umbral. Sin embargo, a las intensidades de campo generadas por las líneas eléctricas, estas corrientes inducidas están muy por debajo de las producidas por la actividad eléctrica natural de origen biológico en el interior del organismo humano, por lo que no suponen ninguna influencia nociva.

Este mecanismo es el que se utiliza para establecer normativas de exposición, ya que densidades de corriente elevadas pueden producir desde efectos biológicos poco significativos hasta pequeñas contracciones musculares y, en casos muy extremos, arritmias, extrasístoles y fibrilación ventricular, pero a intensidades de campo miles de veces superiores a las generadas por las líneas eléctricas.

A lo largo de los últimos años también se han descartado otros mecanismos propuestos para explicar un posible efecto nocivo, como el incremento de temperatura por absorción de energía, rotura de enlaces químicos, alteraciones moleculares, procesos de resonancia, interacción directa con partículas ferromagnéticas presentes en el organismo, incremento de la exposición a gas radón, recombinación de radicales libres, etc.

### **Aspectos epidemiológicos**

La polémica sobre los posibles efectos nocivos de los campos electromagnéticos se ha debido, fundamentalmente, a los resultados obtenidos en algunos estudios epidemiológicos realizados sobre personas que residían cerca de líneas eléctricas, cuya interpretación parcial parecía indicar la posibilidad de que estas personas, sobre todo los niños, tuvieran un mayor riesgo de contraer cáncer. Esta hipótesis fue difundida rápidamente y sin contrastar, lo que generó una inmediata alarma social.

La epidemiología estudia, aplicando métodos estadísticos, si existe algún tipo de asociación entre un determinado agente y una enfermedad. Para ello, se compara la incidencia de la enfermedad en grupos de personas expuestas al agente y grupos de personas no expuestas, teniendo especial cuidado de que los dos grupos sean homogéneos para eliminar cualquier posible factor de confusión.

El estudio realizado en 1992 por el Instituto Karolinska de Suecia, utilizado frecuentemente en campañas contra los tendidos eléctricos, es un claro ejemplo de una mala interpretación de los datos científicos. La inmensa mayoría de los resultados indicaban que no hay un incremento del riesgo de cáncer entre las personas que residían cerca de las líneas de muy alta tensión, en particular no había ninguna relación con cáncer en adultos; tan sólo parecía haber un ligero incremento del riesgo de leucemia infantil, pero únicamente en situaciones muy determinadas.

Por ejemplo, sólo se apreciaba ese ligero incremento cuando la exposición al campo magnético se evaluaba de forma teórica, no cuando se medía realmente; y tampoco existía relación cuando se calculaba el valor del campo magnético 1, 5 ó 10 años antes del diagnóstico de la enfermedad, sólo en el momento del diagnóstico. Pero más desconcertante resulta el hecho de que el riesgo de leucemia era mayor entre los niños que habían residido menos de la mitad de su vida cerca de una línea de alta tensión que entre los que habían residido toda su vida cerca de esas líneas, cuando lo lógico sería lo contrario. Además el incremento del riesgo sólo se detectaba entre personas que residían en viviendas unifamiliares, no en casas de pisos, lo cual es difícil de explicar.

Una deficiencia importante de este estudio es que el número total de casos de leucemia investigados es muy bajo, lo que hace que el estudio no tenga una gran potencia estadística y, por lo tanto, sus resultados sean imprecisos. Los propios autores reconocen esta debilidad y llegaron a afirmar que se había sobreestimado el valor de este estudio, y que incluso aceptando los resultados, si se retirasen todas las líneas de muy alta tensión, no se evitaría ni siquiera un caso de leucemia por año en Suecia.

La citada alarma inicial condujo a la realización de nuevos estudios epidemiológicos con poblaciones mucho más amplias y mejores metodologías de medida de la exposición y análisis de los resultados, destinados a evaluar de forma mucho más precisa la verdadera incidencia en la salud. En este sentido, los estudios epidemiológicos realizados durante los últimos años confirman que los campos eléctricos y magnéticos generados por las líneas eléctricas no suponen un riesgo para la salud pública, ni incrementan el riesgo de leucemia infantil.

Tomando todos estos estudios epidemiológicos en conjunto también se deduce que no cumplen los denominados 'Criterios de Hill', una serie de reglas admitidas por la comunidad científica internacional para evaluar si existe relación entre un agente y una enfermedad. En este sentido hay que destacar que no se cumplen los referidos a la coherencia (no se dan los mismos resultados entre los diversos estudios), fuerza de la asociación (los incrementos del riesgo hallados son muy pequeños, por lo que es mucho más probable que sean debidos a errores), relación dosis-efecto (el riesgo no es mayor al aumentar la exposición) y plausibilidad (no existe evidencia de laboratorio que confirme los resultados epidemiológicos).

Por la amplitud de la muestra, el rigor del método utilizado y sus categóricos resultados deben destacarse los estudios dirigidos por la Dra. Linet, del Instituto Nacional del Cáncer de EE.UU. (1997), y la Dra. McBride, de la Agencia del Cáncer de British Columbia en Canadá (1999), que no han encontrado ninguna relación entre líneas eléctricas y leucemia infantil. Este último estudio ha sido publicado en mayo de este mismo año en la revista *American Journal of Epidemiology*.

### **Aspectos biológicos**

La tercera rama de investigación es la experimentación biológica en laboratorio, ya sea "in vitro", exponiendo células y tejidos a la acción de los campos, o "in vivo", sobre organismos completos. Entre la amplia variedad de experimentos que se han realizado a lo largo de muchos años se encuentran estudios sobre la influencia de los campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial en el proceso carcinogénico, respuesta inmunitaria, cambios en los niveles de la hormona melatonina, variaciones en el flujo de iones a través de la membrana celular, efectos en la reproducción, el comportamiento y desarrollo, alteraciones en el sistema cardiovascular, respuesta de estrés, etc., sin que se hayan detectado evidencias de relación alguna con estos procesos.

