



EL CEREBRO, FUENTE DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

*en interacción con
las tecnologías actuales*

Por ANTONIO HERNANDO GRANDE

Catedrático Emérito de la Universidad Complutense de Madrid



La actividad cerebral está basada en la transmisión de corrientes eléctricas. La generación de estas corrientes es debida a la regulación de los gradientes de carga eléctrica y concentración iónica a través de la membrana de las neuronas. La apertura y cierre de los canales iónicos selectivos que pueden controlarse por neurotransmisores, fotones o tensiones mecánicas determina las variaciones de potencial entre el citoplasma y el medio intercelular. Las corrientes neuronales producen campos magnéticos. Estos son, típicamente, diez órdenes de magnitud inferiores al campo magnético terrestre, pero pueden ser detectados por sensores ultrasensibles como los "squids". La magnetoencefalografía es la técnica experimental que trata de obtener datos de la actividad neuronal a partir de la medida de los campos magnéticos que esta produce en la parte externa del cráneo. De todo ello habló Hernando Grande en esta conferencia organizada conjuntamente con la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Todos los fenómenos de nuestra vida cotidiana son fenómenos electromagnéticos

Todos los fenómenos de nuestra vida cotidiana son fenómenos electromagnéticos principalmente. En la naturaleza conocida podemos distinguir cuatro tipos de interacciones, cuatro fuerzas: la fuerza nuclear, que mantiene unidas a las partículas que forman las partículas de los átomos, y es responsable de la fricción, de la fusión, de lo que se llama energía nuclear en lenguaje vulgar, de lo que se produce en las centrales nucleares. Es una fuerza muy intensa que no juega un papel relevante a nivel químico o de la vida. La fuerza nuclear débil es la responsable de la radioactividad, la que describe cómo los protones se convierten en neutrones. Esta fuerza también está alejada de nuestra vida cotidiana. La fuerza gravitatoria, que mantiene a las galaxias formando tales galaxias, es la que hace girar a los planetas alrededor de las estrellas. Por último tenemos la fuerza electromagnética, que es la fuerza de las cargas eléctricas, entre ellas ejercen fuerzas, dan lugar a las interacciones electromagnéticas, y son las responsables de que se formen los átomos, de que los átomos formen moléculas, y en definitiva de toda la química. También son las fuerzas que mandan en el mundo de la biología. La biología se puede considerar una parte de la química y, por tanto, de la interacción electromagnética.

La fuerza electromagnética es una de las fuerzas fundamentales de la naturaleza, y es debida a la carga eléctrica de los electrones, fundamentalmente. La Tierra tiene 4.600 millones de años aproximadamente y nuestros primeros ancestros como tales se pueden situar más o menos en un millón de años. Es lógico que desde que se tuviera un mínimo

nivel de conciencia llamara la atención todos estos fenómenos como los relámpagos, las auroras polares, el hecho de que frotando la piedra imán atrajera virutas de hierro, o que frotando el ámbar se atrajeran virutas de paja.

La primera recopilación sería sobre estos fenómenos data del año 1600, cuando **William Gilbert**, médico de la reina Isabel I de Inglaterra, publica su obra *De magnete*, en la cual explica que la Tierra es un gran imán. De hecho, en la atmósfera hay un campo eléctrico que tiene un valor de 100 voltios por metro y este campo se carga con las tormentas, que actúan como baterías que producen ese campo. Nosotros estamos viviendo siempre en ese campo, pero no estamos solo sometidos a este campo eléctrico de la Tierra, sino al campo electromagnético que proviene del sol. El sol está situado a unos ocho minutos luz de la Tierra, es decir, este es el tiempo que le toma a la luz llegar del sol a la Tierra y la luz es campo electromagnético, con una densidad de 230 vatios de media por metro cuadrado. El 99% de la radiación que viene del sol tiene una longitud de onda comprendida entre 0,5 y 0,4 micras. Esta parte entre 0,38 y 0,83 es lo que se llama el espectro visible. Hoy sabemos que la luz son paquetes de energía que se llaman fotones, y estos fotones tienen una energía, los de la luz, aproximadamente del orden de dos electronvoltios. Por otro lado, el campo magnético también se manifiesta en la naturaleza. Por ejemplo, el campo magnético terrestre es el que orienta la brújula debido a que la Tierra produce un campo magnético a su alrededor que es parecido al que produciría un imán enorme situado en el eje de la Tierra.



