

# BIOMAGNETISMO vs. MAGNETOBIOLOGÍA

A. González Arias, Dpto. Física Aplicada, Universidad de La Habana<sup>1</sup>

## RESUMEN

Bajo el título *Biomagnetismo* es posible encontrar actualmente referencias muy disímiles en la literatura científica; por ejemplo, un estudio serio y profundo sobre la posible interacción de las palomas mensajeras con el campo magnético terrestre, y también un comercial sobre una supuesta terapia magnética para aliviar el dolor, de muy dudosa efectividad. También el biomagnetismo puede aparecer ligado a la "bioenergía", término muy abusado y distorsionado en la literatura pseudocientífica. Una revisión de la literatura científica sobre el tema conduce a que el biomagnetismo aparece asociado, cada vez más de manera exclusiva, al estudio de los campos electromagnéticos de baja frecuencia generados por el cerebro y el corazón humanos. En lo que sigue se analizan las diferencias entre biomagnetismo y magnetobiología. Este último término ha sido acuñado recientemente para designar el estudio de la interacción de diversos animales con el campo magnético terrestre.

## ABSTRACT

Nowadays, under the title *Biomagnetism*, it is possible to find very dissimilar references in the scientific literature; for instance, a serious and insightful study about the possible interaction of pigeons with the earth magnetic field, and also some commercial advertising about a very doubtful magnetic therapy for removing pain. Biomagnetism may also appear related to "bioenergy", a very abused and distorted term in pseudoscientific literature. A review on the subject leads to the conclusion that in scientific literature the biomagnetism appears mostly related to the study of the low-frequency electromagnetic fields generated by the human heart and brain. In the following, the differences between biomagnetism and magnetobiology are analyzed. The last term has been coined recently to design the study of the interaction of different animals with the earth magnetic field.

## 1. INTRODUCCIÓN

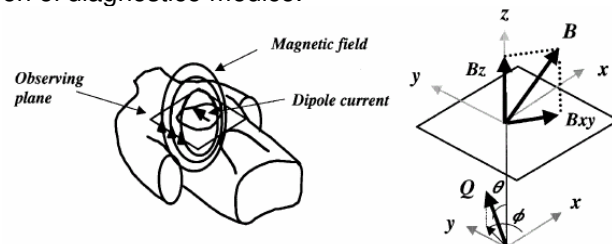
Bajo el título *biomagnetismo* es posible encontrar actualmente referencias sobre temas muy disímiles, cuyo denominador común es la interacción del campo magnético con los organismos vivos. Así, bajo este título puede aparecer tanto un comercial sobre una supuesta terapia magnética para aliviar el dolor, de dudosa efectividad, como también un estudio mucho más serio sobre la posible interacción de las palomas mensajeras con el campo magnético terrestre. Cuando la interacción biomagnética se refiere a aplicaciones médicas, es preferible referirse a ella como una *terapia magnética* (o, mejor aún, *electromagnética*, por ser esta última la única reconocida universalmente por la comunidad científica)<sup>1</sup>. Y para designar la investigación de la sensibilidad de las palomas y otros organismos vivos al campo magnético terrestre se ha reservado el término *magnetobiología*.

El término *biomagnetismo* se tiende a asociar cada vez más de manera exclusiva al estudio de los campos electromagnéticos de baja frecuencia generados por el cerebro y el corazón humanos.

## 2. BIOMAGNETISMO

El biomagnetismo es un método de diagnóstico y no una terapia. No sirve para curar, sino para diagnosticar.

Las funciones cerebrales y cardiacas están relacionadas con la presencia de corrientes eléctricas muy débiles, que van acompañadas de campos eléctricos y magnéticos. Cuando las corrientes son variables o pulsantes, los campos se encuentran en forma de *radiación electromagnética*: ondas invisibles formadas por la interacción de los campos eléctrico y magnético que se transforman uno en otro continuamente y se propagan en todas direcciones. La componente eléctrica se puede medir con electrodos colocados en la piel; se llega así al *electrocardiograma* y al *electroencefalograma*, de uso corriente en el diagnóstico médico.



**Figura 1.** Diagrama esquemático de la dirección relativa de los campos y dipolos magnéticos asociados a las corrientes en el corazón humano<sup>2</sup>.

El biomagnetismo trata de las mediciones de la componente *magnética* asociada a estas corrientes. En este caso no se utilizan electrodos, sino un *magnetómetro SQUID* (del inglés *Superconducting Quantum Interference Device*), instrumento capaz de

<sup>1</sup> [arnaldo@fisica.uh.cu](mailto:arnaldo@fisica.uh.cu)

medir campos magnéticos increíblemente pequeños, de intensidad 100 millones de veces menor que el campo magnético terrestre.