## • CONCLUSIONES

1. No se conoce ningún mecanismo por el cual un campo eléctrico o magnético del nivel de los generados por las instalaciones eléctricas de alta tensión o los electrodomésticos puede producir daños en la salud humana o efectos nocivos en animales o plantas.
2. El análisis del conjunto de los estudios epidemiológicos no muestra relación entre los campos eléctricos y magnéticos medidos generados por las líneas eléctricas de alta tensión y ningún tipo de enfermedad. Los estudios epidemiológicos que han informado de una posible relación o bien no son estadísticamente significativos o no miden realmente los valores del campo o no cumplen los Criterios de Hill.
3. Los estudios biológicos no han hallado ninguna evidencia experimental de que la exposición a los campos eléctricos y magnéticos generados por las instalaciones eléctricas o los electrodomésticos sean perjudiciales para la salud.
4. Todos los comités científicos de expertos y organismos internacionales que han estudiado el tema han expresado sus conclusiones coincidiendo en que no existen riesgos para la salud pública. Así lo han hecho, entre otros: ORAU (Universidades Asociadas Oak Ridge, EE.UU., 1992), el Consejo Nacional de Protección Radiológica (Reino Unido, 1992 y 1993), el Instituto Francés de Salud e Investigación Médica (Francia, 1993), la Sociedad Americana de Física (EE.UU., 1995), la Academia Nacional de Ciencias (EE.UU., 1996) y el Instituto Nacional del Cáncer (EE.UU., 1997).
5. También es importante ser consciente de que la ciencia no puede demostrar que algo es absolutamente seguro, no existe ninguna prueba o experimento, ni siquiera un conjunto de ellos, que pueda demostrar de forma absoluta la inocuidad de un producto o agente; lo que sí puede hacer la ciencia es intentar repetidamente encontrar evidencias de que algo es perjudicial para la salud y no conseguirlo. Eso es lo que ha ocurrido en estas últimas décadas en relación a la investigación sobre la incidencia de los campos eléctricos y magnéticos en la salud.

Así pues, la conclusión final ha de ser que según la evidencia científica disponible la exposición a los campos eléctricos y magnéticos generados por las líneas eléctricas no supone un riesgo para la salud pública.

A pesar de ello, las empresas eléctricas de todo el mundo, y de España en particular, son conscientes del interés e inquietud social que genera este tema, por lo que siguen con detenimiento los estudios científicos y procuran mantener informada a la administración y a la opinión pública de sus resultados de forma honesta, mediante la publicación periódica de notas y folletos divulgativos. Es de destacar en este sentido la labor del Grupo de Trabajo sobre Campos Electromagnéticos de UNESA, y de Red Eléctrica de España, S.A. en particular, a quien se puede acudir para solicitar más información.

## • NORMATIVA

Dado que los únicos efectos conocidos y comprobados de este tipo de campos son los efectos a corto plazo que se pueden producir cuando la densidad de corriente inducida supera cierto valor umbral, la normativa internacional de exposición más reciente está orientada a prevenir esta circunstancia. En este sentido, la ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección Contra la Radiación No Ionizante), organismo vinculado a la Organización Mundial de la Salud, recomienda que la exposición a campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz no supere 5 kV/m y 100  $\mu$ T, respectivamente; valores superiores a los que genera una línea eléctrica de alta tensión.

Esta conclusión, así como la metodología de la ICNIRP, son recogidas por la Comisión Europea en la Propuesta de recomendación del Consejo relativa a la limitación de la exposición de los ciudadanos a los campos electromagnéticos, COM (98) 268 final.

### **Pros y contras al enterrar líneas eléctricas**

Algunos sectores de la sociedad reclaman que todas las líneas eléctricas sean subterráneas, con la intención de reducir su impacto sobre el medio ambiente. Esta solución es habitual en líneas de baja y media tensión, sobre todo en entornos urbanos, pero sólo los últimos avances tecnológicos han permitido el desarrollo de cables de muy alta tensión (220 y 400 kV) subterráneos.

Sin embargo, además de algunas ventajas, la instalación, operación y mantenimiento de las líneas subterráneas de muy alta tensión presenta graves inconvenientes técnicos, económicos y ambientales, por lo que actualmente su utilización está limitada a situaciones muy determinadas:

- Desde el punto de vista técnico son líneas mucho más complejas, y por lo tanto caras (una línea de 400 kV subterránea cuesta unas 10-20 veces más que una línea aérea equivalente) y son menos fiables, ya que están expuestas a mayores agresiones externas, con el consiguiente riesgo para la continuidad del suministro.
- Las líneas subterráneas exigen la apertura de una ancha zanja, lo que produce graves impactos en el suelo, fauna y flora; así como en el medio socioeconómico, puesto que limitan el uso que se le puede dar al suelo. Además, el campo magnético no desaparece por el hecho de que la línea esté enterrada; en realidad el nivel de campo magnético en el eje de la línea es 3-6 veces superior que en el caso de una línea aérea que transporte la misma energía, aunque disminuye más rápidamente al aumentar la distancia al eje de la línea.
- Entre las ventajas de una línea eléctrica subterránea está que no producen ruido, que el campo eléctrico es apantallado por el suelo y, sobre todo, que se elimina el impacto estético sobre el paisaje que producen las líneas eléctricas aéreas tradicionales.