La química y la biología son originadas por estas fuerzas eléctricas por tanto todos los fenómenos vinculados con la vida son de naturaleza íntima electromagnética. La llegada de la mecánica cuántica acabó en una síntesis con electromagnetismo de **Maxwell** que permitió hacer cálculos de la disciplina que se llama electrodinámica cuántica que coincide con los datos o los cálculos que se hacen con las ecuaciones que Maxwell formuló en 1865. El descubrimiento posterior del siglo XX de los electrones y los átomos, permitió comprender que la química y la vida son fenómenos electromagnéticos que obedecen a las ecuaciones de Maxwell.

Un átomo tiene una carga positiva en el núcleo y la carga negativa de los mismos electrones que están entorno del núcleo. La carga es neta, es nula en un átomo, en un átomo aislado no hay carga eléctrica porque hay el mismo número de electrones que de protones. Asimismo, todos los electrones tienen

la misma carga. Los átomos no solo quieren ser neutros, sino que quieren tener simetría esférica y cuando no tienen todas las capas completas no tienen simetría esférica. Entonces los átomos tienden a juntarse por fuerzas eléctricas, unos con otros, formando moléculas. Por ejemplo, la molécula de agua es fruto de la fuerza eléctrica entre el hidrógeno y el oxígeno. Así que la molécula, como el átomo, proviene de las fuerzas electromagnéticas. Para romper una molécula o un átomo hace falta darle la suficiente energía a un electrón para que se escape de la influencia del núcleo y se vaya lejos.

A este respecto, los fotones son partículas que cuando llegan al átomo chocan con el electrón y son capaces de arrancarlo. Es evidente que para arrancarlo hace falta que la energía que lleva el fotón sea mayor que la energía con la que el electrón está enlazado. Si está enlazado con dos electronvoltios, si el fotón tiene un electronvoltio no conseguirá

arrancarlo. Los fotones en los campos electromagnéticos, que llamamos ondas, se clasifican por su longitud de onda, por su energía. Según aumentamos la frecuencia de las ondas, las longitudes de onda se van haciendo cada vez más cortas a medida, y pasamos de las ondas de radio a las microondas, etc. Cuando tenemos un fotón del espectro visible, tenemos un electrón voltio, mientras que el de rayos X puede tener 10^3 electrón voltios. Evidentemente, cuando los fotones que tengan estos valores de energía chocan con los electrones de los átomos o con las moléculas, las pueden romper, porque tienen mucha más energía que la energía que ligaba la molécula. Estas son las radiaciones ionizantes.

El ciclo de la biosfera

El ciclo de la biosfera consiste en la energía electromagnética que manda el sol en forma de luz y que llega a la Tierra. Los seres vivos son capaces de absorber la energía de esos fotones y producir moléculas de alto contenido energético-químico. Por ejemplo, azúcares, que es lo que hacen las plantas, la fotosíntesis. Las plantas convierten la energía del sol en energía química. Esta energía química es la que usan los seres vivos para crear vida.

Quizá no hay en la ciencia española ningún científico equiparable a **Santiago Ramón y Cajal**. En su laboratorio era capaz de mirar por el microscopio. Lo que veía del córtex de ratas, lo pintaba, pintaba las células del sistema nervioso, las neuronas. Cajal se dio cuenta de que las neuronas funcionan con una corriente eléctrica, pero el córtex humano es esta parte del cerebro que está justo debajo del cráneo y es como una servilleta plegada, tiene muchos pliegues que sirven para aumentar la superficie sin aumentar el volumen. El córtex está formado por unas

10^{11} neuronas (10^{11} es un número muy mágico porque típicamente es el número de estrellas que hay en una galaxia media, el número de galaxias que conocemos, el número de granos de arena que hay en una playa normal, aunque por otro lado nadie los ha contado). Estas neuronas están unidas unas a otras, pero tienen una gracia especial porque son células que funcionan con electricidad. La idea de Cajal era que una neurona actúa esencialmente como un sistema electrónico que cuando el potencial eléctrico que le llega supera un cierto valor, dispara otro potencial eléctrico que llega a las neuronas siguientes, y si no alcanza ese valor, no dispara. También dijo que la unión eléctrica de una neurona con otra no era física, sino que había lo que aquí se llama la hendidura sináptica, donde una neurona se junta con la siguiente, pero sin tocarla. Es curioso que luego, años más tarde, la microscopía electrónica comprobara lo que había sido una postulación basada en la intuición.

