

## ¿Es posible modificar la actividad cerebral a través de la aplicación de campos magnéticos?

C. Maestu y F. del Pozo

Centro de Tecnología Biomédica (CTB).  
Universidad Politécnica de Madrid, (España).

### Introducción

El estudio del cerebro humano es complejo, sus mecanismos funcionales y sus propiedades más importantes aún permanecen ocultos, desde la interpretación del mundo de las sensaciones hasta las respuestas interactivas con el medio a través de la conducta. Las descripciones anatómicas sobre la estructura del cerebro pueden ser de un detalle increíble; la bioquímica puede describir la complejidad química de sus células, y junto a la neurofisiología, que interpreta la actividad eléctrica cerebral, dibujar un mapa preciso de sus funciones. Sin embargo, a pesar de la gran cantidad de información que hoy tenemos a nuestro alcance, el detalle a escala celular o molecular de las actividades del cerebro humano es todavía solo parcialmente entendido. Hasta hace relativamente poco nuestro conocimiento de la función cerebral, solo estaba basado en el estudio lesional tras daño accidental o comparaciones mediante autopsias. Con la aparición de complejas técnicas de neuroimagen [3] electroencefalograma (EEG) y magnetoencefalograma (MEG), tomografía por emisión de positrones (*Positron Emission Tomography*, PET), resonancia magnética funcional (*Functional Magnetic Resonance Imaging*, FMRI), espectroscopía por resonancia magnética (*Magnetic Resonance Spectroscopy*, MRS, etc) ciertos detalles del funcionamiento del cerebro humano han empezado a revelarse. Los cambios electromagnéticos, metabólicos y hemodinámicos observados han permitido desvelar algunos datos indirectos del funcionamiento del cerebro.

Del lado de la intervención en la función cerebral el panorama siempre ha tenido una característica principal, su gran invasividad. Desde las intervenciones practicadas en el cerebro mediante orificios realizados en el cráneo, al uso de diferentes tipos de drogas o los tratamientos eléctricos intracraneales. Aunque los recientes avances en neurocirugía mejoran notablemente esta situación.

La posibilidad de intervenir en la función cerebral de forma no invasiva o mínimamente invasiva desde el exterior de la caja craneal no se ha empezado a desarrollar hasta hace

pocas décadas. A pesar de que los primeros ensayos fueron desarrollados por D'Arsonval (1851-1940) en 1896 en una publicación titulada "Aparatos para la medida de campos alternos en todas las frecuencias", donde aparece un pasaje que dice: "...el campo magnético alterno con una intensidad de 110 Volts, 30 Amperios y una frecuencia de 42 ciclos por segundo produce fosfenos, vértigos y en algunas personas síncope cuando se coloca la cabeza dentro de una bobina" (figura 1).



Figura 1. Solenoide utilizado por D'Arsonval [4].

Tras los experimentos de D'Arsonval vinieron los realizados por Thompson (1910), quien construyó una bobina de 32 vueltas, 22,5 cm de diámetro y 20 cm de altura, que colocó en la cabeza de sujetos voluntarios, que describieron débiles sensaciones luminosas, de colores, como manchas borrosas debidas al paso de una corriente de 800 Amperios que producía un campo magnético de 140 mT a 50 Hz (figura 2).



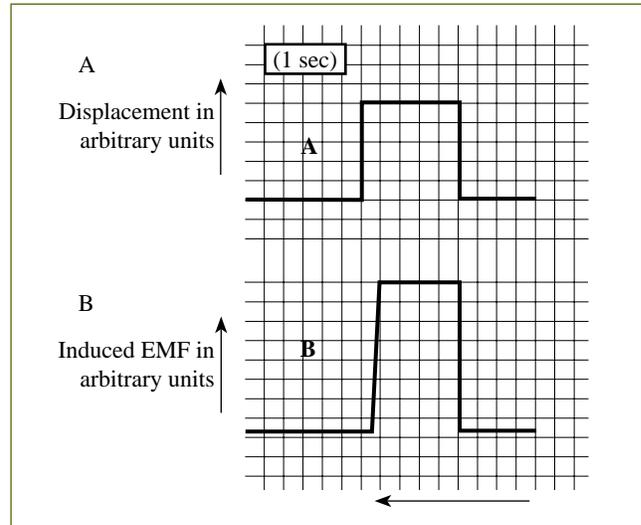
Figura 2. Silvanus P. Thompson aplicándose su estimulador electromagnético en 1910 (Tomada de Barker, 1991) [5].

