

## **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  $\mu$ T 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  $\mu$ T 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 10<sup>3</sup>-10<sup>4</sup> 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 10<sup>6</sup>-10<sup>8</sup> 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 líneas eléctricas.

#### • **Estudios sobre la salud. Estudios epidemiológicos**

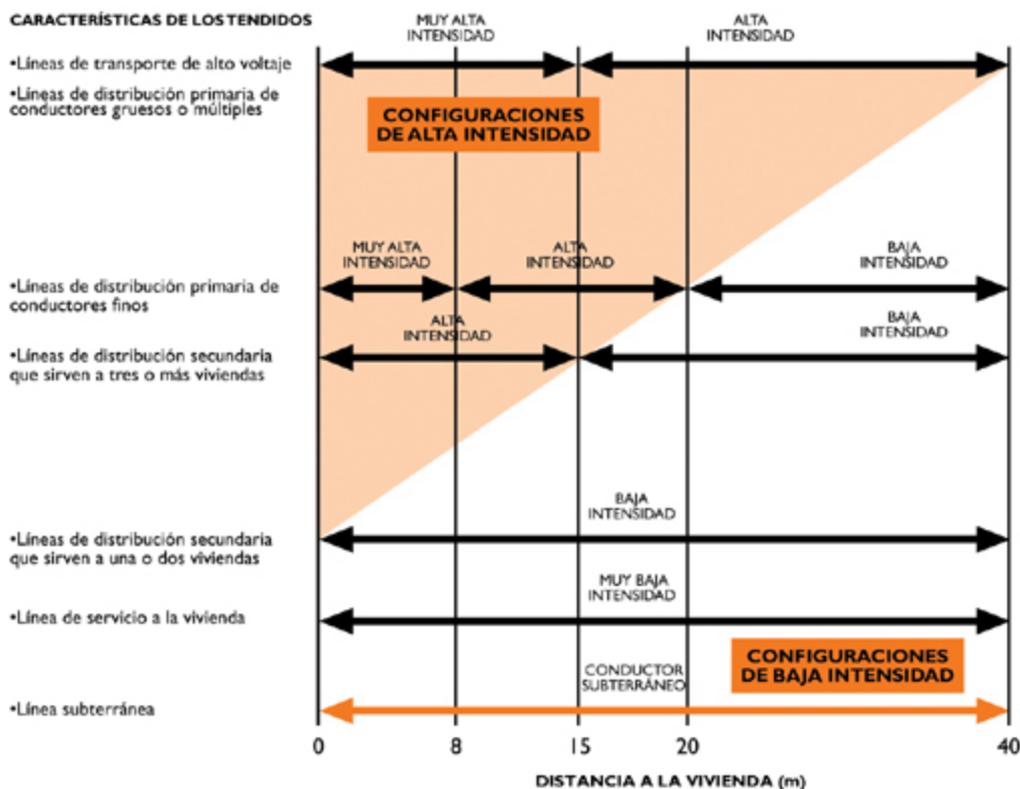
Gran parte de la controversia suscitada durante las últimas décadas acerca de los posibles efectos sobre la salud derivados de la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (50-60 Hz) se inició a finales de los años setenta y primeros de los ochenta, a raíz de la publicación 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.