En la tabla siguiente se muestran, de mayor a menor, algunos valores de la intensidad de la inducción magnética pulsante y el lugar de origen<sup>3</sup>. El tesla es la unidad de la inducción magnética (B) en el Sistema Internacional de Unidades. El hertz (Hz) es una medida de frecuencia, igual a una vibración por segundo. Las frecuencias de las radiaciones emitidas por el cuerpo humano nunca son superiores a 1000 Hz.

El SQUID ha sido utilizado para diagnosticar la epilepsia, pues permite registrar actividades magnéticas sobre la cabeza incluso cuando el electroencefalograma no detecta efectos apreciables. En los casos donde el paciente presentaba una intensa actividad eléctrica, pero muy difusa y poco localizada, las mediciones magnéticas lograron localizar el foco epiléptico en el interior de la masa cerebral.

Este instrumento también permite detectar la presencia de impurezas ferromagnéticas en los tejidos y órganos. Si se aplica un campo magnético intenso a una región del cuerpo que contenga partículas susceptibles de magnetización, en los tejidos aparece un campo magnético propio, muy débil, pero que no desaparece después que el campo externo se retira, a causa de la magnetización remanente característica de los materiales ferromagnéticos. La técnica ha sido utilizada para buscar partículas contaminantes en los pulmones de trabajadores expuestos a atmósferas muy específicas (por ejemplo, mineros y soldados).

Otra aplicación del magnetómetro SQUID es la detección de sustancias paramagnéticas, también magnetizables, pero con mucha menor intensidad que las ferromagnéticas y que no mantienen la magnetización una vez retirado el campo externo. Sin embargo, una sustancia paramagnética en un tejido ocasiona una variación en la distribución del campo externo aplicado que puede ser detectada por el magnetómetro. Esta técnica se ha utilizado para medir la cantidad de hierro en el hígado en pacientes afectados de anemia y también para medir la cantidad de sangre que fluye por el corazón, ya que los glóbulos rojos o hematíes contienen hierro en forma de hemoglobina, que puede ser detectada por el SQUID.

La magnetometría SQUID es una técnica cara. El principal problema de esta técnica es que, al medir señales que son muchos órdenes menores que las de los "ruidos magnéticos" ambientales, provenientes de lámparas, equipos electrónicos y líneas de transmisión, es obligatorio aplicarla en un recinto magnéticamente aislado. Para eso es necesario construir una cámara de algún metal adecuado, y no de cualquier metal, en cuyo interior quepan paciente e instrumento, para que la cámara sirva de blindaje al "ruido magnético" ambiental y al campo magnético de la tierra. Dentro de la cámara no puede haber equipos electrónicos, solamente el sensor SQUID,

pues el ruido electrónico generado por cualquier otro equipo sería detectado por el sensor, oscureciendo la determinación. Por lo tanto, otro problema a resolver es el de instalar los conductores eléctricos necesarios para interconectar los equipos dentro y fuera de la cámara sin que penetre el ruido magnético externo, lo que tampoco resulta fácil. Estas características hacen que algunos opinen que la magnetometría SQUID difícilmente se pueda generalizar en un futuro como técnica rutinaria de análisis.

**Tabla 1**

B (Tesla)	Origen del campo	frecuencia de la radiación (Hz)
$7 \times 10^{-5}$	campo magnético de la tierra <sup>2</sup>	0
$10^{-7}$	fluctuaciones del campo magnético de la tierra y "ruido magnético" urbano	todo el intervalo
$10^{-9}$	partículas pulmonares	0.1 - 10
$7 \times 10^{-11}$	magnetocardiograma	0.1 - 100
$10^{-12}$	magnetocardiograma fetal	0.1 - 100
$10^{-12}$	magnetoencefalograma (ondas $\alpha$ )	8 - 12
$10^{-13}$	magnetoretinograma	0.1 - 800
$10^{-15}$	límite de sensibilidad del SQUID	todo el intervalo

En notación científica,  $7 \times 10^{-5}$  significa trasladar el punto decimal 5 lugares a la izquierda: 0.00007

### 3. MAGNETOBIOLOGÍA

En los últimos 20 años han aparecido múltiples informes describiendo el hallazgo de pequeñas cantidades de óxido ferroso-férrico  $Fe_3O_4$ , conocido vulgarmente como *magnetita* o imán natural, en el organismo de diversos animales; bacterias, anguilas, palomas y delfines, entre otros. Y se especula si estos animales utilizan el campo magnético de la tierra como una especie de brújula interna, que les sirve de orientación para desplazarse en su medio ambiente.

El menor organismo donde se ha comprobado la existencia de una capacidad de orientación en la dirección del campo magnético es el *Aquaspirillum magnetotacticum* o bacteria magnetotáctica<sup>4,5,6</sup>. Estas bacterias fueron descubiertas en 1975 por Richard P. Blakemore, quien notó que algunas de las bacterias que él observaba al microscopio siempre se movían hacia el mismo lado de su campo visual.