Estas primeras experiencias han dado lugar, pasadas unas cuantas décadas, a los modelos de aplicación de Campos ElectroMagnéticos (CEM) que hoy son utilizados en la clínica y la investigación de las funciones cerebrales. Emerge así una nueva posibilidad de conocer la función cerebral basada en el uso de campos magnéticos, es la Estimulación Magnética Transcraneal (EMT): la posibilidad de intervenir en la función cerebral mediante campos electromagnéticos aplicados desde el exterior del cerebro para modificar sus respuestas conductuales, actuando en los diferentes niveles molecular, celular, de red neural que las soportan.

El cráneo y los tejidos cerebrales configuran un volumen conductor con una variada distribución que se comportan como elementos resistivos de diferente conductividad, por ello, los esfuerzos para alterar la actividad eléctrica del cerebro, mediante la aplicación de un campo electromagnético CEM, producido por una bobina colocada sobre el cuero cabelludo, tiene importante ventajas sobre la estimulación eléctrica transcraneal (EET), que requiere elevados voltajes que producen efectos desagradables en los pacientes, como es el caso del conocido por electroshock descubierto por Ugo Cerletti y Lucio Bini en 1938, aplicado a procesos psicóticos agudos. (1,2). La EMT tiene a su vez una ventaja añadida sobre la EET. Mientras en la aplicación de campos eléctricos siempre tenemos que contar con una amplia variabilidad de la conductividad de los tejidos cerebrales, con campos magnéticos la permeabilidad es prácticamente homogénea. De esta forma solo con campos magnéticos será posible controlar la dispersión geométrica de los campos aplicados y consecuentemente las posibilidades de focalización de la estimulación. Con la EMT será posible crear campos eléctricos inducidos en zonas contraladas del cerebro con las que intentar modificar la actividad neuronal de una forma no cruenta, no dolorosa y reversible, abriendo numerosas aplicaciones de la EMT en el diagnóstico y tratamiento del cerebro y configurando una poderosa herramienta para el estudio de las funciones, localizaciones y conexiones del cerebro, la patofisiología de las enfermedades neuropsiquiátricas y la neurología, e incluso en aplicaciones terapéuticas en la recuperación de lesiones cerebrales y neuronales

Pero ha sido necesario que trascurran más de tres décadas antes de que la estimulación magnética volviera a utilizarse, desde los primeros experimentos de D'Arsonval, quizás en parte por la dificultad técnica de producir campos magnéticos de varios Teslas. En 1946 Walsh [6] y Barlow y cols (1947) [7] colocaron unas bobinas junto a la sien, sin tocar la piel, aplicando una corriente alterna de 10-40 Hz, conseguían reproducir las sensaciones luminosas, fosfenos, descritos previamente por D'Arsonval. Cuando la corriente aumentaba los fosfenos ocupaban más campo visual hasta llegar a un punto en que comenzaban a disminuir a pesar de que se siguiera incrementando la corriente. Otros experimentos como los de Kolin y cols (1959) [8] consiguieron

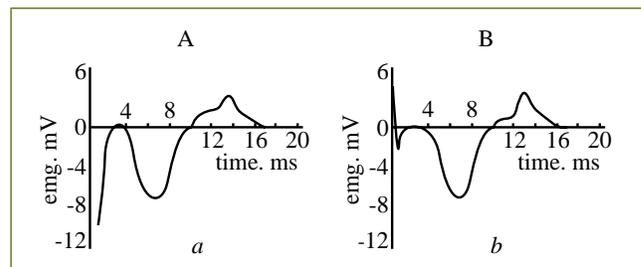
estimular un nervio periférico, la figura 3 presenta la primera evidencia de que un nervio (ciático) puede ser estimulado por un campo magnético.



