

LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS Y LA SALUD

"ARCHIVES DES MALADIES
PROFESSIONNELLES ET DE
L'ENVIRONNEMENT"

Francia

Los campos electromagnéticos están presentes cada vez con más frecuencia en nuestro entorno y son numerosos los estudios científicos que han analizado sus posibles efectos biológicos, que pueden engendrar riesgos para la salud humana.

Para afirmar que existe un peligro relacionado con los campos electromagnéticos, es necesario comprobar, sin lugar a dudas, que los efectos observados son reales e inequívocamente ligados a la exposición. Por este motivo, la mayoría de los estudios que se han realizado sobre el tema son poco reproducibles, pues a menudo no explican los mecanismos que permitan comprender cómo los efectos están relacionados con la exposición.

Este artículo analiza precisamente los mecanismos conocidos e hipotéticos de interacción entre los campos electromagnéticos y los sistemas biológicos, con el fin de intentar comprender mejor el eventual peligro que representan. No se incluyen en él las radiaciones ionizantes, los efectos sobre ciertos implantes activos como los marcapasos, ni los efectos producidos por la aplicación directa de corrientes a través de electrodos.

Los mecanismos de interacción de los campos eléctricos y magnéticos con la materia viva, son distintos en función de la gama de frecuencias que se considere: campos estáticos, campos de muy baja frecuencia (ELF) y campos radioelectromagnéticos o radiofrecuencias (RF).

El organismo vivo está compuesto de tejidos poco conductores ubicados en el interior de una envoltura relativamente aislante: la piel. Un campo eléctrico aplicado sobre un medio biológico puede ejercer fuerzas sobre los iones. En el seno de un campo estático, la intensidad de campo en el interior del organismo vivo es 10^{12} veces menor que la del campo externo medible.

Los campos eléctricos estáticos inducen la aparición de cargas eléctricas perceptibles sobre la piel, sobre todo en el vello y en los cabellos. El efecto del campo eléctrico sobre las cargas libres en los fluidos de los tejidos se traduce en la formación de corrientes caracterizadas por la magnitud "densidad de corriente", que se expresa en amperios por metro cuadrado (A/m^2).

Los campos magnéticos estáticos no interactúan más que con las cargas eléctricas en movimiento y los materiales ferromagnéticos, paramagnéticos o diamagnéticos. En este sentido, se han descrito tres efectos: efectos magnetomecánicos, interacciones electrónicas y desviación de cargas en movimiento.

En un campo magnético homogéneo, las moléculas dia o paramagnéticas experimentan una fuerza que les hace girar. Algunas estructuras, como el segmento externo de los bastoncillos retinianos, se reorientan al 100% cuando están sometidos a campos magnéticos de intensidad inferior a 1 Tesla (10^4 Gauss) in vitro.

In vivo, en la experimentación con monos, hasta 1,5 Teslas de intensidad no se ha percibido ninguna influencia significativa sobre la visión, pues el tejido retiniano inmoviliza más o menos los bastoncillos. La orientación de los fosfolípidos de las membranas para un campo magnético superior a 100 mT, sugiere una modificación de la fluidez membranosa.

Algunas especies de algas o de bacterias anaerobias sintetizan la magnetita, lo que les permite orientarse en el sentido del campo magnético terrestre. Una vez orientada, el movimiento espontáneo de la bacteria la dirige hacia el fondo sedimentario donde encuentra los nutrientes. Si la bacteria es transferida a un hemisferio opuesto al suyo de origen, se dirige entonces hacia la superficie y muere, pues el oxígeno es tóxico para un organismo anaerobio.

En un campo magnético no homogéneo, las sustancias ferromagnéticas pueden ser desplazadas y transformarse en una especie de proyectiles. Este fenómeno puede actuar sobre el calzado de protección térmica metálico, y acarrear una excesiva fatiga muscular.

Un campo magnético puede producir interacciones electrónicas y modificar así la velocidad de reacción química de algunas moléculas o enzimas.

