EDITORIAL

Todo lo relacionado con los campos electromagnéticos no sólo interesa a la Comunidad Científica sino que también tiene especial calado en la sociedad en general y en los medios de comunicación en particular. El Colegio de Físicos tiene y viene demostrando una especial vocación de participar en todos los ámbitos donde el Físico pueda expresar sus conocimientos y opiniones de manera científica, cualificada e imparcial. Este número es otra muestra de nuestra trayectoria.

El décimo número de nuestra publicación pretende aclarar las ideas sobre una cuestión controvertida desde hace mucho tiempo: hasta qué punto los campos eléctricos y magnéticos pueden influir sobre la salud de los ciudadanos. Es indudable la importante aportación de la Física a través del electromagnetismo. Físicos de renombre como Maxwell o Hertz forjaron la teoría electromagnética, sus posteriores aplicaciones a la tecnología han revolucionado la industria y las comunicaciones. Así en la actualidad las investigaciones sobre los posibles efectos nocivos de los campos electromagnéticos para el organismo lejos de alejar al físico en estas disquisiciones necesita de sus conocimientos.

La polémica se suscitó hace algunas décadas cuando aparecieron varios estudios que relacionaban el riesgo de contraer ciertas enfermedades, como la leucemia infantil con la circunstancia de vivir cerca de líneas de alta tensión. Y cundió la alarma social.

Se impone, en consecuencia, conocer la realidad de los hechos. Hace dos años, el "New England Journal of Medicine" concluía, después de un trabajo, que no podía aceptarse con seriedad que aumentasen los casos de leucemia por vivir en una casa situada en las proximidades de líneas de alta tensión. Otra serie de estudios han puesto de manifiesto que no existe relación entre la aparición del cáncer y la exposición a campos de baja frecuencia y de intensidad inferior a los 500 uT, que equivalen a 5 gauss, lo que representa una intensidad 15 veces superior a la del campo magnético terrestre y 1.000 veces superior a un hogar con muchos electrodomésticos.

Estos datos no pretenden significar, en modo alguno, que sostengamos que el aumento progresivo y descontrolado de los niveles de campos magnéticos no exija una atención y una regulación convenientes. Esta es la filosofía, que inspira por ejemplo el documento "Non-ionizing radiation, sources, exposure and health effects", publicado en 1996 por la Dirección General V de la Comisión Europea. De hecho, existe una propuesta de recomendación de la mencionada Comisión Europea relativa a la limitación de la exposición de los ciudadanos a los campos electromagnéticos (0 Hz-300 GHz), que se aplicaría en los ambientes donde los ciudadanos pasen mucho tiempo. En esta propuesta se señala que el Comité Científico de la Comisión Europea ha dictaminado que no existen pruebas convincentes del efecto cancerígeno de estos campos electromagnéticos, así como de ningún otro efecto a largo plazo, por lo que se consideran únicamente los efectos a corto plazo conocidos y comprobados.

Conviene también poner alguna luz sobre esa recomendación que hemos oído, en multitud de ocasiones, de la conveniencia de enterrar los cables de suministro de energía eléctrica. Por enterrar un cable no se evita el campo magnético que produce. En líneas generales, los campos magnéticos se propagan por tierra lo mismo que por el aire.

Si con este número de Física y Sociedad hemos conseguido poner alguna luz sobre el problema de la posible incidencia de las radiaciones sobre la salud humana nos daremos por satisfechos. No pretendemos otra cosa, nada más que aclarar y explicar. Son muchos los problemas que se ciernen sobre la protección de la Naturaleza y sobre el medio ambiente. Hoy nos hemos referido a uno solo de los mismos. En los Congresos que hemos celebrado, y en los que celebraremos en el futuro, hemos abordado, y abordaremos, toda la compleja y variada problemática del medio ambiente, pues pensamos que ésta constituye hoy una de las primeras preocupaciones de la Humanidad, tanto de los países ricos como de los pobres. Como ha escrito el biólogo Jürgen Voigt, "el hombre, al parecer, se ocupa en hacer inhabitable su planeta-patria, el Mundo, del que vive y en el que vive, envenenándolo, agotándolo, apestándolo y destrozándolo". Poner fin a esta situación es tarea de todos.

LA APORTACIÓN DE LA FÍSICA DE ELECTROMAGNETISMO

Los constantes avances tecnológicos que se han producido durante el último siglo han cambiado nuestra forma de vida y nuestra manera de relacionarnos. Con el asentamiento de la cultura del bienestar nos hemos acostumbrado a utilizar multitud de aparatos que forman parte de nuestra cotidianidad. Hoy ciertos sectores de la sociedad cuestionan el uso más adecuado de los electrodomésticos, teléfonos portátiles, o más genéricamente de los cables de alta tensión; y se preguntan si las radiaciones magnéticas que estos emiten pueden ser perjudiciales para la salud.

Si hacemos un breve repaso a la historia de los descubrimientos que han posibilitado la aparición de la luz eléctrica o la radio, invento que a la postre ha supuesto el inicio de la revolución en las comunicaciones, se puede apreciar la importancia que ha tenido la contribución de la Física a través del electromagnetismo.

Una de las principales "revoluciones" ocurridas en el siglo XIX, que dan paso al desarrollo de la sociedad actual, es precisamente el descubrimiento de las leyes de la electricidad.

Tras las importantes aportaciones de físicos como Oersted, Ampère y Faraday, en la segunda mitad del s. XIX, fue James Clerk Maxwell quien con sus famosas cuatro ecuaciones sistematizó todos los hallazgos que se habían producido en el campo de la Electricidad y del Magnetismo hasta aquel momento. En sus trabajos teóricos el genial físico escocés puso de manifiesto que las ondas electromagnéticas son transversales, como también lo son las luminosas, para explicar los fenómenos de polarización. Maxwell pensó que las ondas luminosas eran ondas electromagnéticas y que se podía elaborar una teoría electromagnética de la luz. Y así obtuvo la primera relación entre magnitudes ópticas y eléctricas, demostrando que el índice de refracción de una substancia es igual a la raíz cuadrada del producto del coeficiente dieléctrico por la permeabilidad magnética.

Pasaron más de veinte años hasta que un físico alemán Heinrich Hertz, en 1887, produjera ondas electromagnéticas con ayuda de circuitos oscilantes, y además comprobara que estas ondas se podían recibir con resonadores de la misma frecuencia. Así, no sólo produjo ondas electromagnéticas sino que determinó la longitud de ondas. Al conocer la frecuencia de los resonadores encontró la velocidad de las ondas electromagnéticas, verificando el valor teórico de Maxwell. Según todos los datos de que disponemos no se le ocurrió a Hertz darle una utilización práctica a sus averiguaciones, y aplicar las ondas electromagnéticas para conseguir la comunicación a larga distancia. Serían posteriormente Marconi y otros los que lograron concretar estos estudios en la invención de la radio o telegrafía sin hilos, como se la llamó en un primer momento. Después vendría la televisión que supuso el principio de una nueva etapa para los medios de comunicación.

Por otra parte, la física cuántica y la investigación sobre las propiedades de conducción de los materiales, en particular de los semiconductores, propiciaron el desarrollo de la microelectrónica, cuyas aplicaciones han supuesto una verdadera revolución en la sociedad durante las últimas décadas.

El genio de Maxwell es comparable al de Newton. Este último sistematizó la Mecánica, con su famosa teoría de la gravitación universal. Hallazgos teóricos que han cambiado el desarrollo de la Historia humana, por sus aplicaciones prácticas.

Estas aplicaciones prácticas han proliferado hasta rodearnos de multitud de aparatos que forman parte de nuestra vida. En la actualidad es indudable que la población esta expuesta a mayores dosis de radiaciones no ionizantes, e inevitablemente surge la duda sobre sus posibles repercusiones en la salud humana. Pero, esta controversia, lejos de alejar al científico en estas disquisiciones, necesita de sus conocimientos e investigaciones para dilucidar si realmente las radiaciones magnéticas pueden tener efectos nocivos para el organismo.

Algunos de los efectos dañinos que se atribuyen a la incidencia de los campos electromagnéticos en el ser humano son: perdidas de memoria ocasionadas por fallos en la capacidad cognitiva, jaquecas, afecciones del sistema inmunológico, alteraciones de los ciclos circadianos o incluso algunos tipos de cáncer, y leucemia infantil.

Hasta el momento y según se desprende de la literatura existente, los principales organismos oficiales a nivel internacional, han afirmado que no hay suficientes indicios para pensar que los campos electromagnéticos son perjudiciales para la salud, y de haber algún riesgo este es mínimo. Pero de todas formas, los estudios continúan, y algunos países como Gran Bretaña, Canada, países escandinavos, etc., han salido al paso de esta creciente preocupación social para esclarecer las dudas y despejar de una vez cualquier temor, encargando una profunda revisión de las investigaciones realizadas hasta el día de hoy en este campo. También la Unión Europea o la Organización Mundial de la Salud siguen investigando sobre el tema.

CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS GENERADOS POR LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN. POSIBLES EFECTOS SOBRE LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE.

En este artículo se recoge un resumen del Informe elaborado por el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) sobre los posibles efectos de los campos electromagnéticos, asociados a las líneas eléctricas de alta tensión, en la salud de las personas y el medio ambiente. En este referente se hace acopio de la literatura científica y técnica más significativa sobre el tema, tal y como solicitó al Gobierno la Comisión de Industria y Energía del Congreso de los Diputados en octubre de 1997.

S. Castaño Lara, J. M. Gómez Ros, A. Real Gallego. CIEMAT. Madrid.

Desde que en 1979, Wertheimer y Leeper sugirieron la existencia de una asociación entre la presencia de líneas eléctricas de alta tensión en las cercanías de los domicilios y la incidencia de leucemias y otros tipos de cáncer en niños, se ha generado una ingente cantidad de bibliografía sobre los posibles efectos en la salud de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja. Periódicamente han ido apareciendo revisiones realizadas por grupos de expertos, que han tratado de evaluar si los estudios publicados ofrecen evidencias de una relación causal entre campos electromagnéticos y efectos sobre la salud y el medio ambiente. De todas las realizadas hasta el momento destacamos el informe del Oak Ridge Associated Universities publicado en 1992, las revisiones del National Radiological Protection Board del Reino Unido (1992 y 1994), el informe, aparecido en 1997, preparado por la Academia Nacional de las Ciencias de EE.UU. y la revisión de la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (1998).

• Campos electromagnéticos y su interacción con la materia

Las líneas de alta tensión generan a su alrededor campos eléctricos y magnéticos variables de frecuencia extremadamente baja (50 Hz en Europa, 60 Hz en EE.UU.). Para una determinada tensión, la intensidad del campo eléctrico puede variar de unas líneas a otras dependiendo de las características de la línea, el número de circuitos y su disposición geométrica. El campo magnético en una línea también cambia según la intensidad de corriente que circula en función de la demanda de potencia. Las medidas realizadas en la vertical del punto medio entre apoyos para las líneas españolas de mayor tensión (400 kV) proporcionan valores de 3-10 kV/m para el campo eléctrico y 1-20 µT para el campo magnético. Estos valores decrecen con la distancia a la línea, de manera que el rango de valores a 100 metros de distancia es de 0,02-0,15 kV/m para el campo eléctrico y de 0,02-0,30 µT para el campo magnético. Además, el campo eléctrico se apantalla fácilmente debido a los elementos usados en la construcción, por lo que su intensidad en el interior de un inmueble puede ser hasta 103-104 menor que en el exterior

Debido a que la resistencia eléctrica de los tejidos biológicos es mucho menor que la del aire, el campo eléctrico interno se reduce en un factor 106-108 con respecto al campo exterior. Por el contrario, el campo magnético apenas sufre atenuación en los tejidos del cuerpo humano y, por tratarse de un campo variable, induce corrientes circulares cuya intensidad depende de las dimensiones y la conductividad eléctrica de los tejidos implicados.

Se han realizado numerosas investigaciones acerca de los procesos físicos que podrían explicar posibles efectos biológicos derivados de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja. El incremento de temperatura debido a la absorción directa de energía a la frecuencia de 50-60 Hz queda muy por debajo de los niveles debidos al metabolismo basal de las células. Así mismo, campos de esta frecuencia no son capaces de romper o alterar enlaces químicos ni ejercen una fuerza apreciable sobre proteínas, enzimas u otras moléculas implicadas en la actividad biológica. No obstante, existen otros mecanismos bien establecidos de interacción entre los campos electromagnéticos y los tejidos biológicos, como son la acumulación de carga superficial, la inducción de corriente eléctrica, la formación de dipolos eléctricos y la fuerza sobre cargas en movimiento. Sin embargo, los últimos estudios al respecto coinciden en que las señales inducidas por los campos de 50-60 Hz, con intensidades semejantes a las producidas por líneas eléctricas, son inferiores al nivel de ruido eléctrico existente como consecuencia de la agitación térmica y la actividad biológica. Los mecanismos propuestos para justificar posibles efectos a intensidades muy bajas, basados en procesos de resonancia, han resultado ser incompatibles con las condiciones que se dan en un organismo vivo además de difíciles de justificar debido a la distinta frecuencia usada en Europa (50 Hz) y EE.UU. (60 Hz) para las lineas eléctricas.