**Figura 3.** La primera contracción de un músculo (A) medido mediante emg. Respuesta a la estimulación magnética (MEF) aplicada al nervio ciático de una rana (B). (Geddes, 1991) [9]. Medidos ambos en unidades arbitrarias.

En 1965 Bickford y Fremming [10] fueron capaces de estimular el músculo esquelético de conejos, ranas y sujetos humanos usando estimulación magnética pulsada a 500 Hz. La duración del pulso fue de 300  $\mu$ s con un pico de campo entre 2 y 3 Teslas.

La aplicación actual de la estimulación magnética transcraneal comenzó con los nuevos sistemas desarrollados por Barker, 1987 [5], con especial interés en producir potenciales de acción muscular como respuesta a la estimulación de un nervio con un campo magnético de 2,2 T, a nivel del antebrazo y recogieron la contracción muscular de la eminencia tenar con un electromiograma (EMG).



**Figura 4.** Potenciales musculares de acción recogidos por electrodos en la base del pulgar de un hombre (A) con estimulación magnética del nervio mediano y (B) por estimulación eléctrica del mismo nervio. (Polson y cols, 1982) [11].



**Figura 5.** La primera contracción de un músculo (A) medido mediante emg. Respuesta a la estimulación magnética (MEF) aplicada al nervio ciático de una rana (B). (Geddes, 1991) [9]. Medidos ambos en unidades arbitrarias.

## Principio de acción

La técnica de la estimulación magnética con campos intensos esta basada en los principios de inducción descubiertos por M. Faraday en 1831. Un pulso de corriente que circula por un conductor genera un campo magnético de dirección perpendicular a la de la corriente. La aplicación de este campo, en el caso de que sea variable, produce una inducción de corriente en cualquier conductor. Si consideramos las neuronas como estructuras conductoras la presencia de campos variables inducirá corrientes que, si son de intensidad suficiente, podrán producir la despolarización de sus membranas al modificarse el potencial transmembrana, generándose así potenciales de acción consecuentes al campo aplicado. En el caso de la estimulación magnética, transcranial (TMS) este campo electromagnético atraviesa la calota y las diferentes estructuras cerebrales sin perturbaciones debidas a la anisotropía en la permeabilidad del medio sufriendo simplemente una disminución en su intensidad con el cuadrado de la distancia.

Para conseguir inducir una corriente que despolarice la membrana y produzca potenciales de acción, que generen a su vez una respuesta postsináptica, necesitamos producir un campo magnético en el exterior de 1 a 4 Teslas, intensidad de campo elevada pero que según este principio solo generara un campo activo, con capacidad de inducir un campo suficiente como para despolarizar los axones neuronales, en una zona situada a unos 5 cm de profundidad de la zona donde se ha colocado la bobina de estimulación. De esta manera al estimular diferentes puntos de la corteza cerebral y registrar las respuestas musculares mediante Electromiografía se pueden conseguir mapas de las áreas funcionales motoras del cerebro. La corriente necesaria para generar este campo es de 7-10 KA, por lo que será necesario utilizar grandes bobinas,