Una carga eléctrica en movimiento, como por ejemplo un ion, se desvía circularmente en un campo magnético. A nivel del cayado aórtico, se crea una diferencia de potencial en la sangre cuando el campo magnético sobrepasa 1 Tesla; esto explica el aumento de la onda T del electrocardiograma.

Campos eléctricos de muy baja frecuencia (ELF): Para frecuencias de 50 Hz, el campo interno es aún 10^8 veces inferior al campo externo; así, un campo de 10 kV/m, que puede encontrarse bajo una línea eléctrica de muy alta tensión, o en algunas situaciones industriales, produce en el interior del organismo vivo un campo del orden de 0,1 mV/m. La densidad de corriente "j" producida, de $0,02 \text{ mA/m}^2$ es netamente inferior al valor recomendado para los trabajadores, de 10 mA/m^2 .

Campos magnéticos de muy baja frecuencia (ELF): Un campo magnético variable induce un campo eléctrico en el interior del organismo. Estos campos inducidos penetran más profundamente y son más homogéneos que los que genera directamente un campo eléctrico externo. El campo eléctrico inducido genera a su vez corrientes en los tejidos conductores del organismo. La densidad de corriente inducida correspondiente "j" se expresa en amperios por metro cuadrado (A/m^2).

A escala microscópica, los medios biológicos están constituidos por células rodeadas de membranas y líquido extracelular. Las membranas fosfolipídicas constituyen un aislante frente al campo eléctrico externo, tanto más cuanto más baja sea la frecuencia. La naturaleza dieléctrica de las membranas explica que las corrientes inducidas sean principalmente extracelulares.

Este mecanismo se utiliza en medicina, en la magnetoneuroestimulación; técnica que consiste en aplicar un campo magnético muy rápidamente variable: 2 Teslas en $200 \mu\text{s}$, es decir, un gradiente de 10^4 T/s . En los tejidos, la corriente inducida permite despolarizar los nervios desencadenar un potencial de acción, utilizado en diagnóstico para medir la conducción nerviosa y en terapia para estimular la contracción muscular. La corriente inducida, calculada en esta aplicación, es de 30 A/m^2 .

Este efecto permitiría igualmente explicar los magnetofosfenos (percepción luminosa bajo exposición a un campo magnético alternativo). Si las corrientes inducidas alcanzaran un valor de 1.000 mA/m^2 en el tórax, podrían provocar una fibrilación cardíaca. Entre 100 y 1.000 mA/m^2 , podrían desencadenar una estimulación nerviosa y provocar por ejemplo reacciones y gestos accidentales entre los obreros que utilizan herramientas metálicas. Por debajo de 100 mA/m^2 , no se han observado nunca fenómenos nocivos irreversibles.

Los eventuales efectos descritos a veces sobre la síntesis de la melatonina, el aumento del número de tumores inducidos, el aumento del número de embriones de pollo malformados, la mayor incidencia de leucemia entre los niños en los estudios epidemiológicos, no se explican por este mecanismo.

Blackman y col. han mostrado que la superposición de un campo magnético ELF y un campo magnético constante puede modificar, in vitro, el flujo de los iones de calcio fuera de los tejidos del cerebro de embrión de pollo, y la movilidad de las algas unicelulares llamadas diatomeas. Este efecto, comparable al utilizado en los aceleradores ciclotrón, se llama "resonancia ciclotrón". El mecanismo subyacente a este efecto no se ha explicado de forma satisfactoria; no se ha identificado el elemento biológico primario que podría servir de receptor.

En el ámbito de los **campos radioelectromagnéticos o radiofrecuencias (RF)** se distinguen los mecanismos térmicos debidos a los campos de fuerte intensidad, y los mecanismos atérmicos, habitualmente debidos a campos de débil

intensidad. En algunos estudios el calentamiento se previene con un sistema de enfriamiento. Aunque no hay un efecto térmico, la energía absorbida puede sin embargo ser considerable y no se puede decir que la exposición en estos estudios sea de "débil intensidad". Hay un ejemplo en el estudio de Maes y col., en el que el sistema biológico estaba termorregulado a pesar de un caudal de absorción específico de 70 W/kg.