• Estudios sobre la salud. Estudios epidemiológicos

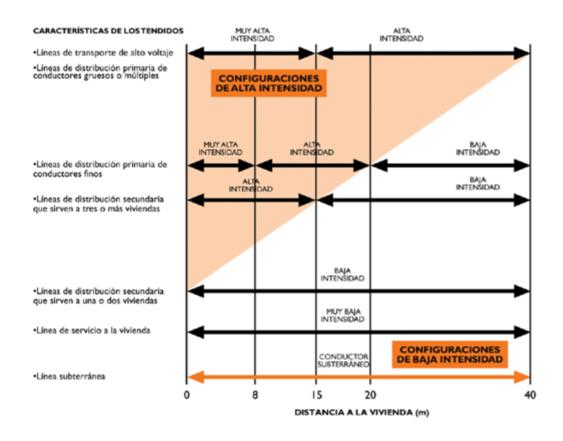
Gran parte de la controversia suscitada durante las últimas décadas acerca de los posibles efectos sobre la salud derivados de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (50-60 Hz) se inició a finales de los años setenta y primeros de los ochenta, a raíz de la publicación de varios estudios epidemiológicos que sugerían un incremento en la incidencia de algunos tipos de cáncer en las poblaciones expuestas. A partir de ese momento distintos autores emprendieron nuevos estudios, tanto en entornos domésticos como laborales, tendentes a contrastar la hipótesis inicial.

En el ámbito residencial la mayoría de los estudios se han focalizado en poblaciones infantiles, algunos en poblaciones adultas y unos pocos en personas de todas las edades.

Los estudios basados en exposiciones profesionales se han centrado en el análisis del riesgo de cáncer en los propios trabajadores, y en algunos casos en el riesgo entre sus descendientes.

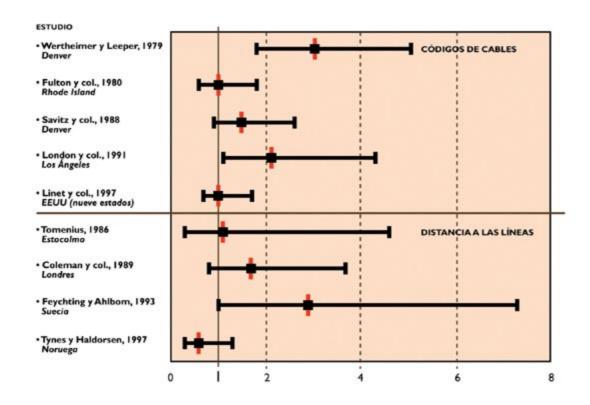
El objetivo perseguido por estos estudios epidemiológicos es determinar si existe una asociación entre los campos electromagnéticos y el cáncer, a través de la comparación de las tasas de aparición de la enfermedad en dos poblaciones, una expuesta a los campos y otra no expuesta, o entre poblaciones sometidas a diferentes niveles de exposición. En definitiva, se trata de dilucidar si existe un incremento en la probabilidad de padecer la enfermedad como consecuencia de la exposición, y de ser así, cuantificarlo.

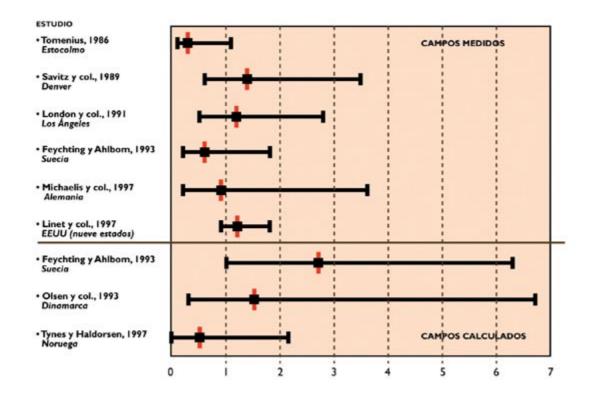
Dado que en la vida cotidiana, debido al empleo intensivo de la electricidad, todas las personas se encuentran expuestas en mayor o menor medida a la acción de campos electromagnéticos de 50-60 Hz, existen grandes dificultades para caracterizar con precisión la exposición a los mismos. En la práctica resulta imposible medir de forma directa y retrospectiva el campo al que ha estado sometida una persona a lo largo de un período más o menos prolongado de su vida. Además, al no haberse identificado ningún mecanismo de interacción físico o biológico relevante para la producción de los posibles efectos adversos, resulta extremadamente difícil definir el parámetro más idóneo para evaluar la exposición. Como consecuencia, los epidemiólogos se han visto obligados a acudir a distintos estimadores sustitutivos de la exposición, tales como el denominado "código de cables" (basado en el diseño de las líneas y su distancia a las viviendas) (fig. 1), medidas puntuales y ponderadas del campo en los domicilios y lugares de trabajo. profesión, etc., que no siempre reflejan de forma real tal exposición y que, por lo tanto, pueden introducir incertidumbres y errores en la estimación de la probabilidad de aparición del efecto. El código de cables, a pesar de ser el método de estimación más comúnmente empleado en ambientes residenciales, al estar concebido para su utilización en áreas urbanas de los EE. UU., no es fácilmente aplicable en los países europeos. Además, se ha comprobado empíricamente que el código de cables no refleja fielmente el nivel de exposición al campo magnético medido.



Los resultados aportados por el conjunto de los estudios epidemiológicos muestran importantes discrepancias. El análisis de los estudios publicados hasta 1996 sugería un ligero incremento del riesgo para el caso de la leucemia infantil asociada a las viviendas clasificadas, según el código de cables, dentro de los grupos de configuración más alta, pero no para el resto de los cánceres infantiles. Sin embargo, este exceso no ha podido ser confirmado a partir de los resultados de los estudios que han estimado la exposición

por medios diferentes (medidas directas del campo magnético, reconstrucción retrospectiva de los valores de campo y distancia a las instalaciones eléctricas) que constituyen, en muchos casos, indicadores más reales de la exposición (fig. 2-3).





El estudio realizado en 1997 por el Instituto Nacional del Cáncer de los Estados Unidos, considerado el más amplio y concienzudo de los publicados, que analizó 638 casos de leucemia infantil ocurridos en nueve estados diferentes y que utilizó, además del código de cables, los métodos de caracterización de la exposición más precisos disponibles (medidas del campo medio ponderado durante 24 horas en las habitaciones de los niños y medidas puntuales en diferentes áreas de la vivienda y en su exterior), no halló un incremento en el riesgo de leucemia infantil asociado a las medidas del campo magnético efectuadas, ni a las viviendas caracterizadas por la configuración de cables más alta.

Hasta el momento no se han podido identificar los factores que pudieran explicar la asociación hallada en algunos estudios entre código de cables y leucemia infantil. No se cuenta con suficientes indicios para considerar la exposición a los campos electromagnéticos en el medio residencial como causante de la misma. Otros factores que podrían dar cuenta de esta asociación, tales como la antigüedad de la vivienda o la densidad de tráfico en sus inmediaciones, se correlacionan de forma más estrecha con los niveles altos de la clasificación de código que los propios campos magnéticos medidos.

Los datos epidemiológicos disponibles no aportan pruebas convincentes para establecer una relación entre el resto de los cánceres infantiles, y en especial del cáncer cerebral, y la exposición a los campos electromagnéticos, con independencia del método utilizado para su estimación. Tampoco se ha podido identificar una asociación entre cánceres infantiles y exposición laboral paterna. Los resultados aportados por los estudios sobre cáncer en el adulto en ambientes residenciales y laborales no muestran, en conjunto,

incremento del riesgo de cáncer en relación con la exposición a campos electromagnéticos generados por las líneas eléctricas de alta tensión.

Por último, otros estudios se han interesado por los efectos sobre la reproducción y el desarrollo (incremento en las tasas de abortos y malformaciones congénitas) como consecuencia de la exposición tanto en los domicilios como en los lugares de trabajo y un número más limitado se han ocupado de otro tipo de efectos como los trastornos mentales y de la conducta (suicidio, depresión y cefaleas). De su análisis se desprende que no se dispone de evidencias epidemiológicas que avalen la relación postulada entre la exposición a campos electromagnéticos y un incremento en el riesgo de defectos en los procesos de reproducción y desarrollo o de alteraciones mentales y del comportamiento.

• Efectos sobre la salud. Estudios experimentales

Los estudios experimentales realizados in vivo e in vitro sobre los posibles efectos biológicos promovidos por la exposición a campos electromagnéticos, incluyen un gran número de ámbitos biológicos. Destacan los relacionados con la carcinogénesis, si bien se han estudiado también efectos sobre reproducción y desarrollo, comportamiento, sistema nervioso central, estrés y sistema cardiovascular. La mayor parte de los estudios experimentales realizados con campos electromagnéticos de 50-60 Hz utilizan intensidades muy superiores a las generadas por las líneas de alta tensión. Esto responde a la aproximación experimental clásica de utilizar dosis tan altas como sea necesario del agente que se está ensayando, para que se produzca el efecto, y una vez observado éste ir reduciendo las dosis hasta alcanzar el nivel de no efecto.

Los estudios relacionados con la carcinogénesis han ido dirigidos, bien a conocer la capacidad de los campos electromagnéticos (por si mismos o en combinación con un iniciador químico) para inducir cáncer en modelos animales, o bien a caracterizar posibles mecanismos biológicos por los que los campos electromagnéticos pudieran influir en el proceso carcinogénico.

Los resultados obtenidos en modelos animales, no aportan pruebas convincentes de que exista una relación entre exposición a campos electromagnéticos e incidencia de cáncer en animales de experimentación. Tampoco se han descrito efectos sobre la promoción de cánceres de piel, hígado, o sistema hematopoyético, en animales en los que se ha iniciado un cáncer mediante tratamiento con un agente químico. La promoción de cáncer de mama como consecuencia de la exposición a campos electromagnéticos, descrita por un grupo de investigación, no ha podido ser confirmada en trabajos posteriores realizados por otros investigadores.

La caracterización de los mecanismos biológicos que pudieran explicar los posibles efectos de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja en el proceso carcinogénico, se ha centrado en el análisis de capacidad genotóxica, alteraciones en el proceso de transmisión de señales, inducción de proliferación celular y efectos sobre el sistema inmunológico y endocrino.

Los resultados del conjunto de estudios de genotoxicidad sugieren que los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja no tienen capacidad para producir daño en el ADN. En ocasiones se han descrito alteraciones en alguno de los sistemas celulares implicados en la transmisión de señales, asociadas a la exposición a campos electromagnéticos de 50-60 Hz. Sin embargo, en todos los casos las intensidades de campo a las que tenían lugar estos efectos eran muy superiores a las existentes en entornos residenciales y laborales. La exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja no produce efectos sobre la proliferación celular a intensidades inferiores a 50 µT. Así mismo, no se han descrito alteraciones en la respuesta inmunitaria a intensidades de campo inferiores a 200 μT. El conjunto de estudios relacionados con la melatonina pone de manifiesto que, si bien en algunos casos y especies animales se han observado alteraciones en los niveles de esta hormona, esto siempre ocurre a intensidades de campo muy superiores a las existentes en ambientes residenciales o laborales. En humanos, primates y ovejas, no se han descrito alteraciones en la concentración de melatonina nocturna como consecuencia de la exposición a campos electromagnéticos de 50-60 Hz.

Los estudios sobre efectos de los campos electromagnéticos en la reproducción y el desarrollo de mamíferos han constatado que la exposición a intensidades de campo eléctrico de hasta 250 kV/m y campo magnético de hasta 500 µT no produce alteraciones en fertilidad, tamaño de las crías, supervivencia, proporción de sexos e incidencia de malformaciones.

No se han observado alteraciones en el comportamiento de los animales de experimentación como consecuencia de la exposición a campos electromagnéticos a intensidades en el rango de las generadas por líneas eléctricas de alta tensión. En algún caso se han descrito cambios selectivos, pequeños en magnitud y de duración limitada, que no han podido relacionarse con alteraciones en la morfología, neurofisiología o neuroquímica del sistema nervioso central. En relación a los posibles efectos producidos por los campos electromagnéticos en la respuesta de estrés y el sistema cardiovascular, los cambios observados en ambos casos son de una magnitud insuficiente para constituir un riesgo para la salud.

• Normas y recomendaciones internacionales.

Las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud y la International Comission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) se basan, a la hora de limitar la exposición, en los efectos inmediatos y a corto plazo sobre la salud, tales como estimulación nerviosa y muscular, absorción de energía, descarga eléctrica y quemaduras producidas por el contacto con objetos conductores. A la frecuencia de 50-60 Hz, dichos efectos están relacionados con la densidad de corriente inducida en el organismo y se observan a partir de 10 mA/m2. Puesto que esta magnitud no es directamente medible, los límites para el campo eléctrico y magnético externo se calculan a partir de modelos y cálculos aproximados de la corriente inducida en el cuerpo humano por campos externos, por lo que los valores recomendados varían ligeramente dependiendo del modelo y del factor de seguridad utilizados.

Con respecto a los posibles efectos a largo plazo, tales como un incremento en el riesgo de cáncer, la posición adoptada por los organismos que han formulado las distintas normas y recomendaciones es que, aunque la investigación epidemiológica ha proporcionado alguna indicación de posibles efectos carcinogénicos, los datos disponibles no son suficientes para servir como base sobre la que establecer límites de exposición.

Los límites recomendados por el ICNIRP para la exposición continua del público a campos de 50 Hz son de 100 μ T para la inducción magnética y 5 kV/m para la intensidad de campo eléctrico. En el caso de exposición laboral, dichos límites son 500 μ T y 10 kV/m, respectivamente. Estos límites han sido adoptados en la Propuesta de Recomendación del Consejo de las Comunidades Europeas COM (1998) 268.

CONCLUSIONES

La información científica y técnica más significativa, actualmente disponible a nivel internacional, 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.