La neurona tiene, en general, miles de ramificaciones y luego tiene una mucho más larga denominada el axón. El axón acaba en otras cuantas ramificaciones, y estas se unen con las de la neurona siguiente, que se llaman dendritas, el axón y el cuerpo de la célula. El hecho es que el interior de la célula en reposo está a un potencial negativo respecto al exterior. Es decir, es como una pila que entre el interior y el exterior hay -70mV , el centro es negativo y el exterior es positivo. Si ahora por estas dendritas entrara carga positiva, entonces estos -70 milivoltios disminuyen a lo mejor hasta -55mV . Si entra carga negativa, en ese caso se hace mucho más fuerte, más negativo todavía. Esto es lo que se llama la hiperpolarización. Entonces se observa que cuando este potencial sube porque entra carga positiva, y en vez de -70mV es -55mV , entonces la neurona lanza una señal que llega al otro lado, es decir, actúa como un input de

la información que son las cargas que entran por las ramificaciones.

La membrana de una célula, de una neurona en este caso, separa la zona interior que tiene muchas proteínas con una carga negativa del medio exterior. En el medio exterior hay sales de sodio, potasio y cloro. El cloro es negativo, y el potasio y el sodio son iones positivos que han perdido electrones. Como en el interior de la célula hay aminoácidos negativos, aquí la membrana va a usar la permeabilidad selectiva y va a dejar pasar potasio, que entra a anular esta carga negativa, porque el potasio tiene paso libre a través de la membrana. Todas las células y todas las membranas tienen unas proteínas que son las proteínas de canal, que es por donde entran los iones, y esas proteínas se pueden cerrar o abrir. Cuando nosotros damos un fármaco que abre los canales de sodio, inmediatamente entra la carga positiva, bajará el potencial y mandará un potencial de acción, mientras que si abrimos los de cloro, entrará el cloro y se hará más negativo y entonces no funcionará muy bien la neurona. Es decir, que el disparo de la neurona depende de cómo jugamos con apertura y cierre de unos canales. Todas las máquinas que nosotros tenemos para producir energía están basadas en un gradiente, la diferencia de altura del agua es lo que hace que una presa funcione. Una presa, un foco térmico caliente y otro frío hacen que haya un flujo de calor, etc. Y estas diferencias se pueden convertir en trabajo útil. La diferencia de carga en las células es igual y permiten el funcionamiento de la vida.

¿Qué es lo que pasa cuando abrimos y entra? Produce una actividad biológica y una



vez que se ha producido la actividad, tenemos que volver a ponerlo todo en la configuración inicial, y eso es el equivalente al motor, a la bomba que vuelve a subir el agua, o al foco térmico que vuelve a calentar el foco caliente. En este caso lo que tenemos son unas baterías que son macromoléculas, proteínas que hay en la membrana y que actúan de motores y vuelven a sacar la carga positiva de aquí a ahí, y recuperan la carga negativa. Y esas proteínas, como son motores que trabajan para crear otra vez la diferencia de potencial, necesitan energía para funcionar. Esa es la energía que proporcionan los alimentos que ingerimos.

En la membrana, cuando entran los iones porque se abren los canales, se producen

Siendo científicamente honrados, no sabemos cómo afecta a nuestra salud los campos electromagnéticos debidos a la tecnología: teléfonos móviles, radares terrestres, espaciales, de radios, de televisiones, etc

corrientes eléctricas y estas producen campos magnéticos, luego, la actividad cerebral produce campos magnéticos muy pequeños, del orden de 20fA. Y producen campos que no se pueden medir de ninguna manera. Sin embargo, si tenemos un millón de neuronas funcionando al mismo tiempo, un millón de canales, ya el campo magnético que producen es del orden de 10^{-9} veces el campo magnético terrestre. Y lo que es impresionante es que hoy día la técnica experimental del SQUID permite medir un campo magnético que sea ocho órdenes de magnitud más pequeño. Es decir, si al campo magnético le llamamos 1, el de la Tierra, este permitiría medir 0,00000001. Eso se mide en los centros de magnetoencefalografía, y se pueden obtener imágenes de este tipo de campos magnéticos producidos en sensores puestos en la cabeza. Es decir, la actividad eléctrica de las neuronas se puede detectar midiendo no solo la electroencefalografía, sino también magnetoencefalografía, los campos magnéticos que producen las neuronas. El hecho de que las actividades neuronales sean electromagnéticas permite intentar medirlas a través de la medida de los campos electromagnéticos que producen, y al mismo tiempo permite también soñar con la posibilidad de utilizar campos para alterar, favorablemente, esa actividad neuronal. Por ejemplo, la Estimulación Magnética Transcranial (EMT) persigue, con la aplicación de campos magnéticos, modular un poco los neurotransmisores, la apertura y cierre de canales de las neuronas.