Cuando colocaba un imán cerca del portamuestras, las bacterias se movían hacia el polo norte del imán; las bacterias muertas también se orientaban en la misma dirección pero, desde luego, no se trasladaban al igual que las vivas. Blakemore encontró que estas bacterias son capaces de orientarse y viajar a lo largo de la dirección del campo porque tienen en su seno pequeñas partículas o *magnetosomas* compuestas esencialmente de magnetita; cada partícula es un pequeño imán permanente con su polo norte y su polo sur.

Las bacterias logran ordenar en su interior estos pequeños imanes uno detrás del otro para hacer un imán mucho más largo, y utilizan este imán como una pequeña brújula para alinearse a lo largo de la dirección del campo magnético.

Los magnetosomas presentan un intervalo de tamaños muy determinado, de 35 a 120 nm, y este estrecho rango conlleva consecuencias físicas importantes. Sólo las partículas magnéticas comprendidas en este intervalo son capaces de establecer monodominios magnéticos estables. Partículas menores de 35 nm son *superparamagnéticas* a temperatura ambiente y no se magnetizan de forma permanente en una dirección determinada. Por el contrario, las partículas mayores de 120 nm tienden a formar dominios múltiples, cada uno de ellos magnetizado en una dirección diferente, lo que reduce el valor total de la magnetización y proporciona una efectividad menor para generar campos magnéticos.

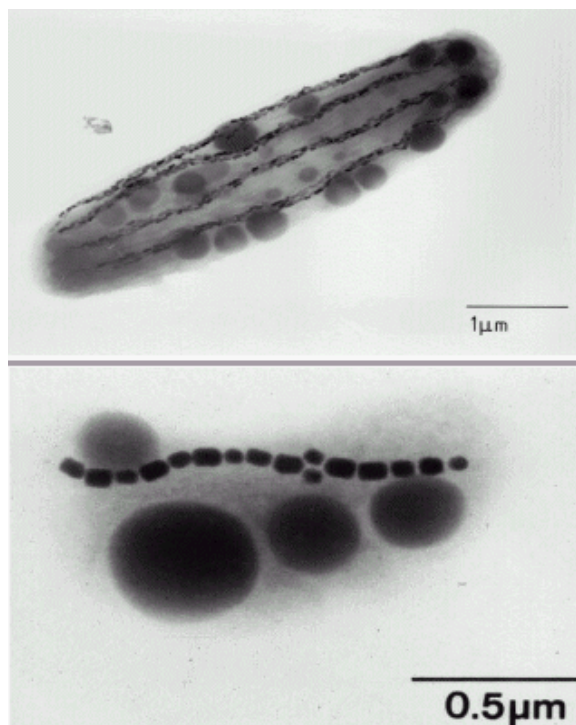
¿Para qué necesitan una brújula estas bacterias? Pues resulta ser que este tipo de bacterias prefiere vivir en medios donde hay poco o ningún oxígeno; son *anaerobias*. En un medio acuoso, el nivel de oxígeno decrece a medida que se avanza en profundidad, y las bacterias magnetotácticas utilizan sus brújulas internas para conocer donde se encuentra lo más profundo.

La dirección del campo magnético es paralela a la superficie de la tierra sólo en el ecuador; cuando nos alejamos del ecuador la dirección del campo se va inclinando hacia la superficie de la tierra, hasta llegar a ser perpendicular en los polos. Las bacterias que viven sumergidas en agua en el hemisferio norte, al orientarse hacia el norte, van efectivamente hacia lo más profundo. Y, como era de esperar, se comprobó que las bacterias del hemisferio sur, en vez de seguir el norte, se orientan al sur. En el ecuador se encuentra una mezcla de bacterias tipo "norte" y tipo "sur".

En experimentos realizados en el laboratorio, la inversión artificial de los campos norte y sur llevó a la inversión de la polaridad de las bacterias en un término de 8 semanas. Las nuevas generaciones de bacterias iban sustituyendo a las anteriores de manera tal que la orientación de sus magnetosomas era la que mejor favorecía la anaerobicidad.

Se sabe que las abejas poseen material magnético en la parte anterior del abdomen; el magnetismo parece desarrollarse en el estado de crisálida y persiste luego en los adultos. También hay mineral

magnético en la anguila, concretamente en los huesos del cráneo, de la columna vertebral y la faja pectoral<sup>7</sup>. En la cabeza y el cuello de las palomas mensajeras el material ferromagnético está presente en estructuras visibles a simple vista (0.5 – 2 mm), entre la duramadre y el cráneo; al ser observado al microscopio electrónico aparece un material opaco de aproximadamente 0.1 micrómetros de espesor, en forma de cristales negros de magnetita.