Los estudios epidemiológicos y experimentales no demuestran que estos campos produzcan cáncer, efectos sobre la reproducción y el desarrollo o alteraciones mentales y 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.

Referencias

- COM (1998) 268. Propuesta de Recomendación del Consejo relativa a la limitación de la exposición de los ciudadanos a los campos electromagnéticos 0 Hz-300 GHz.
- ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (Up to 300 GHz). Health Physics 1998; 74(4): 494-522.
- NAS (National Academic of Science / National Research Council). Possible health effects of exposure to residencial electric and magnetic fields. Washington DC: National Academic Press; 1997.
- NRPB (National Radiological Protection Board). Electromagnetic fields and the risk of cáncer. Chilton: Documents of the National Radiological Protection Board, 3 (1), 1992.
- NRPB (National Radiological Protection Board). Electromagnetic fields and the risk of cancer. Supplementary report. Radiol Prot Bull 1994;154:10-12.
- ORAU (Oak Ridge Associated Universities). Health effects of low-frequency electric and magnetic fields. ORAU 92/F9; 1992

MANUEL TOHARIA.

Divulgador científico

Manuel Toharia nació en Madrid en 1944.

Físico y periodista es actualmente vicepresidente de la Asociación Española de Periodismo Científico. Ha trabajado en los diarios "Informaciones" y "El País", así como en Televisión Española y en la agencia EFE, donde popularizó el seudónimo de "Nimbus". Hoy por hoy colabora habitualmente en la Cadena SER y es profesor del Master de Periodismo del diario "El País". En definitiva, Manuel Toharia es un experto en la divulgación científica, actividad a la que ha dedicado varios libros y multitud de artículos.

¿Qué lugar ocupa la información científica en los medios de comunicación en España?

El espacio que ocupa la ciencia en los medios de comunicación ha aumentado extraordinariamente durante el último lustro, pero aún así seguimos por debajo de lo deseable si nos comparamos con otros países europeos de nuestro entorno. La situación es esperanzadora, la ciencia ya es noticia, aunque en demasiados casos las informaciones que ocupan un lugar destacado en los periódicos guardan relación con hechos escandalosos o se tratan desde una perspectiva más social que científica.

¿Los científicos deberían hacer un mayor esfuerzo por divulgar y hacer entendibles sus conocimientos a la sociedad?

El científico no tiene por que aprender a divulgar, aunque sería muy útil. No se le puede pedir a un investigador que tenga dotes de comunicador pero sí que facilite el resultado de sus estudios. El miedo a la falta de rigor, o a la imposibilidad de hacer entendibles sus conocimientos a la sociedad, aunque comprensible, no justifica la incomunicación. El científico no puede quedarse al margen, adoptar una postura elitista, o encerrarse en una torre de marfil. Hoy en día, más que nunca, los medios de información son realmente el cuarto poder. La ciencia no puede estar de espaldas a la comunicación, depende de la sociedad, del dinero que le dé el Estado, siempre sensibilizado a las noticias que aparecen en los periódicos, y también depende de la financiación de las empresas privadas que igualmente reclaman su protagonismo.

Frente al "inventamos nosotros" de Menéndez Pelayo y el "que inventen ellos" de Unamuno, ¿Que postura deberíamos adoptar en España y por extensión en Europa?

España lógicamente no puede permitirse el lujo de investigarlo todo. Hay que fijar bien las prioridades de investigación, ya que los presupuestos que se destinan a I+D son escasos y más si tenemos en cuenta que un gobierno liberal como el español lo fía todo al mercado y por tanto al dinero privado.

Pero de todas formas es Europa en su conjunto quien debe asumir este reto, que su poderío económico se corresponda con el científico. La potencia científica es la más importante de todas, y que Estados Unidos invierta en ciencia el doble que Europa es un dato bastante llamativo. Los organismos europeos son conscientes de esta deficiencia pero también hay que entender que todavía se está construyendo un mercado común, se

están incluyendo nuevos países que quieren entrar; lo que ocasiona serios problemas de reparto de subvenciones, etc.

Cambiando de tema y entrando en el contenido principal de este número de nuestra revista, ¿Usted, viviría tranquilo con su familia debajo de una línea de alta tensión?

No. Desde luego si puedo elegir prefiero vivir en otro sitio. Por un lado, y sobretodo, por el riesgo de que se pueda desprender un cable y te caiga encima, y por otra parte porque justamente debajo de estas líneas estás expuesto a los campos electromagnéticos. Por poner un ejemplo, hay un manantial en San Rafael (Madrid) que se ha llamado durante mucho tiempo la fuente del calambre. Tenía un caño metálico y por encima pasaba una línea de alta tensión, cuando bebías del caño daba calambre. Sin duda allí había una inducción, pero tampoco creo que sea un peligro como para alarmarse.

De todas maneras es preferible que los cables de alta tensión muy cercanos a poblaciones estén enterrados, o lo que es más importante, evitar que se coloquen en lugares habitados. Pero, por desgracia, en la mayoría de casos son los ayuntamientos quienes han permitido, posteriormente, construir edificios debajo de tendidos eléctricos. Estos municipios son los auténticos responsables.

Según parece, todos los organismos oficiales en el ámbito internacional coinciden al manifestar que no hay suficientes indicios para afirmar que los campos electromagnéticos son perjudiciales para la salud. Desde algunos sectores ¿no se está cayendo en un alarmismo social injustificado?

El alarmismo por lo general no es bueno porque engendra paralización y miedo, pero sin embargo la alerta es positiva y denota cultura. Es necesario una mayor cultura científica. La gente tiene miedo a lo que no comprende. No se entiende como funciona un microondas y entonces se piensa que puede dar cáncer, y en otros tiempos incluso se hubiera quemado en la hoguera al inventor.

En ninguna etapa de la historia hemos disfrutado de una calidad de vida como la que tenemos ahora. Las tasas de mortandad prueban la altísima longevidad del ser humano. Si alguien asegura que los alimentos transgénicos son nocivos o que los campos electromagnéticos son dañinos para la salud tiene que demostrarlo, y hasta la fecha no se ha podido comprobar. El peso de la prueba siempre debe recaer sobre quien lo afirma, y a la luz de los estudios realizados sabemos que de haber un riesgo es muy reducido, ya que resulta sencillo cuantificar estadísticamente el número de personas que potencialmente podrían estar afectadas por los campos electromagnéticos.

Recientemente el Gobierno británico ha encomendado un estudio para llegar al fondo de la cuestión sobre los hipotéticos efectos dañinos de los teléfonos portátiles en la salud humana. ¿Hay motivos para la preocupación?

El único efecto verificado de manera experimental es que los teléfonos móviles inducen en la oreja una elevación de temperatura de un grado. Pero las consecuencias de este calentamiento nadie sabe cuáles son, y parece totalmente desorbitado pensar que pueda potenciar el desarrollo de enfermedades. El sol también calienta directamente la cabeza y a nadie se le ha ocurrido suponer que pueda conllevar un riesgo para la salud.

Lo que sucede es que los gobiernos intentan salir al paso cuando cunde la alarma social. La gente tiene el convencimiento de que cualquier noticia que aparece periódicamente en los medios de comunicación es verdad. Por esta razón, los organismos oficiales se gastan un dineral en tranquilizar a la población, aunque esté claro que el riesgo de las radiaciones magnéticas sea mínimo. Los presupuestos sanitarios deberían estar destinados a investigar otras cuestiones que tienen mayor incidencia en la salud pública como el descubrimiento de un fármaco que posibilite la curación de enfermedades mortales, etc.

¿Sería necesario plantear en España estudios epidemiológicos para conocer la relación entre las radiaciones eléctricas o magnéticas y ciertas enfermedades como el cáncer, la leucemia, etc.?

Los estudios epidemiológicos son muy peligrosos, relacionar causas con efectos únicos es prácticamente imposible. En la etiología de cualquier enfermedad intervienen muchas razones, es muy difícil concluir que un sólo factor es el causante de un mal, a no ser que sea tan evidente como el vínculo entre el cáncer de pulmón y el tabaco, con una correlación altísima del 98%.

Aplicar la epidemiología a fenómenos como el de los campos electromagnéticos no deja de ser simplemente un indicio. El estudio Karolinska, referente en tantas ocasiones, probaba la relación de seis casos de leucemia infantil en toda Suecia con la cercanía a líneas de alta tensión. Pero, los propios autores asumieron el error de no haber tenido en cuenta otros atenuantes: si los padres fumaban, el tipo de alimentación de estos chicos, etc.

En lo que respecta a aparatos electrodomésticos, en Europa se está generando una normativa específica sobre los métodos para medir las radiaciones magnéticas, y los niveles máximos de emisión que deberían permitirse. ¿Es necesario una legislación que limite la exposición a campos electromagnéticos?

No me parece mal que haya una normativa si eso tranquiliza a la gente, siempre que no suponga matar moscas a cañonazos aunque sinceramente no creo que haga mucha falta. Usted dirige un Museo de la Ciencia en Alcobendas (Madrid) que tendrá un eminente carácter interactivo. Este museo abrirá sus puertas en el mes de noviembre y ha necesitado de un gran esfuerzo económico para hacerse realidad.

¿Pretende fomentar la vocación científica, o simplemente propone una opción más para el entretenimiento?

Los museos de ciencias ni pretenden fomentar la vocación científica, ni son un simple entretenimiento como si se tratara de una feria o un parque de atracciones. Básicamente tienen una función cultural, procuran acercar la ciencia al ciudadano sea cual sea su formación, con la intención de que el visitante pueda entender un poco mejor el mundo que nos rodea.

Antes de terminar esta entrevista nos gustaría saber su opinión sobre la previsible modificación de los Planes de Estudio en la segunda enseñanza. Según parece disminuirán las horas lectivas en asignaturas de ciencias para potenciar las materias de humanidades. ¿Esta modificación no destruiría incipientes vocaciones científicas? ¿No daría una formación incompleta a los estudiantes?

Sinceramente, no creo en los planes de estudio, ni en los vigentes ni en los que había antes. Plantear los estudios bajo la dicotomía de ciencias o letras es un error, porque estudiar latín o griego desarrolla tanto la capacidad lógica como las matemáticas o la física. Además, la forma de calificar en este sistema de enseñanza es absurda. Nos conformamos con que el alumno sólo sepa la mitad de la materia. Habría que reducir significativamente la extensión de los temarios y exigir a los estudiantes que asimilaran completamente los conceptos básicos, es decir, pedir un 10 sobre 10 en los exámenes. Por poner un ejemplo, dudo que los estudiantes en ciencias comprendan, realmente, conceptos tan elementales como el de energía.

Por otra parte, no me preocupa el fomento de la vocación científica. Vocaciones siempre habrá. Además, verdaderamente ¿hacen falta tantos científicos?. Actualmente en España hay demasiada gente que estudia ciencias. Sólo hay que revisar donde acaban trabajando muchos licenciados en Físicas o Matemáticas para darse cuenta que en la gran mayoría de los casos pasan a engrosar las listas de parados o terminan por desarrollar actividades que poco o nada tienen que ver con la ciencia.

RIESGOS PARA LA SALUD HUMANA DE LAS EXPOSICIONES AMBIENTALES A CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS

La introducción creciente de nuevas tecnologías y/o productos basados en la utilización de las ondas electromagnéticas está provocando un aumento de la exposición de la población a las radiaciones no ionizantes. Este fenómeno preocupa a un sector cada vez más amplio que se pregunta sobre los posibles efectos en la salud. Las autoridades sanitarias se enfrentan ante el reto de identificar, estimar y controlar este riesgo.

Francisco Vargas Marcos. Subdirector Gral. de Sanidad Ambiental Dirección General de Salud Pública. Ministerio de Sanidad y Consumo

El objetivo de este artículo es revisar las evidencias y las medidas que se proponen para controlar o prevenir los posibles efectos sobre la salud humana de los Campos Eléctricos y Magnéticos, (CEM).

Los estudios realizados hasta la fecha han proporcionado evidencias convincentes de los efectos biológicos de las exposiciones a campos eléctricos y magnéticos a partir de 10 (kV/m) y 100 mT. Estas magnitudes son muy superiores a las que habitualmente se exponen los seres humanos. Además, no sabemos todavía si las respuestas bioquímicas y celulares detectadas en laboratorio pueden extrapolarse al ser humano, ni tampoco si los efectos observados en estudios experimentales se deben a una acción directa o indirecta de los CEM. La reacción fisiológica desencadenada por la presencia del estímulo de CEM podría hacer al organismo más vulnerable frente a los verdaderos agentes etiológicos. En este caso, los CEM podrían actuar como un factor de riesgo que, en presencia de otros factores o condicionantes, podrían facilitar la aparición de una enfermedad

Pero, sin embargo, la realidad es que no disponemos de evidencias claras y convincentes. Es necesario seguir investigando sobre los mecanismos celulares y moleculares implicados, los límites o umbrales peligrosos y la identificación de los efectos sobre el sistema nervioso central y el sistema reproductivo.

• EFECTOS AGUDOS SOBRE LA SALUD HUMANA

El resultado del acoplamiento entre los campos y el cuerpo humano puede producir los siguientes tipos de efectos: cargas superficiales perceptibles, flujos de corriente eléctrica y voltajes eléctricos a través de los vasos sanguíneos, interacciones magnetomecánicas, reacciones químicas, formación y reorientación de dipolos eléctricos, estimulación eléctrica, absorción de energía y elevación de la temperatura de los tejidos (1°-2°C), corrientes de contacto o descargas transitorias, alteración de los dispositivos o implantes médicos, shocks y quemaduras (CEM de alta frecuencia, 100 kHz - 110 MHz), efectos cardiovasculares y hemodinámicos.