Sometidos a campos magnéticos intrínsecos

En resumen, estamos sometidos a campos magnéticos intrínsecos. Estamos hechos de átomos moleculares que crean campos electromagnéticos. Estamos sometidos a campos no ya de nuestra propia naturaleza, sino de la naturaleza circundante, lo que llamamos naturaleza en general, la radiación solar, el campo eléctrico de la atmósfera, el campo magnético terrestre. Todos estos campos están actuando sobre nosotros. Asimismo, últimamente también aumenta la densidad de energía de los campos electromagnéticos que nos rodean debido a la tecnología: teléfonos móviles, radares terrestres, espaciales, de radios, de televisiones, todo está lleno de ondas. Y es muy legítimo preguntarse: ¿Qué pasa con esos campos? ¿Cómo afectan a nuestra salud? Realmente no lo sabemos, siendo científicamente honrados, no sabemos cómo afecta a nuestra salud.

Entonces, hay fuentes naturales de estas radiaciones de baja frecuencia que llamamos no ionizantes, la radio, el radar, todo esto que no es capaz de romper los enlaces químicos; y hay muchas naturales, como la luz, el calor y el fuego. El fuego es un pequeño sol, si el sol da la vida en la biosfera, el fuego es lo que el hombre inventa para imitar al sol desde los albores de la humanidad. Luego están las radiaciones artificiales, como las que emiten los teléfonos móviles, los ordenadores, la radio,

el radar, todas estas cosas, todos estos efectos lo llenan todo de ondas electromagnéticas, y recordemos que nuestras neuronas y nuestras células funcionan por fuerzas electromagnéticas. Es más que legítimo preguntarnos cómo nos puede afectar todo esto.

Es verdad que no se conocen casos de grandes tragedias tras haberse hecho una resonancia, en la que aguantamos un campo muy intenso durante un corto periodo de tiempo. Luego, ¿qué es lo fundamental? Las dosis. ¿Qué es lo que está pasando ahora? Que en algunos rangos de frecuencias estamos ante unas dosis a las que no estamos acostumbrados. Y, efectivamente, como no conocemos del todo la biología, desconocemos lo que nos pueda pasar. Es verdad que tenemos una serie de guías. ¿Qué es lo que hace la investigación actual? Darle importancia a cuestiones sutiles, como ¿qué puede pasar en un organismo con los radicales libres? Son sutilezas en las que hay que ahondar para investigar.

La Comisión Internacional de Protección de Radiación no Ionizante se dedica a estudiar toda la literatura que hay sobre los efectos de campos electromagnéticos y emite un comunicado bianual, que hace suyo la Organización Mundial de la Salud, dando los límites de campo. Estos valores de campo se generan de acuerdo al principio de seguridad. Esto significa que si se sabe que un campo por debajo de 100 no hace daño, se dice por debajo de 10, para todavía asegurar más. Pero siempre con un interrogante enorme y la expectativa de ver si se descubre alguna vez algo que verdaderamente nos haga cambiar los límites. En las reuniones, se van revisando esos valores de límite a la luz de la literatura. Pero hay que tener en cuenta que es una literatura complicada. Es muy difícil medir si los efectos que se estudian se deben a los campos magnéticos o a cualquier otro factor.

Bio



ANTONIO HERNANDO GRANDE

Catedrático de Magnetismo de la Materia en la Universidad Complutense de Madrid desde 1980 y Director del Instituto de Magnetismo Aplicado de la misma universidad. Es autor de trescientas publicaciones científicas, de diecisiete patentes y director de veintidós tesis doctorales. Sus publicaciones tienen 12.000 referencias con un índice H=50. Ha sido Investigador en Naval Research Lab. de Washington y profesor invitado en la Universidad Técnica de Dinamarca, Full Professor en la Universidad de Cambridge y en el Instituto Max-Planck de Stuttgart. Ha sido Vice-chairman de la sección de Magnetismo de la IUPAP, Chairman de la Soft Magnetic Materials Conference y editor de la revista *Journal of Physics Condensed Matter*. Además, es Académico Numerario de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