A nivel macroscópico, los parámetros que definen las propiedades de la materia frente a una radiación electromagnética (propiedades dieléctricas) son la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética. La materia viva es un material no homogéneo, dieléctrico, mal conductor. En el trayecto de una onda electromagnética, ésta es en parte reflejada, en parte absorbida, y en parte transmitida.

Un gran número de factores condicionan la interacción (reflexión, absorción, refracción, difracción, difusión) de las radiofrecuencias con los organismos biológicos y su profundidad de penetración. Cuando la intensidad de campo es elevada, la energía absorbida origina un calentamiento. Este calentamiento está limitado, en vivo, por los fenómenos de termorregulación.

Se han producido algunos accidentes debidos a la puesta en marcha inopinada de una instalación emisora de radiofrecuencias que se encontraba en proceso de mantenimiento o reparación, o por la deficiencia de los sistemas de seguridad. Si el hombre está accidentalmente expuesto a fuertes densidades de potencia, puede sufrir quemaduras superficiales o profundas.

Cuando una masa metálica importante está sometida a un campo variable, puede cargarse y provocar, al tocarla, descargas eléctricas responsables de dolores o, por lo menos, de sensaciones desagradables. Tales situaciones en la industria pueden provocar accidentes diversos.

En definitiva, cabe decir que en la literatura científica se han descrito numerosos efectos biológicos de los CEM de débil intensidad. Su interpretación en términos de riesgo para la salud necesita comprender los parámetros concernientes a la exposición, los mecanismos puestos en juego, los sistemas biológicos implicados, y las eventuales consecuencias para la salud de los efectos biológicos observados.

No es suficiente que los mecanismos de interacción sean posibles para que se produzcan en la realidad; es indispensable para hacer bien las cosas, cuantificar los fenómenos y sus repercusiones.

Para evaluar los eventuales riesgos que los campos electromagnéticos de baja intensidad podrían representar, las poblaciones expuestas y la cuantificación de la exposición son cada vez mejor conocidas, pero no hay peligro identificado. No hay tampoco mecanismo conocido por el que tal peligro pueda explicarse.

En lo que se refiere a los campos estáticos y a los de muy baja frecuencia (ELF), diversos estudios epidemiológicos muestran una incidencia aumentada de leucemias entre los niños por exposición a este tipo de campos; no hay sin embargo mecanismos conocidos que permitan explicar este fenómeno.

Un mecanismo biológico no validado y cuantitativamente no plausible, ha descrito el aumento de la incidencia del cáncer entre los roedores, debido a una inhibición de la secreción de melatonina.

Conviene testar las dos hipótesis citadas; si el aumento de incidencia se debe a la exposición al campo magnético, hay que multiplicar los estudios para comprender el mecanismo que los origina y estudiar la posibilidad de ponerle remedio; si el aumento de incidencia se debe a un sesgo en los estudios epidemiológicos, es preciso concebir y realizar estudios que permitan poner este fenómeno en evidencia.

Es interesante proseguir los estudios para intentar comprender los mecanismos que rigen la inhibición de la secreción de melatonina entre los roedores, frecuentemente relacionada a la exposición a campos estáticos y de forma más contradictoria a campos ELF.

Están en fase de elaboración mecanismos teóricos de interacción primaria, de los que algunos han sido confirmados experimentalmente: resonancia paramétrica electrónica, y modificación de reacciones radicales. Estos estudios deben continuar para testar su validez y hacerlos evolucionar o, en caso contrario, buscar otros.

En lo que se refiere a los campos radioelectromagnéticos o radiofrecuencias (RF), se puede distinguir:

a) La absorción dieléctrica, bien conocida como origen de los efectos térmicos que acarrearán riesgo identificado de sobreexposición. Este mecanismo hace intervenir a los procesos fisiológicos (léase

fisiopatológicos) de termorregulación.

b) Los mecanismos no demostrados, aunque investigados desde hace tiempo, de una exposición a baja intensidad, que podrían eventualmente conllevar riesgos para la salud si se traducen en efectos persistentes o acumulativos a través de una exposición crónica, o de exposiciones repetidas.