De los estudios experimentales no se han deducido efectos adversos para la salud cuando la densidad de corriente inducida en los tejidos de los sujetos expuestos es igual o inferior a 10 mA/m2. Por encima de este valor se han observado cambios funcionales en el sistema nervioso. Así, en roedores se ha observado una disminución en la síntesis de melatonina, una hormona de la glándula pineal a la que se le atribuyen propiedades oncostáticas y de secuestrador de radicales libres. En voluntarios expuestos a CEM se han descrito sensaciones visuales con un ligero centelleo, así como una ligera reducción del ritmo cardiaco.

Los datos experimentales disponibles indican que los CEM no ionizantes no son capaces de provocar alteraciones en la molécula del ADN.

• POSIBLES EFECTOS DE EXPOSICIONES CRÓNICAS: INVESTIGACIÓN EPIDEMIOLÓGICA

A partir de los trabajos de Wertheimer y Leeper (1979) se han realizado numerosos estudios epidemiológicos con resultados heterogéneos (positivos y negativos). La mayoría de los resultados se refieren a la posible asociación de exposición a CEM y leucemia o cáncer cerebral.

En numerosos estudios las asociaciones encontradas han sido débiles, pero consistentes, y con riesgos relativos muy próximos a la unidad. Sin embargo, otros estudios epidemiológicos no han encontrado estas asociaciones. En algunos de los estudios se detectan inconsistencias, errores metodológicos, sesgos de selección o publicación, dificultades objetivas en la medición de la exposición y factores de confusión.

Son numerosas las incertidumbres que los estudios epidemiológicos no han podido desvelar. Una de ellas es que los resultados obtenidos no demuestran una relación de dosis- respuesta.

Las discrepancias entre los resultados de los estudios basados en estimaciones teóricas de la exposición y los estudios que utilizan medidas directas de la intensidad de la exposición, junto a la ausencia de pruebas experimentales y de un mecanismo biológico plausible para causar la enfermedad han originado una gran incertidumbre sobre la posible relación entre leucemia infantil y CEM.

En una reciente meta-análisis sobre CEM y leucemia, realizado por Wartenberg (1998), se concluye que existe un riesgo consistente que no puede ser explicado por causas aleatorias. Sin embargo, el autor reconoce que son necesarios nuevos estudios sobre

individuos altamente expuestos para superar las inconsistencias detectadas en los estudios revisados.

· OPINIÓN DEL COMITÉ DIRECTOR CIENTÍFICO DE LA COMISIÓN EUROPEA

Las conclusiones de este Comité (junio 1998) fueron las siguientes:

- La bibliografía científica disponible no proporciona suficiente evidencia para deducir que los CEM producen efectos a largo plazo. Por ello, no pueden establecerse límites de exposición crónica a la luz del conocimiento científico.
- Los programas de investigación que se están realizando actualmente (OMS y 5º Programa Marco de la UE) pueden proporcionar una base científica apropiada para evaluar el riesgo.
- Por lo que se refiere a los efectos térmicos agudos de los CEM de 0 Hz 300 GHz las directrices de la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP) constituyen una base adecuada para establecer límites de exposición aguda de la población.
- Respecto a los mecanismos e interacciones, además de los efectos agudos descritos anteriormente, se informa que los CEM podrían modificar la permeabilidad de la membrana celular. Esto conduciría a eventuales alteraciones de factores tales como la homeostasis de iones biológicamente relevantes (calcio y otros). La evidencia experimental indica que los CEM no ionizantes no modifican la estructura de efectos mutagénicos. Los estudios de carcinogénesis en animales no permiten deducir una conclusión final. Hay poca evidencia de que los CEM tengan un efecto promotor de cánceres.
- Estudios epidemiológicos no han demostrado una relación causal entre cáncer y CEM. Por tanto no hay base científica para establecer valores límite. Si se aceptara que existe un riesgo de leucemia en niños expuestos a CEM el incremento relativo sería menor a 10-6.
- En relación con la "Hipersensibilidad Electromagnética" el Comité menciona que hay personas que sienten reacciones adversas como dolores inespecíficos, fatiga, cansancio, disestesias, palpitaciones, dificultad para respirar, sudores, depresión, dificultades para dormir, y otros síntomas atribuidos a la exposición a CEM. Recogiendo las conclusiones de un Grupo de Expertos (DG V) el Comité concluye que no hay suficiente información disponible sobre la posible hipersensibilidad debida a los CEM.

Actualmente está en marcha un programa de investigación de la OMS, el IARC y ICNIRP y otras organizaciones internacionales y centros nacionales de investigación de numerosos países. Este estudio iniciado en 1996, pretende coordinar los programas de investigación, evaluar la bibliografía científica, identificar los problemas para realizar evaluaciones de riesgo fiables, promover programas de investigación, etc.

· EVALUACIÓN Y GESTIÓN 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 (ER) tiene 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-repuesta.
- 3) Evaluación de la exposición: Estimación de la magnitud cuantitativa y cualitativa, tipo, duración, distribución de los efectos sobre la salud, severidad, etc.
- 4) Caracterización del riesgo: La interpretación de la información de 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 (GR; '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? (ER) ¿Qué estamos dispuestos a aceptar? (GR) y ¿Qué deberíamos hacer? (GR).

La exposición a CEM puede evaluarse con estas dos herramientas y de hecho así lo están haciendo todas las partes implicadas (científicos, industria, opinión pública, políticos, etc.). El problema surge en el momento en el que la información suministrada por los estudios científicos no es concluyente o definitiva, o incluso es contradictoria, como es el caso de los CEM (no se detecta dosis -respuesta, dificultades en la medición de la exposición, etc.). Por tanto debemos movernos en una cierta ambigüedad o incertidumbre.

La primera dificultad es que la mayoría de la opinión pública no acepta esta incertidumbre y no entiende los resultados epidemiológicos en términos de probabilidad, o no se contenta con una conclusión que no es más que una ausencia de conclusión.

La segunda dificultad es que si existe un riesgo, por bajo que este sea, hay que reducirlo a cero.

Suprimir la exposición (a los CEM) no es siempre ni realizable ni deseable porque, sencillamente, esta exposición está ligada a actividades de las que se deriva un beneficio personal o social (electricidad, comunicaciones, ordenadores, telefonía, etc.). La supresión o disminución del riesgo siempre tiene unos costes que no están completamente justificados. Por ejemplo, si se exige el enterramiento de las líneas de alta tensión, debe tenerse en cuenta el coste, o los peligros potenciales que ello puede conllevar si no se señalan correctamente las líneas enterradas. Es necesario informar al

ciudadano que descansa tranquilamente en un banco de un parque situado justo encima de la línea enterrada o al trabajador que abre una zanja de canalización y desconoce la existencia de la línea subterránea.

No existe el riesgo nulo, sí un riesgo admisible o tolerable. El balance entre la evaluación del riesgo y las medidas necesarias para su prevención debe ser equilibrado. Respecto a los CEM no son necesarias medidas de ámbito colectivo, drásticas y urgentes porque la evidencia científica no las justifica actualmente.

• Recomendación del consejo de la unión europea relativa a la limitación de la exposición de los ciudadanos a los CEM OHz - 300 GHz

Con el fin de dar respuesta a la preocupación social por los posibles riesgos para la salud de las exposiciones a los CEM, la Unión Europea está a punto de aprobar una Recomendación destinada a prevenir los efectos agudos de los CEM.

Esta iniciativa se basa en las directrices de la ICNIRP, en la evidencia científica disponible y en el informe del Comité Director Científico de la UE.

Entre las obligaciones de los estados miembros de la Unión Europea se recogen las siguientes:

- Adopción de un marco de restricciones básicas y niveles de referencia.
- Aplicación de medidas en relación con las fuentes específicas que dan lugar a exposición de los ciudadanos cuando el tiempo de exposición sea importante.
- Realizar un análisis coste-beneficio de las medidas necesarias para la protección de la salud.
- Aplicar procedimientos normalizados o certificados europeos o nacionales de cálculo y medición para evaluar el respeto a las restricciones básicas.
- Proporcionar al público información en un formato adecuado sobre los efectos de los CEM y las medidas para hacerles frente.
- Promocionar la investigación sobre CEM y salud humana.
- Elaborar informes sobre las medidas que se apliquen en cumplimiento de la recomendaciones.

Por su parte la Comisión Europea asume las tareas siguientes:

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

- Continuar participando en el trabajo de las organizaciones internacionales con competencias en la materia para garantizar la coherencia de la Recomendación.
- Elaborar un informe en el plazo de 5 años que tenga en cuenta los informes de los estados miembros, y los avances científicos producidos con objeto de revisar o actualizar el contenido de la Recomendación.

El Ministerio de Sanidad y Consumo una vez que se apruebe esta Recomendación adoptará las medidas necesarias para su aplicación en nuestro país. Lógicamente, las medidas deberán ser consensuadas por todas las partes interesadas: ciudadanos, industria, administración, fabricantes, sector de telecomunicaciones, etc.

Para la aplicación práctica de la Recomendación será necesario contar con el asesoramiento técnico y científico de expertos reconocidos en la evaluación del riesgo de los CEM.

En esta línea deberán ser recogidas las aportaciones y conclusiones de los Grupos de trabajo nacionales que han publicado sus conclusiones sobre los efectos en la salud de los CEM (CIEMAT y IV Congreso de Medio Ambiente).

Referencias

- Wertheimer, N.; Leelper, E.D. (1979) Electrical Wiring configurations and childhood cáncer. Am J Epidemiol 109 (3): 273-284
- Wartenberg, D. Residential Magnetic Fields and childhood LeuKemia: a metaanalysis Am J Public Health. 1988: 88: 1787- 1794
- Van Leeuwen CJ, Hermens JLM. Risk Assessment of Chemicals: An introduction. Kluwer Academic Publisher 1995.
- Group of Experts of the European Commission DG V. Possible health implications
 of subjective symptons and electromagnetic fields. EC DG V. Employment,
 industrial relations and social affairs. Public Health and safety at Work.
 Arbetslivsinstitutet (NIWL) 1997: 19
- Cost 244 bis Project. Forum on future Eueropean Research on Mobile Communications and Health, 19-20 April 1999. College of Chemistry and Physics (ENSCPB) University of Bordeaux. France. Electra 2000 – FGF DG XIII.
- Grupo de Trabajo "Efectos sobre la salud de los Campos Eléctricos y Magnéticos (EM) IV Congreso de Medio Ambiente. Madrid 1998.
- Comisión de las Comunidades Europeas. Propuesta de Recomendación del Consejo relativa a la limitación de la exposición de los ciudadanos a los campos electromagnéticos 0Hz 300 GHz. Cosn (1998) 268 final, 98/0166 (CNS).
- Report and opinion adopted at the meeting of the Scientific Steering Committee of 25-26 June 1998. Possible Health Effects from exposure to electromagnetic fields 0Hz – 300 GHz. European Union.

•	Communicating about risks to environm Stern Mand Biocca M. WHO Region Publishers 1997.	ent and health in Europe. nal Office for Europe.	Edited by Gray. P. Kluwer Academic

PROGRESO Y CALIDAD DE VIDA

Juan Manuel Román Presidente de la Asociación de Vecinos de Daganzo de Arriba, CAVE. Canalizador de las demandas de afectados.

Uno de los principales frentes de trabajo de las asociaciones de vecinos es hoy día la lucha por mantener la calidad de vida de sus conciudadanos. Para lograrlo trabajan escrupulosamente en la defensa de la salud y del medio ambiente.

En los últimos años, de forma silenciosa y amparados en el imprescindible progreso tecnológico, las compañías eléctricas y de telefonía nos han rodeado de un fenómeno invisible pero potencialmente dañino para nuestra salud y la de nuestro medio ambiente: las radiaciones electromagnéticas emitidas por las líneas de transporte y distribución eléctricas, y más recientemente por las antenas de telefonía móvil. Cuando hablamos de los campos electromagnéticos y sus posibles efectos sobre la salud -cáncer, leucemia infantil, afección del sistema inmunológico, alteraciones de los ciclos circadianos, etc.-haremos mención a aquellos estudios que, a nuestro parecer, tienen un claro carácter independiente dentro de la prolífica bibliografía en pro y en contra aparecida en los últimos años.

Haciendo un poco de historia comenzaremos recordando las últimas movilizaciones sociales que se han ido sucediendo. En el caso de Rosa Luxemburgo en San Sebastián de los Reyes (Madrid), el vecindario se puso en marcha tras aparecer varios casos de cáncer en el barrio. Así, se comenzó a investigar desde algunas fotocopias de artículos publicados en el extranjero, a través de charlas y conversaciones con expertos, o recogiendo recomendaciones como la de la Doctora Jocelyne Leal que instaba a la realización de más estudios epidemiológicos, la posible relación entre ciertas enfermedades con la cercanía de centros de alta tensión. En este ámbito el Informe Karolinska, el estudio más representativo y amplio tanto por el número de sujetos estudiados como por los resultados obtenidos, se ha convertido en el "Padre Nuestro" de la lucha ciudadana contra los efectos adversos de las radiaciones electromagnéticas.

Con esta pequeña base los componentes de la Asociación de Vecinos, Rosa Luxemburgo, consiguieron el compromiso del Ayuntamiento de Alcobendas, el de San Sebastián de los Reyes, y la Comunidad de Madrid para lograr el traslado de la línea de alta tensión. Desde entonces hasta estos días la labor de las asociaciones de vecinos se ha desarrollado en varios frentes, siempre implicándose y evitando en todo momento ser acusados de promover lo que las empresas eléctricas y las administraciones califican, con claros intereses económicos, como "alarma social".