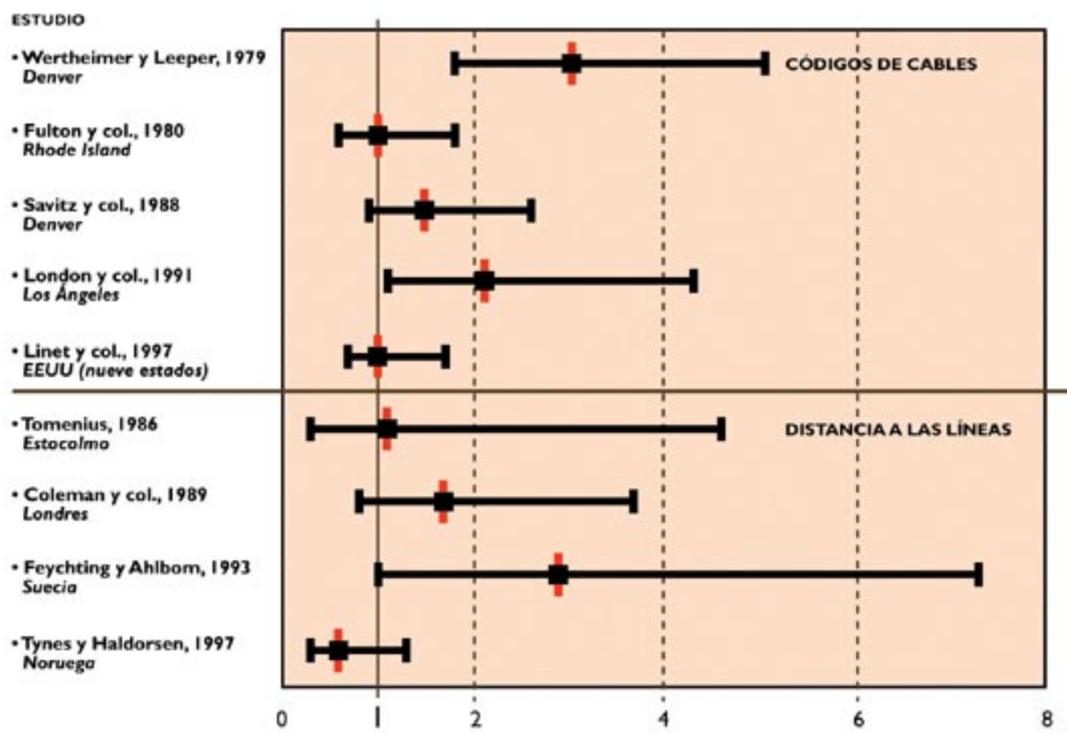
El objetivo perseguido por estos estudios epidemiológicos es determinar si existe una asociación entre los campos electromagnéticos y el cáncer, a través de la comparación de las tasas de aparición de la enfermedad en dos poblaciones, una expuesta a los campos y otra no expuesta, o entre poblaciones 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.

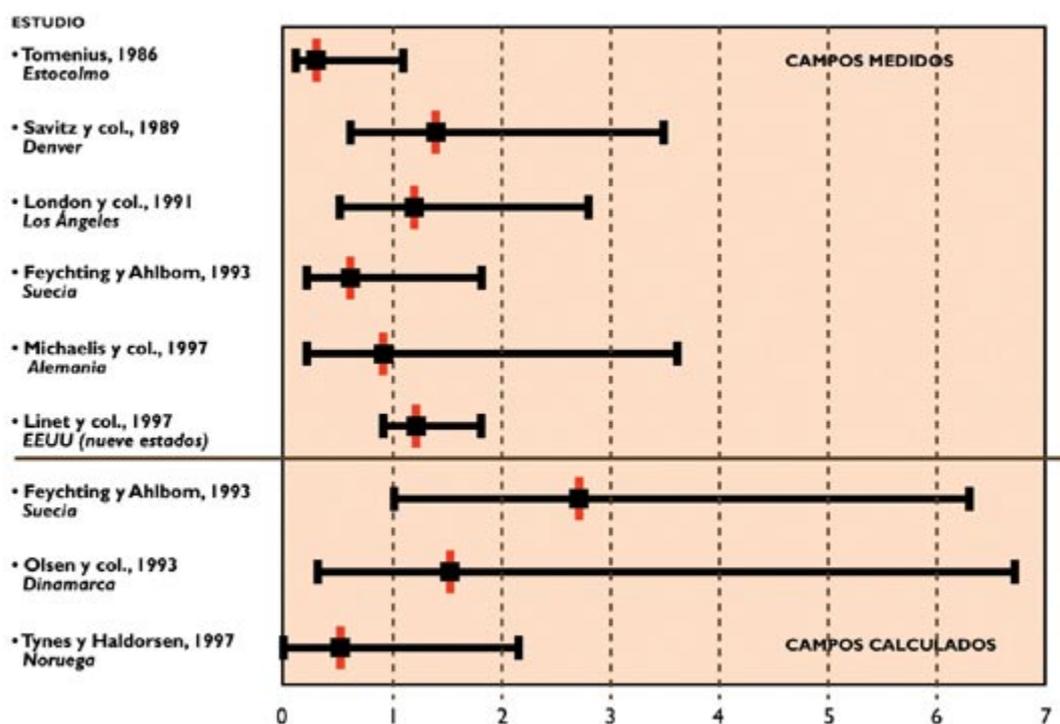
Dado que en la vida cotidiana, debido al empleo intensivo de la electricidad, todas las personas se encuentran expuestas en mayor o menor medida a la acción de campos electromagnéticos de 50-60 Hz, existen grandes dificultades para caracterizar con precisión la exposición a los mismos. En la práctica 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 sí 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  $\mu$ T. Así mismo, no se han descrito alteraciones en la respuesta inmunitaria a intensidades de campo inferiores a 200  $\mu$ T. 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  $\mu$ T 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 Commission 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/m<sup>2</sup>. 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  $\mu$ 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  $\mu$ 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 cáncer. 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