**Figura 2.** Arriba: bacteria magnetotáctica mostrando hileras de magnetosomas en su interior. Abajo: sección ampliada mostrando una hilera de magnetosomas. Las manchas difusas inferiores, de mucho mayor tamaño, son gránulos de azufre.



**Figura 3.** Diagrama esquemático de delfines siguiendo las líneas del campo magnético terrestre.

También se ha encontrado magnetita en mamíferos, especialmente en el Delfín Común del Pacífico (*Delphinus delphis*); aunque la sustancia magnética está presente en muchas partes de la cabeza, la

región más magnética se encuentra alrededor de 2 cm detrás de la cresta formada por la sutura de las partes occipitales, parietales y frontales, en la parte izquierda de la hoz cerebral, entre el cráneo y la duramadre<sup>8</sup>.

Se han llevado a cabo gran cantidad de experimentos para verificar el sentido de orientación magnética de diversos animales, sometiéndolos a la acción de campos magnéticos y estudiando su comportamiento en estas condiciones. Los experimentos preferidos son aquellos en que intervienen palomas mensajeras, aunque también se ha experimentado con insectos, peces, ... y hasta con personas.

Cada año cientos de ballenas y delfines quedan varados en las playas de todo el mundo. Algunos de estos animales son viejos y enfermos, pero también hay muchos jóvenes y fuertes. A pesar de que los encallamientos ocurren frecuentemente, no se ha podido encontrar una explicación satisfactoria en todos los casos. Si el animal está muerto, se puede suponer que murió en el mar y las corrientes lo arrastraron a la playa. Pero cuando los animales que quedan varados están vivos, resulta mucho más difícil encontrar una explicación. Una de las muchas teorías no comprobadas que existen para explicar

este comportamiento es que el encallamiento ocurre donde las líneas de inducción del campo magnético terrestre cruzan la línea de la costa, razón por la cual los animales pierden su orientación (figura 3).

Algunos experimentos proporcionan evidencia a favor de un sistema de orientación basado en el campo magnético de la tierra; otros, no tanto. Sin embargo, a pesar de los muchos experimentos y opiniones favorables en algunos casos, hasta el momento no se ha podido encontrar ningún mecanismo que explique estos posibles efectos.

En las bacterias magnetotácticas el mecanismo de orientación es muy simple; funciona incluso con la bacteria muerta. En un organismo más complejo debería existir alguna conexión de la sustancia magnética con el sistema nervioso para poder explicar la conducta de orientación observada, pero tal conexión aún no se ha encontrado. Como consecuencia, aunque no es difícil encontrar escritos que dan por sentado que muchas aves se guían en sus migraciones por una combinación visual y magnética, muchos biofísicos no creen que la sensibilidad al campo magnético de los animales superiores esté en realidad comprobada.

El tema aún se encuentra abierto a la investigación.

## REFERENCIAS

---

<sup>1</sup>A. González Arias, *Magnetismo y Pseudociencia en la Medicina*, Rev. Cubana de Física, Vol. 20, No. 1, (2003)

<sup>2</sup> Keiji Tsukada, Tsuyoshi Miyashita, Akihiko Kandori, Toshio Mitsui, Yasushi Terada, Masato Sato, Junko Shiono, Hitoshi Horigome, Satsuki Yamada & Iwao Yamaguchi, *An iso-integral mapping technique using magnetocardiogram, and its possible use for diagnosis of ischemic heart disease*, International Journal of Cardiac Imaging 16: 55-66, (2000)

<sup>3</sup> A. González Arias, *¿Qué es el Magnetismo?*, Acta Salmanticensis, Biblioteca de las Ciencias, Ediciones Universidad de Salamanca, España, (2001)

<sup>4</sup> R.B. Frankel, R.P. Blakemore, and R.S. Wolfe: *Magnetite in Freshwater Magnetic Bacteria*, Science 203, 1355-1357 (1979)

<sup>5</sup> R.B. Frankel: *Magnetotactic Bacteria*, Comments Mol. Cell. Biophys. 1, 293-310 (1982)

<sup>6</sup> D. Schueler and R.B. Frankel, *Bacterial magnetosomes: microbiology, biomineralization and biotechnological applications*, Applied Microbiology and Biotechnology 52, 464-473 (1999)

<sup>7</sup> Hanson M. et. al., *Magnetic Material in European Eel (Anguilla Anguilla)*, Comp. Biochem. Physiol. a. Comp. Physiol., 77, 2, 221—224, (1984)

<sup>8</sup> Zoeger J. et. al., *Magnetic Material in the Head of the Common Pacific Dolphin*, Science, 213, 892-894, (1981)