En este sentido cabe destacar el tenaz trabajo realizado por la Asociación de Vecinos Osa Mayor de Aravaca (Madrid), que tras años de escritos y mucha paciencia consiguió que el Defensor del Pueblo se pronunciase a favor de los vecinos y, a fuerza de reuniones, presentación de documentos y repetidas denuncias, también lograron la intervención del Fiscal de Medio Ambiente del Tribunal Superior de Justicia de Madrid quien instó a todas las partes en litigio: Ayuntamiento, Comunidad Autónoma y compañías eléctricas para que llegaran a un compromiso. Finalmente se fijó un plazo para el traslado y soterramiento de varias líneas de alta tensión.

De forma paralela a estas acciones se han establecido los primeros contactos entre afectados de toda España, al tiempo que se ha ido consolidando la base científica. En definitiva, las asociaciones de vecinos han puesto el primer embrión para el reciente nacimiento de una gran plataforma nacional de afectados por las radiaciones electromagnéticas, que a su vez se suma a las redes internacionales ya existentes.

Además algunas ONG, como GEA o la propia AEDENAT, se han unido a este movimiento y advierten, cada vez con más contundencia, sobre los posibles efectos nocivos para la salud y el impacto ambiental que está provocando en nuestras ciudades, nuestros pueblos, y nuestros campos con el consiguiente daño a flora y fauna. También queremos recordar y agradecer la importante labor de otras instituciones como el Instituto de Bioelectromagnetismo Alonso de Santa Cruz y especialmente a su director, el Doctor D. José Luis Bardasano, que ha apoyado a las asociaciones de vecinos y ha publicado prestigiosos trabajos sobre el papel de la melatonina en el desarrollo de enfermedades. Estudios que han recibido elogios en foros internacionales y en los que se alerta sobre la peligrosidad de la exposición residencial prolongada a radiaciones electromagnéticas.

Gracias a dichos estudios recientemente se han podido plantear luchas legales contra la contaminación por radiaciones electromagnéticas y así, en Murcia, Palencia, y Madrid (Vallecas) se comienzan a denunciar ante los tribunales la incorrecta instalación de transformadores de alta tensión junto o debajo a viviendas particulares. También en Alcalá de Henares y Lorca, ante la peligrosidad de subestaciones eléctricas junto a zonas habitadas; y en Daganzo, Lérida, Merzas, se han iniciado acciones en contra del emplazamiento de líneas de alta tensión en estos municipios. De forma más generalizada se puede citar la Comunidad de Cantabria donde los problemas de contaminación afectan a un mayor número de poblaciones. El movimiento se demuestra andando y así hemos de felicitarnos por haber logrado la reciente puesta en marcha, el pasado 4 de abril en la Pobla de Segur (Lleida), de la primera Coordinadora Estatal contra Líneas de Alta Tensión e Instalaciones Transformadoras, en la que están presentes Asociaciones de Vecinos de toda la península, y que pedirá a las administraciones y a las empresas una moratoria de 10 años para detener la construcción de nuevas líneas de alta tensión hasta que se legisle una normativa que reordene y optimice el conjunto de la red eléctrica bajo criterios sanitarios y ambientales.

Por último, otro rayo de esperanza viene en esta ocasión del Parlamento Europeo. El máximo organismo legislativo de la Comunidad Europea debatió y aprobó el pasado mes de marzo una resolución sobre la propuesta del Consejo de limitar la exposición de los ciudadanos a los campos electromagnéticos, y en la que alentaba a los estados miembros a realizar más estudios para garantizar la protección de la salud de los trabajadores y los derechos de los ciudadanos. Llegados a este punto sólo nos queda preguntarnos en voz alta: ¿Hasta dónde la legalidad? ¿Qué instituciones y organismos públicos atenderán las reivindicaciones de las asociaciones de afectados? ¿Se iniciarán estudios epidemiológicos en nuestro país? ¿Se están soterrando las líneas de la forma más adecuada?, etc.

La sensibilización social es el arma más eficaz entre los miles y miles de afectados por líneas aéreas, subestaciones, transformadores, etc. para concienciar a la población y forzar una legislación eléctrica acorde con los tiempos que vivimos. Un marco legal garante de la salud y del medio ambiente, que asegure la calidad de vida de los ciudadanos.

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 Absortion Rate) y se expresa en watios/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/m2) de la onda. La densidad de flujo, por razones prácticas, suele formularse en mW/cm2 ó mW/cm2.

El documento "Critères de l'hygiène de l'environnment" 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/cm2 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/cm².
- 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 mW/cm².

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/cm²)
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/cm²)	
CENELEC Commite Européen de Normalization Electrotechnique	0,45 a 900 MHz 0,90 a 1800 MHz	
ICNIRP International Commission on Non Ionizing Radiation Protection	0,43 a 900 MHz 0,90 a 1800 MHz	
IRPA International Radiation Protection Association	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 Braumschweig, 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 Braumschweig, 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 electromágneticas 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 lider 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 resitivas, 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 esta 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. Está 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. Enviromental Protection Agency", son los aparatos portátiles los que más emisión de campo magnético producen, por ejemplo aspiradores (hasta 18 μT) o abrelatas eléctricos (hasta 28 μT)

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 pos 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 incremente 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 μT 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 μT; 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

- 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 μ 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.

CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS: CAUSALIDAD, MATEMATICISMO, CAOS Y PRUDENCIA CIENTÍFICA

Pedro Costa Morata

Director del Gabinete de Medio Ambiente del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Telecomunicaciones. Premio Nacional del Medio Ambiente

En el desarrollo de la polémica sobre los posibles efectos fisiológicos nocivos de los campos electromagnéticos (CEM) entran en juego el manejo y la utilización de conceptos lógicos, matemáticos o científicos en general. En este artículo el Premio Nacional del Medio Ambiente, Pedro Costa Morata, cuestiona las bases científicas de algunos investigadores teóricos.

· LA CAUSALIDAD

En la polémica sobre los efectos nocivos de los CEM juega un papel fundamental el principio de la causalidad, es decir, el hecho de que puedan relacionarse, incuestionablemente, el efecto que pretendemos establecer y la causa a la que queremos atribuirlo. El principio de causalidad se expresa como: "Todo tiene una causa, y en idénticas condiciones las mismas causas producen los mismos efectos". Pero la aparente sencillez de este enunciado se convierte en obstáculo generalmente insuperable en el mundo de los fenómenos naturales. Asegurar que determinados cánceres están originados por la presencia de unos campos electromagnéticos, y sólo por éstos, es tarea ardua en un ambiente en el que las sustancias cancerígenas son tan ubicuas como anónimas.

Para dar salida a ese atasco, digamos conceptual, se recurre a los estudios epidemiológicos, que sin constituir instrumentos determinantes de causalidad son al menos hechos empíricos que legitiman la elaboración de conclusiones con un alto grado de fiabilidad. Otra cosa es que la evidencia causal o epidemiológica pueda alcanzar validez jurídica en un proceso de atribución penal de responsabilidades, y por eso precisamente la parte que se coloca a la defensiva en la polémica de los campos electromagnéticos y sus efectos suele atrincherarse en la negativa "científica" a admitir evidencia causal.

· FISICISMO Y MATEMATICISMO

Simplificando un poco con la intención de ilustrar la que venimos planteando puede decirse que se delinea con bastante claridad una posición encontrada, casi dialéctica, entre las actitudes frente a los CEM de los físicos y los biólogos/médicos. Se insiste desde el punto de vista físico en que por debajo del nivel energético de los 12,4 electrón-voltios las radiaciones son no ionizantes (RNI), y por tanto no pueden afectar a la materia viva. Es en el trabajo de los biólogos y los médicos cuando se obtiene evidencias de que sí se producen estas perturbaciones, incluso con campos de baja frecuencia, y para fundamentarlo se despliega un abanico de posibilidades y de vías de perturbación —los mecanismos del transporte del calcio o del sodio en la célula, las alteraciones en la segregación de la melatonina, el papel promotor/iniciador de los CEM en procesos cancerígenos, las sinergias con agentes químicos, etc.- que abonan una

realidad mucho más animada y diversa de cómo quisieran reflejar las posturas teóricas "textuales".

Este fisicismo se debe en gran medida a los excesos provenientes del enunciado galileano de que "la naturaleza está escrita en lenguaje matemático". Esta visión matematicista, procedente del racionalismo del siglo XVII, coacta y reduce la extensísima realidad natural, y muy especialmente la de los fenómenos no lineales, conocidos desde entonces pero tomados mucho más en serio bien entrado el siglo XX.

Más prudentemente, Paul Dirac destacará que "las leyes físicas deben tener belleza matemática", a la vez que advierte que no todas las soluciones de las leyes/ecuaciones matemáticas tienen por qué poseer significado físico, como se llega a creer; la realidad de los fenómenos naturales es una parte de las posibilidades de creación abstracta de la matemática.

· UN CAOS QUE INVITA A LA HUMILDAD

Si, en efecto, existe algún sistema no lineal éste es el conjunto de los fenómenos naturales, señala Sánchez Ron. Y es el caos una de las características más inevitables —e interesantes— de muchos sistemas no lineales. Con toda seguridad, el mundo de los campos electromagnéticos se inscribe, en alguna medida y sobre todo en sus relaciones con la materia viva, en esa realidad escurridiza, e incluso desesperante, de lo caótico.

Dado, pues, el tantas veces desconcertante funcionamiento de los fenómenos físicos, que ha llegado a caracterizar a la física actual y sus tendencias, los estudiosos e investigadores debieran asumir mayores dosis de humildad en su quehacer científico, descartando las actitudes dogmáticas y no temiendo asumir un espíritu abierto y "revisionista". Porque, por ejemplo, la sugerente belleza de las ecuaciones de Maxwell no tiene por qué expresar exactamente la realidad electromagnética.

Esta humildad, por otra parte, debiera ser correlativa con la actitud de prudencia y respeto frente a la naturaleza, actitud que no pertenece, ciertamente, a la tradición de la Revolución Científica y que se afirma sobre todo en la etapa más reciente, en que el mundo ha sufrido las consecuencias de la osadía, la indecencia o la irresponsabilidad en la comunidad científico-técnica. Hay que reconocer que, afortunadamente, la "corrección ecologista", afirmada desde la Segunda Guerra Mundial y convertida en movimiento social desde finales de los años 60, ha ido poniendo en un brete buena parte del trabajo de los científicos y los técnicos, sobre todo por su alejamiento de los intereses verdaderamente sociales. El biólogo y ecologista norteamericano Barry Commoner atribuye al predominio de la Física sobre la Biología, en la etapa posterior a 1945, las repercusiones crecientes en la salud humana y los seres vivos en general de los avances científicos.

Quedaría por añadir que nunca debe descartarse el sentido común como marco envolvente del trabajo científico-técnico. Y en ese sentido pretender que la recarga incesante del medio ambiente con energía radiante electromagnética es un proceso que no ha de tener repercusiones negativas en la materia viva ("con las leyes físicas en la mano") pertenece claramente al dominio, ordinario, de la insensatez.

PEDRO MIELGO.

Presidente de Red Eléctrica de España

Nacido en 1946, es Ingeniero Industrial por la Universidad

Politécnica de Madrid. Ha desarrollado su carrera profesional en los sectores petroquímico, del petróleo, eléctrico, de ingeniería y de comercio internacional, ocupando cargos en la dirección de empresas como REPOSA, CAMPSA, INITEC (la primera compañía de ingeniería española) e INIEXPORT. Actualmente es Presidente de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, la compañía que opera la red y el sistema eléctrico nacional.

¿Cuál es el origen de Red Eléctrica de España y sus principales cometidos? ¿Cómo encaja en el sector eléctrico español, y en el contexto internacional?

Red Eléctrica de España, S.A. se creó en 1985 como consecuencia de la Ley de Explotación Unificada del Sistema Eléctrico. En aquel momento con la constitución de Red Eléctrica se trató de dar un paso decisivo, pasar de un sistema de mercados regionales de electricidad a un sistema de ámbito nacional, con una perspectiva global. Esta entidad tendría dos funciones principales: gestionar la red de transporte y el sistema eléctrico peninsular y optimizar los costes. Hoy los cometidos principales continúan siendo los mismos, pero se ha pasado de un modelo de costes centralizado o administrado a un modelo de precios en el que, mediante los mecanismos de mercado, los agentes fijan los precios cada día.

Estos inicios, que hoy son parte de la historia, fueron muy novedosos entonces. Algo que otros países no habían hecho. Red Eléctrica de España fue pionera en esta tarea, la primera empresa del mundo especializada en el transporte de energía eléctrica y en la operación de sistemas o de redes. Posteriormente muchos países han seguido este modelo u otros parecidos.

¿En qué consiste y para qué sirve una red de transporte de energía eléctrica? ¿Qué ventajas presenta para un sistema eléctrico que exista un gestor de la red de transporte diferenciado de las empresas generadoras y suministradoras?

La red de transporte es el vehículo que conecta la generación y la distribución, la oferta con la demanda. Es la dimensión física del mercado, independientemente de cómo esté regulado. Sin red habría mercados locales o de generación, pero no un mercado nacional tal y como lo conocemos ahora. Además, la red de transporte contribuye a la economía y al eficaz desarrollo del sistema, porque permite a la generación alternativas que con una red poco desarrollada serían imposibles.

En cuanto a las ventajas de que exista un gestor de la red, hay que señalar que la especialización conduce a una mayor eficiencia y rigor. Una empresa gestora de la red realiza una única función, no se ve obligada a dar prioridades a la generación sobre la distribución o a ésta sobre el transporte, sino que se dedica a hacer bien lo que tiene encomendado.

La especialización permite una mayor independencia de los agentes, lo que beneficia al conjunto del sistema, conduce a una mayor transparencia -que en el caso español, está

garantizada por una serie de procedimientos y regulaciones muy concretas-, facilita la supervisión de la administración o el organismo regulador y permite contribuir a una mayor eficiencia que repercute en los consumidores en forma de precios más bajos.

En breve plazo SEPI sacará a bolsa un tanto por ciento importante de las acciones que posee de Red Eléctrica ¿Cómo afectará eso a su actividad? ¿Qué implicaciones puede tener el hecho de dejar de ser una empresa pública y pasar a depender del capital privado? ¿Se privatizará completamente en un futuro?

Una empresa no deja de tener las mismas exigencias desde el punto de vista de la gestión, ni las mismas responsabilidades frente a sus accionistas, ya sea pública o privada. El hecho de cotizar en bolsa refuerza estas obligaciones, porque la empresa es analizada y evaluada continuamente por los mercados y los inversores. La privatización paulatina de Red Eléctrica significa, obviamente, que el Estado intervendrá menos en su proyección y que hemos de preocuparnos de nuestro propio destino, en cómo crear valor, en aumentar el valor añadido. Nos obliga a pensar en la diversificación, en nuevas actividades y a expandirnos fuera de nuestras fronteras.

Estamos ante el final de un ciclo privatizador en que el Estado se termina de retirar de las actividades empresariales en el campo energético. Ya se ha privatizado el grupo Endesa, Repsol, Gas Natural y ahora le llega el turno a Red Eléctrica de España, que seguirá contando a pesar de esta reestructuración con una participación del Estado, aunque sea minoritaria.

Red Eléctrica está en un proceso de diversificación e inversión en el extranjero, ¿qué planes estratégicos de futuro tiene?

La estrategia de Red Eléctrica se encamina a desarrollar las actividades reguladas en el sistema eléctrico español, y por otra parte entrar en nuevas actividades afines a lo que sabemos hacer, tanto en España como en el exterior: consultoría, asesoría, mantenimiento, ingeniería, etc.

También pretendemos aplicar los recursos disponibles a la inversión y al crecimiento en el ámbito internacional. Hay oportunidades directas que surgen de forma natural y otras posibilidades derivadas de procesos de privatización o de venta de empresas, como está ocurriendo sobretodo en países de Iberoamérica y de Asia. Los criterios de selección serán la rentabilidad, y el control de los riesgos. De esta forma los objetivos de mercado son en primer lugar los países de América Latina, y en segundo lugar el Norte de África y Europa del Este.

¿Cómo puede afectar la liberalización del sector eléctrico a Red Eléctrica? ¿Y a los consumidores, tanto a empresas como al público en general?

La liberación del sector conlleva una mayor competencia y por tanto que los resultados estarán menos garantizados que en el pasado. Hay que tratar de compensar esa competencia en un mercado cerrado con las posibilidades de crecimiento y de negocio que existen en otras actividades.

En cuanto a los consumidores, también les afectará la mayor competencia en generación, distribución y en todas las actividades de suministro eléctrico, que a la larga

se traducirá en una tendencia a la baja de los precios. En un futuro próximo los consumidores tendrán más donde elegir y en consecuencia tendrán más posibilidades de exigir. En suma un mayor poder de negociación.

Cambiando de tema y centrándonos en el medio ambiente ¿qué incidencia tienen las instalaciones y actividades de Red Eléctrica en nuestro entorno? ¿Qué acciones se están acometiendo para proteger el medio natural?

Nuestras instalaciones, como otras muchas, tienen un impacto sobre el medio ambiente. En primer lugar el meramente visual que inevitablemente modifica el paisaje, también el de servidumbre de acceso a muchos terrenos y algunos otros, como el riesgo para las aves o la necesidad de intervenir en masas forestales por razones de seguridad, etc. Las actuaciones de REE están encaminadas a prevenir, anticiparse a la aparición de posibles problemas mediante la realización de estudios previos para la selección de corredores, diseño de líneas o emplazamientos de subestaciones, etc. Incluso hemos desarrollado sistemas que están patentados o en vías de patentarse.

¿Cómo percibe la sociedad las instalaciones de Red Eléctrica y su utilidad pública?

Hemos hecho algunos estudios de opinión y se observa una contradicción que resulta hasta cierto punto lógica. En general, la población reconoce que las subestaciones y las líneas de alta tensión son necesarias, socialmente útiles, aunque nadie quiere tener una cerca. Pero más allá de este miedo comprensible se echa en falta una información clara y sin dobleces sobre algunas cuestiones como los posibles efectos en la salud, que es objeto de polémicas, muchas veces, desproporcionadas.

¿Qué postura tiene Red Eléctrica respecto a la polémica planteada sobre los posibles efectos nocivos de los campos eléctricos y magnéticos que generan las líneas de alta tensión? ¿Qué actividades se están desarrollando en esta área?

Las empresas en general cuentan con las instituciones científicas, pero además entidades como Red Eléctrica dedican muchos esfuerzos y también dinero a los estudios sobre las consecuencias derivadas del desarrollo de su actividad. Tenemos programas de colaboración con universidades y con otros organismos, hemos elaborado multitud de trabajos, seguimos con atención día a día todo lo que ocurre en el mundo y lo que se publica en este sentido; y lo cierto es que actualmente no hay indicios contrastados que relacionen los campos electromagnéticos asociados a las líneas de alta tensión con posibles riesgos para la salud. De todas maneras, nuestra actitud es seguir dedicando recursos propios a investigar estas cuestiones.

Diversos organismos, como recientemente el Parlamento Europeo, han solicitado que se establezcan distancias mínimas entre los edificios y las líneas de alta tensión, ¿cómo se contempla esta recomendación en Red Eléctrica?

Ésta no es una petición nueva, ya existen distancias y reglamentos que Red Eléctrica de España siempre ha cumplido. Además, como ocurre en cualquier actividad industrial, y no sólo en ésta, la responsabilidad y la prudencia son dos conceptos esenciales.

También son frecuentes las peticiones y protestas encaminadas a que se entierren las líneas eléctricas, ¿qué opina Red Eléctrica?

Afortunadamente existen tecnologías para soterrar líneas, pero son carísimas. Muchas veces el rechazo que produce una línea eléctrica aérea por razones de impacto visual no esta justificado, y responde más bien a motivaciones de carácter psicológico que no tienen en cuenta los altísimos costes. Enterrar una línea aérea cuesta aproximadamente entre 10 ó 20 veces más que su valor. Soterrar todos los tendidos supondría un gasto que ningún país del mundo se puede permitir. Lo que ocurre es que hay casos excepcionales en los que puede tener sentido por razones de proximidad a zonas muy pobladas.

Pero, de todas formas, son las autoridades quienes tienen que participar en los procesos de identificación de lugares en los que se debe proceder a las labores de enterramiento. Al fin y al cabo el coste del transporte incluido el del soterramiento es algo que repercutiría en la tarifa.

Ya que nuestra publicación se centra en la Física y en sus áreas de actividad, ¿qué papel pueden desempeñar los físicos en una empresa como Red Eléctrica de España?

La realidad sobre la que trabaja Red Eléctrica es una realidad física, por tanto, estos profesionales tienen un sitio dentro de nuestra organización. Además, probablemente, debido a los programas de investigación y desarrollo que tenemos en áreas como los efectos de los campos electromagnéticos o la superconductividad, los físicos tienen más posibilidades de tener un papel destacado en Red Eléctrica que en otras empresas del sector.

¿Tiene previsto Red Eléctrica realizar alguna colaboración con el Colegio Oficial de Físicos?

Red Eléctrica participará muy directamente en el próximo Congreso Nacional del Medio Ambiente, organizado por el Colegio Oficial de Físicos, y también tiene previsto realizar un libro sobre instalaciones eléctricas y campos electromagnéticos en colaboración con esta entidad colegial.

INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO CONTINUO EN EL FUNCIONAMIENTO DE UN MICROSCOPIO ELECTRÓNICO

P. Adeva, J. Ibáñez y M. Aballe* Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. CSIC. *Terp / Hill & Knowlton España, S.A.

Las conclusiones del estudio que a continuación se exponen, demuestran como los campos magnéticos producidos por trenes movidos por energía eléctrica causan perturbaciones en ciertos aparatos electrónicos. Según se desprende de esta investigación el tráfico de tranvías en la línea 6 de la Red Metropolitana de Madrid interfiere en el funcionamiento de los equipos del Laboratorio de Microscopía Electrónica del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM).

Es bastante frecuente que durante el trabajo con un microscopio electrónico se produzcan perturbaciones de naturaleza eléctrica, generalmente debidas tanto a campos magnéticos alternos, con la misma frecuencia que la red, como a campos magnéticos de baja frecuencia. La fuente puede ser continua o intermitente, del mismo modo que la perturbación en sí puede ser de naturaleza continua o en forma de impulsos. Sin embargo, sobre las perturbaciones debidas a campos magnéticos de baja frecuencia producidas principalmente por los sistemas de transporte movidos por energía eléctrica como tranvías, trenes, etc., no hay especificaciones y de hecho la literatura existente está mal documentada.

La propuesta de esta nota técnica es describir los efectos de las perturbaciones que pueden afectar al funcionamiento de un Microscopio Electrónico como consecuencia de la proximidad del equipo a una línea del Metro. Los resultados que se presentan corresponden a medidas realizadas en el Laboratorio de Microscopía Electrónica del CENIM, que permitió asociar dichas perturbaciones a variaciones de campo magnético de baja frecuencia generados por la línea 6 o circular del Metropolitano de Madrid, lo que obligó a cambiar la ubicación del laboratorio.

Los valores numéricos que se dan muestran claramente que las perturbaciones son generadas por el Metro; con posterioridad se pudo comprobar cómo el incremento de tráfico originado como consecuencia del paso de la misma línea a línea circular (cierre del anillo radial de la mencionada línea) dió lugar a un aumento en paralelo de las perturbaciones registradas.

Originalmente, el laboratorio de Microscopía Electrónica estaba ubicado en el Edificio Central del Instituto (punto 3 mostrado en la Fig.1), en un ángulo del mismo bajo el cual, y prácticamente en la vertical, se construyó el túnel que más adelante correspondería a la línea 6 del Metro. El equipo afectado era un MEB modelo JEOL JXA-840SEM / microprobe.

Los problemas comenzaron por la presencia de desplazamientos de la imagen de naturaleza irregular. El hecho de que estos problemas coincidieran con la instalación de un nuevo microscopio, en el mismo lugar en el que uno más antiguo había estado trabajando anteriormente durante años anteriores sin problemas, condujo a los autores y

al Servicio Técnico de la firma instaladora, a suponer que era un problema relacionado con el equipo.

Teniendo en cuenta que el desplazamiento de la imagen en un MEB puede tener distintas causas: contaminación de la columna y diafragmas, derivaciones en el pedestal debido a un aislamiento eléctrico deficiente, problemas de estabilidad de fuente de alta tensión u otros, etc..., fue preciso ir descartando gradualmente estas fuentes de perturbación. Es importante hacer notar que antes de la instalación de un microscopio electrónico, la firma instaladora realiza las medidas de campos magnéticos y vibraciones mecánicas para comprobar que el lugar de ubicación del equipo cumple los requisitos de instalación exigidos por el fabricante. En nuestro caso, y aunque en ese mismo laboratorio se había trabajado durante años sin problemas con un equipo semejante, se hicieron dichas medidas comprobándose la idoneidad del lugar.

La cronología de los acontecimientos mostrada en la tabla 1 es lo suficientemente elocuente como para explicar por qué se tardó tanto tiempo en localizar las perturbaciones. Una vez que fue abierta la línea 6 del Metro al tráfico normal de los trenes, fue fácil identificar el origen de la perturbación en nuestro microscopio.

1972

Instalación del microscopio Jeol JXA 50 A

1978

Construcción del túnel del metro que sería la línea 6,ºpero sin servicio

Septiembre 1985

Desmontaje del microscopio

Octubre 1985

Instalación del nuevo equipo Jeol JXA-840 SEM/microprobe

1986

Comienzo de las perturbaciones

Enero 1987

Apertura de la línea del metro al público

Abril 1987

Localización del origen de las

perturbaciones

Junio 1987

Cambio de ubicación del equipo y por lo tanto del laboratorio de Microscopía

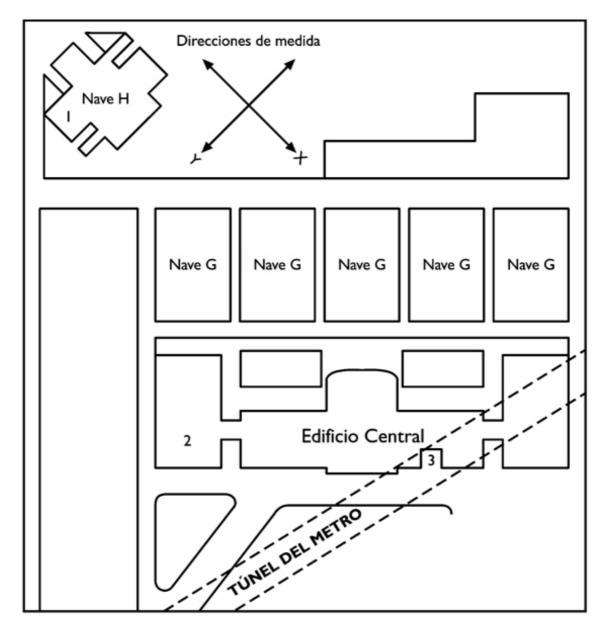
PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El equipo experimental con el que se han realizado las medidas está compuesto básicamente por dos elementos, un gaussímetro o sonda direccional, que mide las variaciones de campo magnético por efecto Hall, y un registrador conectado a la salida del anterior. Las medidas se hacen registrando continuamente cada una de las componentes, aunque la más intensa es la componente vertical o componente Z. El primer estudio se realizó en 1987, haciendo medidas en distintos puntos de nuestro Instituto con el fin de localizar el lugar en el que las variaciones de campo magnético fueran mínimas y así trasladar el microscopio. Posteriormente se han vuelto a hacer

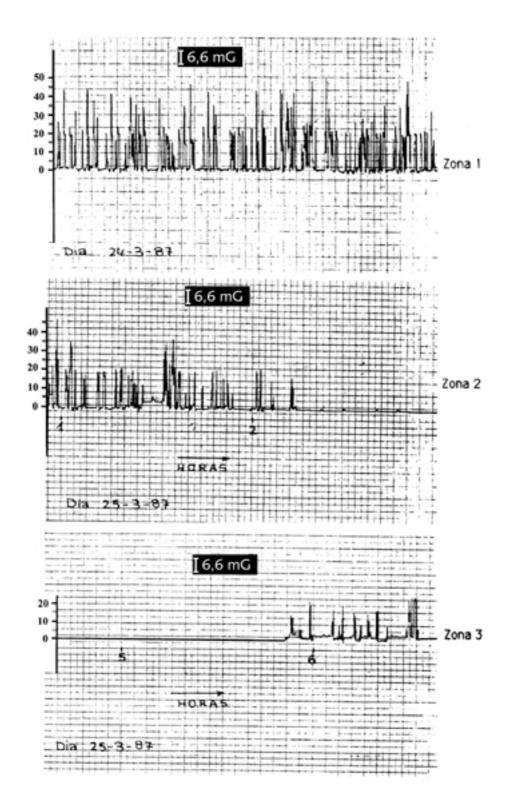
medidas, concretamente en el año 1996 ya que se adquirió un Microscopio Electrónico de Transmisión Analítico de 200 kV y hubo que comprobar si el laboratorio reunía los requisitos especificados por el fabricante, para ser instalado. Recientemente, y con motivo de los estudios realizados por el Instituto de Magnetismo Aplicado, para el Hospital Clínico San Carlos de Madrid, el Instituto de Magnetismo Aplicado, se han vuelto a tomar medidas con el fin de determinar el efecto que podría causar en los equipos de diagnóstico, la variación del campo magnético originada por la nueva línea 7 del Metropolitano, cuyo túnel está situado por debajo de dicho Hospital.

· RESULTADOS

La Figura 1 muestra un plano del Centro con la disposición de los distintos edificios y el trazado de la línea 6 del Metro de Madrid; en los puntos 1 a 4 se indican los lugares en los que se han realizado las medidas del campo magnético. El punto 3 corresponde a la antigua ubicación del Laboratorio de Microscopía Electrónica, y como se indicó en la introducción, el eje del túnel de Metro pasa casi exactamente por debajo del mismo. El Laboratorio de Microscopía Electrónica está situado actualmente en el edificio H.



La figura 2 muestra el registro continuo de la variación de la componente Z (variación más intensa) del campo magnético continuo, desde las 17 h del día 24-3-87 hasta las 9 h del día 25-3-87 en el antiguo laboratorio (punto 3 del plano), en la que se pueden distinguir tres zonas bien diferenciadas, que posteriormente se pudieron asociar a distintas intensidades de tráfico de trenes. En la zona I, que corresponde a horas centrales del día, se observan variaciones de la componente de baja frecuencia cuya amplitud llega a ser de 53 mG. En la zona II se observan oscilaciones de menor amplitud (30 mG) y más espaciadas en el tiempo. Este tipo de registro aparece entre las 0,30 h y las 2,15 y las 5,40 y 6,30 h de la madrugada. La zona III no presenta oscilaciones del campo magnético entre las 2,15 y las 5,40 h de la madrugada, es decir cuando no hay tráfico.



Simultáneamente al registro de estas oscilaciones se realizaron observaciones en la pantalla del MEB, por lo que se pudo concluir que la aparición de los picos en el registro coincidía con el desplazamiento de la imagen. Este desplazamiento es tanto mayor cuanto mayor es la amplitud de la variación.

Se ha comprobado experimentalmente que en el punto 3, con E= 15 keV de potencial de aceleración y 39 mm de distancia de trabajo, oscilaciones de 50 mG dan lugar a desplazamientos de la imagen (es decir de la zona barrida sobre la muestra) de unas 5

mm. Además, el desplazamiento de la imagen es más acusado al disminuir el potencial de aceleración y al aumentar la distancia de trabajo WD, es decir cuanto más separada está la muestra de la pieza polar.

Utilizando un modelo muy simplificado basado en la mecánica clásica, hemos tratado de expresar el desplazamiento lateral D del haz de electrones por la acción de un campo magnético B suponiendo que, la trayectoria del haz de electrones es rectilínea y no helicoidal y que la perturbación se produce cuando el haz de electrones viaja entre la pieza polar y la muestra (distancia de trabajo, WD).

Así,

$D = 4.7 \times 10-4 \times B \times WD2 / E 1/2$

D= Desplazamiento del haz en μm

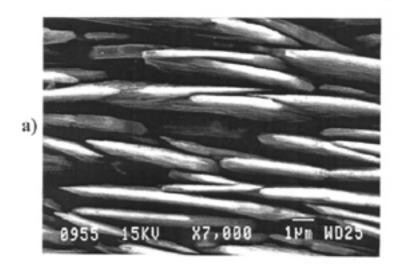
B= Componente horizontal del campo magnético en mG

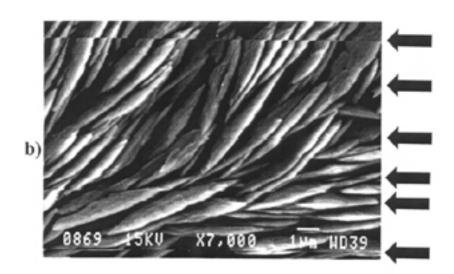
WD= Distancia de trabajo en mm

E= tensión de aceleración del haz de electrones en keV

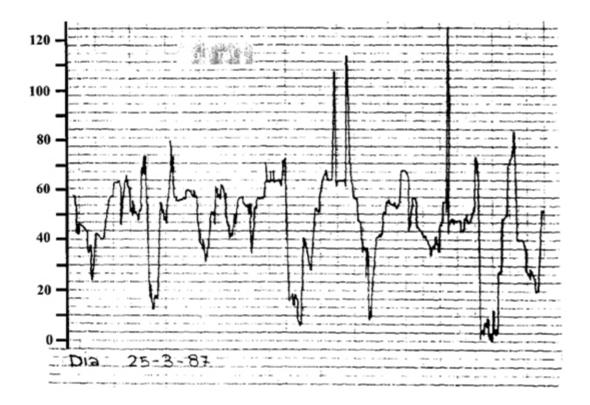
Sustituyendo en esta expresión los valores anteriores, es decir: WD= 39 mm, D= 5 μ m y E=15 keV, se obtiene para B un valor de 27 mG, dentro del orden de magnitud de los 50 mG medidos. Hay que tener en cuenta que este valor es, en todo caso, una cota inferior, ya que el campo magnético sigue actuando sobre el haz de electrones durante su trayectoria desde la salida de la muestra hasta llegar al detector. Esta expresión también explica que el desplazamiento del haz sea mayor a medida que disminuye la tensión de aceleración, como se ha observado experimentalmente.

En la figura 3 se muestra la micrografía tomada en una muestra durante la noche, es decir en ausencia de variaciones de campo magnético (Fig.3a) y el efecto de la perturbación cuando la fotografía se toma en las horas centrales del día (3b). El desplazamiento de la imagen, durante la observación en barrido de TV, se produce a lo largo de una línea que forma 45° con la horizontal y se aprecia como un desplazamiento lento y continuo mientras se produce la variación del campo magnético (pico). Cuando la perturbación desaparece, la imagen vuelve rápidamente a su posición inicial. El efecto en las micrografías es el de una imagen movida y de aspecto similar al de un fenómenos de carga (Fig.3b).





Lógicamente estas variaciones de campo magnético son mucho mayores a menor distancia de la línea del Metro; en particular, la figura 4 corresponde a datos recogidos en las mismas fechas en las proximidades de la Subestación Gregorio de Amo, situada a unos 100 m del CENIM, y se observan oscilaciones que alcanzan valores de 115 mG.



Dada la disposición de los edificios, y que el punto más alejado de la línea correspondía al edificio H, se realizaron también medidas de campo magnético en dicha ubicación; las medidas correspondientes a los puntos 1 y 4 mostraron oscilaciones mucho menores, de unos 3 mG, por lo que y se decidió trasladar a este lugar el laboratorio de Microscopía Electrónica.

Esta disminución tan espectacular de la variación del campo magnético con la distancia a la fuente es sólo una comprobación adicional de que la perturbación está originada por el Metro.

En el año 1996, con motivo de la adquisición e instalación de un Microscopio Electrónico de Transmisión Analítico, la firma instaladora procedió a realizar un estudio completo de las variaciones de campo magnético en el CENIM, y en particular se hicieron de nuevo medidas en los puntos 1 a 4.

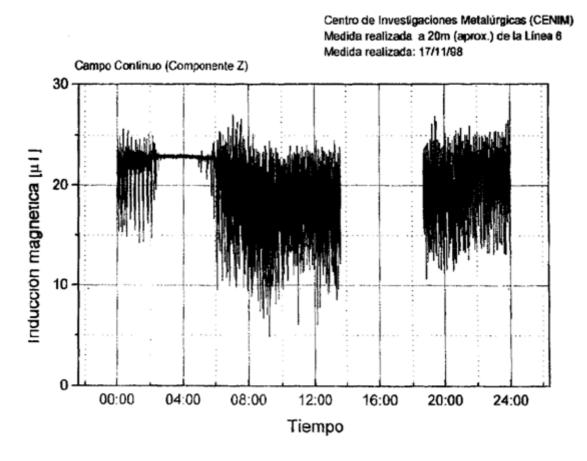
En la Tabla II se resumen las variaciones máximas de la componente continua o de baja frecuencia en las tres direcciones.

Es evidente que se observa un aumento de la amplitud de las perturbaciones en comparación con las medidas registradas en el año 1987. Aunque en el actual Laboratorio de Microscopía (puntos 1 y 4) se registran los valores menores, éstos se encuentran por encima del límite permitido para asegurar el correcto funcionamiento del equipo. Ello ha obligado a instalar un sistema de compensación. Este sistema se basa en la instalación de tres bobinas X,Y y Z envolviendo el microscopio, una unidad de control del campo magnético y un sensor. El sensor mide las tres componentes en tiempo real y la unidad de control genera un campo compensador.

Tabla II. Variación del campo continuo. Límite exigido por el fabricante del Microscopio < 1mG

COMPONENTE	Х	Υ	Z
PTO. 1	3.4 mG	0.7 mG	14.7 mG
PTO. 2	12.3 mG	4.5 mG	42.3 mG
PTO. 3	167.0 mG	28.0 mG	>140 mG
PTO. 4	1.9 mG	0.8 mG	12.5 mG

En Noviembre de 1998, el Instituto de Magnetismo Aplicado registró durante 24 h la variación del campo alterno y las tres componentes del campo continuo en el punto 3 del plano. En la figura 5 se muestra el registro de la componente más intensa, componente Z, del campo magnético continuo; se observan variaciones de hasta 200 mG (20 μ T), lo que supone un ligero aumento de dicha componente con relación a las medidas anteriores. Al igual que en la fig. 2, no se detectan oscilaciones entre las 2,15 y las 5,40 h aproximadamente, hora en la que no hay circulación de trenes.



Parece probable suponer que las variaciones de campo magnético registradas se generan como consecuencia de las variaciones en el consumo de corriente de los trenes en el arranque y frenada, que se pueden ver duplicadas y triplicadas si coinciden varios

convoyes en sentidos opuestos y en estaciones contiguas (un convoy consume por encima de 3000 A). No obstante, los expertos indican que las variaciones del campo magnético debidos al tráfico en la línea circular, muy próxima a nuestro Instituto, son anormalmente elevados. Ello nos hace pensar que las perturbaciones están siendo generadas no tanto por la proximidad de nuestro Instituto al túnel de la línea 6 sino a la Subestación Gregorio del Amo.

Los autores asocian el aumento de la variación del campo magnético observado entre 1987 y 1996 al cierre de la línea circular (línea 6). En el año 1987 esta línea acababa en la estación Ciudad Universitaria, y posteriormente este tramo se amplió hasta cerrarse la línea. Parece lógico el aumento registrado, ya que es claro que se ha producido un aumento importante del tráfico de trenes.

· CONCLUSIONES

Los equipos electrónicos sensibles a los campos magnéticos alternos y continuos generados por líneas de suministro de energía, generadores, transformadores, transportes movidos por energía eléctrica como trenes, tranvías, ascensores, etc., se deben instalar suficientemente alejados de las fuentes de perturbación para evitar problemas durante su funcionamiento.

Existen sistemas de compensación de campo magnético que permiten mejorar las prestaciones de los equipos electrónicos sometidos a este tipo de perturbaciones. Sin embargo su elevado precio hace preferible a veces el cambio de ubicación del equipo. Sería deseable que la Compañía del f.f.c.c Metropolitano de Madrid estudiara y diseñara algún sistema que eliminara o minimizara los elevados valores del campos magnético continuo generados durante el tráfico de trenes. Hay que tener en cuenta que del mismo modo que afecta a los instrumentos electrónicos puede producir otro tipo de perturbaciones que no se conocen.conocen.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto de Magnetismo Aplicado y a la Compañía Rego & Cia S.A. su colaboración en la realización de las medidas y a la Facultad de Físicas de la UAM por la cesión del gausímetro.

Referencias

- R.H. Alderson. Design of the electron microscope laboratory. North-Holland. Pub.co. Amsterdam. 1975.
- Plano del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas
- Registro de la variación de la componente Z del campo magnético continuo en el punto 3.
- Micrografía obtenida con un sistema fotográfico convencional. a) Realizada por la noche. b) Realizada durante el día, con tráfico de trenes.
- Registro de la variación de la componente Z del campo magnético continuo en la Subestación Gregorio del Amo.
- Registro de la variación de la componente Z del campo magnético continuo en el punto 3. Medidas realizadas en 1998 por el Instituto de Magnetismo Aplicado.

CONSIDERACIONES FÍSICAS SOBRE LA INTERACCIÓN DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS CON LOS SISTEMAS BIOLÓGICOS

Miguel Sancho. Departamento de Electricidad y Electrónica Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Complutense. Madrid

En la consideración de los bioefectos de los campos electromagnéticos, hay aspectos físicos que convienen tener presentes y que pueden quitar al problema parte de la oscuridad que lo rodea.

Para la percepción pública, el desconocimiento sobre el tema es fuente de temor, en muchos casos injustificado.

Es un hecho curioso la persistencia del debate entre científicos acerca de los efectos sobre la salud de los campos electromagnéticos. La aplicación de la electricidad como técnica terapéutica tiene una larga historia que se remonta a mediados del siglo XIX. Las corrientes producidas por la pila, inventada por Volta hacia 1800, se empezaron a aplicar muy pronto para destruir tejidos tumorales; la técnica se denominó galvanocauterización, debido a Galvani que fue el primero en estudiar los efectos biológicos de la electricidad, al mismo tiempo que el papel de este fenómeno físico en la transmisión nerviosa. En la segunda mitad del siglo, D'Arsonval sistematizó y amplió el estudio de la bioelectricidad, empleando fuentes oscilantes, disponibles gracias al trabajo de Helmholtz, Kelvin y Hertz. Así, la consideración de los bioefectos de los campos electromagnéticos, no es en absoluto un tema nuevo.

La preocupación reciente sobre los posibles efectos perjudiciales de los campos electromagnéticos, sin embargo, saltó a la luz pública hacia los años 1960, en relación con la radiación de microondas (campos electromagnéticos de frecuencias comprendidas entre 300 MHz y 300 GHz, en cuyo rango están las utilizadas por la telefonía móvil, hornos de microondas, etc). Fue una consecuencia de los numerosos estudios realizados en los EEUU para establecer las condiciones de seguridad en el uso del radar, que se había demostrado que podía producir alteraciones muy serias en diversos sistemas fisiológicos (visión, sistema reproductor, sistema nervioso, sistema inmune, etc). Unos años más tarde, aparecieron varios estudios epidemiológicos, llevados a cabo en EEUU y Suecia, que relacionaban una mayor incidencia de ciertas formas de cáncer, especialmente leucemia, en niños con la residencia cerca de líneas de alta tensión (campos de baja frecuencia, 60-50 Hz). Aunque estos estudios desataron una gran controversia, recibieron validación por diversos informes, por ejemplo del National Institute of Environmental Health Sciences de los Estados Unidos que estableció en 1998, tras dos años de análisis de los datos experimentales, que este tipo de campos de baja frecuencia debía considerarse como un "posible carcinógeno humano". No obstante, este calificativo, añadió el informe, simplemente indica un riesgo potencial y no implica que exista una relación causal demostrada entre los campos electromagnéticos de baja frecuencia y ciertas formas de cáncer.

Hay aspectos físicos que conviene tener presentes y que pueden quitar al problema parte de la oscuridad que lo rodea. Para la percepción pública, el desconocimiento del tema es fuente de temor, en muchos casos injustificado.

En el área del bioelectromagnetismo suelen considerarse los campos estáticos (por ejemplo el campo magnético de los aparatos de resonancia magnética nuclear, que puede llegar a los 2 T), los de frecuencia extremadamente baja (ELF, entre 0 y 300 Hz, a los que pertenecen los producidos por las líneas del tendido eléctrico, de 50 Hz, y valores entre 3-70 µT por ejemplo, para las proximidades de las vías del ferrocarril eléctrico) y los de radiofrecuencia (RF, de 300 Hz a 300 GHz), dentro de los cuales las microondas ocupan el intervalo de 300 MHz a 300 GHz (MW, hornos de microondas y telefonía móvil, por ejemplo). Para toda esta región del espectro, que se amplía hasta el ultravioleta, la energía de los cuantos de radiación es insuficiente para romper enlaces en las moléculas; son, por tanto, radiaciones no ionizantes, frente a las ionizantes de frecuencias extremadamente altas (rayos X y gamma fundamentalmente), cuyos efectos en la alteración del material genético son bien conocidos. Los campos de las microondas pueden tener una consecuencia importante, a la cual se han atribuído la mayor parte de los efectos biológicos descritos, y es el calentamiento de los tejidos debido a la energía disipada en el desplazamiento de iones y la orientación de moléculas en el medio, por la acción del campo oscilante. Estos efectos térmicos se utilizan con frecuencia con finalidad terapéutica (equipos de diatermia e hipertermia).

Para la telefonía móvil suele considerarse el posible riesgo, por una parte de las ondas emitidas por la antena de las estaciones base, y por otra, el de los campos emitidos por los propios teléfonos, que actúan como receptores y transmisores. Para el primer caso, las estaciones emiten con antenas omnidireccionales en un plano horizontal, es decir fundamentalmente en dirección paralela al suelo, con lo cual, la densidad de potencia detectable al nivel del suelo tiene unos valores muy bajos, típicamente de 1 mW/cm2, muy por debajo de los valores recomendados como límite por las diferentes regulaciones sobre el tema. Por otra y en cuanto a los propios teléfonos, existen también especificaciones técnicas a las que deben ajustarse, como resultado de las cuales, no deben producir efectos de incremento de temperatura apreciable en ningún caso. La magnitud significativa se considera que es el SAR (coeficiente de absorción específica), o potencia absorbida por los tejidos por unidad de masa. Un valor recomendado como límite, en este rango de frecuencias, es el de 1,6 W/kg en cualquier tejido. Las medidas realizadas, utilizando teléfonos comerciales en diferentes circunstancias, así como los cálculos sobre modelos de cabeza humana, dan como resultado que, en general, no se sobrepasa ese límite.

Conviene comparar los campos ambientales debidos a la actividad tecnológica humana con los de origen natural. Debe tenerse en cuenta, en efecto, que la vida ha evolucionado en la Tierra en presencia de campos electromagnéticos: el campo eléctrico atmosférico tiene un valor a nivel del suelo de unos 100 V/m, con oscilaciones muy fuertes en las tormentas eléctricas, mientras que el campo magnético terrestre varía con la latitud, con un valor medio de unos 50 μ T. La radiación solar contiene fundamentalmente frecuencias que van desde el infrarrojo hasta el ultravioleta, con éstas últimas muy atenuadas por el ozono atmosférico, y con una densidad de potencia total que puede llegar a ser de 1 kW/m2.

Los organismos han utilizado las características físicas de las interacciones electromagnéticas en su diseño evolutivo. Piénsese por ejemplo la incorporación de la luz en los sistemas de visión, el sofisticado sistema de transmisión nerviosa o el uso preciso de interacciones fuertes (a través de enlaces covalentes) y débiles (mediante puentes de hidrógeno) en las macromoléculas, que les confieren las propiedades de estabilidad sin

rigidez que hacen posible la vida. Por ello no es de extrañar que hayan desarrollado una adaptación a estos campos pero también que puedan ser muy sensibles a las alteraciones electromagnéticas.

En cuanto a los posibles mecanismos de acción de los campos, el panorama no es claro a pesar del esfuerzo dedicado a su esclarecimiento. Los razonamientos físicos dejan poco espacio a la posibilidad de efectos biológicos importantes. En primer lugar, hay que tener en cuenta el acoplamiento a los tejidos, que, según se trate del campo eléctrico o del campo magnético, es muy diferente. A frecuencias bajas, debido a alta conductividad de los tejidos, el campo eléctrico interno es mucho menor que el externo en una relación del orden de:

$$E_i \approx \varepsilon_0 \omega \rho E_0$$

siendo w la frecuencia angular y r la resistividad específica del tejido, que es pequeña. La membrana celular, por otra parte, tiene una resistividad muy alta. Un cálculo del campo en la membrana, para una célula esférica de radio r, da

$$E_m \approx 1.5 \frac{r}{d} E_i$$

donde d el espesor de la membrana. Con datos de dimensiones y parámetros correspondientes a una célula típica en el cuerpo humano, un campo externo de 300 V/m se puede traducir en un campo extracelular del orden de 10-5 V/m y del orden de 10-2 V/m en la membrana. Este campo es inferior al nivel de ruido generado por las fluctuaciones térmicas de las densidades de carga. El núcleo de la célula y el material genético se pueden considerar por tanto muy apantallados y dificilmente se verán afectados por los campos eléctricos externos de baja frecuencia.

Para el campo magnético, en cambio, la situación es diferente, ya que al ser la permeabilidad del cuerpo prácticamente igual a la del aire, penetra sin modificación los tejidos. El campo magnético ejerce una fuerza sobre cargas móviles, dada por la ley de Lorentz,

$$F = qv \times B$$

que, al ser perpendicular a la velocidad, afecta a la trayectoria de las cargas pero sin aportarles energía. El cálculo de esta fuerza sobre las corrientes en las neuronas o sobre los iones presentes en el flujo sanguíneo da como resultado unos valores insignificantes para los todos los valores del campo ambiental, excepto quizás para los utilizados en algunas técnicas médicas que pueden llegar a los 2 T. Se han buscado explicación a los posibles efectos biológicos de los campos oscilantes a partir de fenómenos de resonancia, por ejemplo, la resonancia ciclotrónica, debido al efecto combinado de un campo magnético estático en que las cargas describen órbitas y un campo eléctrico oscilante que les comunica energía de manera coherente. El efecto de resonancia es equivalente a la reducción del ancho de banda a través del cual se aplica el ruido térmico y puede disminuir su valor efectivo en relación a la señal. Sin embargo, los

efectos de amortiguamiento en el movimiento de iones y moléculas van a impedir previsiblemente que las cargas completen una parte significativa de un ciclo y por tanto hacen descartar este mecanismo. El candidato más plausible como mecanismo de acción es probablemente el efecto Faraday, por el que un campo magnético cambiante produce un campo eléctrico y en consecuencia, una corriente en un medio de una cierta conductividad,

$$\int_{C} E \, d\mathbf{l} = \frac{d}{dt} \int_{S} B \, ds$$

donde S es un área atravesada por B y C un contorno que limita esa área. Estos campos y corrientes quizás si puedan afectar a receptores de membrana y alterar el flujo de iones a través de la misma, aunque esta posibilidad no es universalmente aceptada.

Para los campos de microondas muchos efectos son de origen térmico y este el nivel de seguridad más fácil de establecer y exigible siempre. Sin embargo están bien documentados algunos efectos no térmicos, encontrados en experimentación con animales, aunque no necesariamente perjudiciales para la salud humana. La investigación epidemiológica parece ser menos concluyente en este caso que para los campos ELF. En cambio, los efectos físicos de la radiación de teléfonos móviles son más claros, y así se admite por ejemplo en cuanto a su posible interferencia con dispositivos eléctricos como los marcapasos, que los de campos de baja frecuencia En la actualidad hay numerosos programas de investigación en desarrollo, algunos de ellos basados en una cooperación internacional muy amplia, dedicados a establecer estudios epidemiológicos rigurosos y a reproducir y contrastar resultados experimentales anteriores.

Volviendo a la consideración del principio, la persistencia del debate, a pesar del tiempo y del esfuerzo dedicados, refleja, en primer lugar, la evidencia de que realmente existen bioefectos de los campos electromagnéticos y además bioefectos no puramente térmicos, lo cual no quiere decir que impliquen necesariamente un riesgo para la salud. En segundo lugar, que esos efectos no son intensos y sus consecuencias fisiológicas, caso de existir, no son fácilmente detectables y por tanto no suponen, en el estado actual, un peligro sanitario importante. Sin embargo, como cualquier tecnología y quizás más que otras, dada su expansión creciente, requiere cierta cautela y un uso racional de sus posibilidades. También, la controversia revela las dificultades de una investigación interdisciplinar y sobre un tema enormemente complejo, como es un organismo vivo múltiplemente interconectado y con mecanismos de regulación y reparación muy sofisticados. La falta de modelos teóricos aceptados que puedan servir de guía a la investigación experimental es un problema esencial en la situación actual. Para los físicos es un desafío y un objetivo del mayor interés el imaginar posibles modelos que puedan explicar algunos de los hechos observados.