simples o dobles (*Butterfly Coils*) que deben ser refrigeradas debido a que su calentamiento puede afectar al paciente. Los pulsos de corriente empleados pueden ser de dos tipos: un pulso simple de aproximadamente un milisegundo de duración, o trenes de pulsos, estimulación transcranial repetitiva (RTMS), que pueden ser monofásicos o bifásicos (con pares de pulsos de diferente intensidad), lo que determina diferentes respuestas biológicas en función del estímulo, el campo magnético llega hasta 2.5 Teslas en unos 50 microsegundos. La RTMS produce efectos que duran más en el tiempo que el período de estimulación. Los pulsos de rTMS puede aumentar o disminuir la excitabilidad de las vías corticospinal o corticocortical en función de la intensidad de la estimulación, orientación de la bobina y la frecuencia de estimulación. Pero el mecanismo de acción preciso de estos efectos permanece aún sin explicación Fitzgerald et al, 2006 [12]. Es importante distinguir TMS y rTMS, ya que sus efectos se manifiestan de formas diferentes, Actualmente TMS se utiliza para medir clínicamente la actividad y la función de circuitos específicos del cerebro en los seres humanos. El test más robusto y ampliamente aceptado en su uso es la medición de la conexión entre la corteza motora primaria y un músculo: la amplitud y la latencia de la estimulación del área motora central y el registro mediante (EMG), para determinar las posibles anomalías de conducción. Esta técnica es útil en la mayoría de los accidentes cerebrovasculares, lesiones de la médula espinal, esclerosis múltiple y patologías relacionadas con las disfunciones de conducción eléctrica en motoneuronas. Quizás una de las aplicaciones mas desconocidas es la medida del intervalo intracortical de inhibición (SICI) sistema que mide los circuitos intracorticales de la corteza motora descrita por Kujirai en 1993 [13]. La técnica de pulsos pareados permite explorar la excitabilidad cortical así como la integridad interhemisférica y el tiempo de conducción trascalloso (Pascual-Leone 2008) [14].

Otra de las aplicaciones interesantes es la comprobación de los cambios en la plasticidad cerebral mediante TMS repetitiva o la gran variedad de aplicaciones desarrolladas hasta ahora (Traumatismos craneales, Afasia, Tinnitus, parkinson, distonias, ELA, Epilepsia, Cefaleas, Disfasias, Depresión, dolores crónicos etc). Aunque en la mayoría de los casos los resultados publicados son muy modestos.

## Una hipótesis de trabajo: Capacidad de modulación de la respuesta

Es una idea generalmente aceptada que determinadas funciones cerebrales se encuentran ubicadas en áreas funcionales específicas. Sin embargo los recientes avances en técnicas de neuroimagen nos fuerzan cada vez más a entender el cerebro, desde un punto de vista funcional como una

compleja interacción de redes con capacidad de modulación de sus señales de gran especificidad y complejidad. Aunque por ahora desconocemos con precisión los mecanismos regulatorios, la función cerebral y sobre todo la respuesta conductual aparece como una delicada interacción de procesos que en muchos casos involucran áreas cerebrales lejanas, configurando complejas redes neurales. Por ello los mecanismos de modulación de estas redes y los códigos específicos con los que se comunican, aparecen como uno de los retos de investigación más apasionantes, sobre todo cuando estas alteraciones en los procesos de modulación y señalización son claves para entender los mecanismos patológicos asociados a la disfunción cerebral.

La posibilidad de modular estas respuestas en red a partir de la emisión controlada de CEM abre un interesante campo de actuación para estudiar la red neural alterada en determinada enfermedad (Maeda 2000) [15]. Parece que esta capacidad de interacción con las redes neurales podría estar determinada por la frecuencia de los pulsos a aplicar (Liebetanz 2002) [16].

La demostración de que estos efectos pueden modificar la función cerebral parece clara, a la vista de las múltiples aplicaciones y experimentos realizados. De hecho la aplicación clínica de la TMS en algunas patologías (depresión, trastornos psicóticos etc) ha sido aceptado por las agencias internacionales como la FDA. Aunque aún sabemos poco de los efectos reales que producen estos campos magnéticos intensos sobre la función cerebral, parece claro que la modifican, pero para entender estos cambios solo disponemos de los sistemas de registro anteriormente descritos. Es seguro que existen una gran cantidad de respuestas a escala celular y molecular que aún no somos capaces de cuantificar, ni tenemos sistemas de medida que nos permitan registrar estos cambios en organismos vivos.

### **La estimulación electromagnética de baja intensidad**

En los últimos años se han desarrollado nuevos sistemas de estimulación para comprobar si campos electromagnéticos de baja intensidad y frecuencias (*Extra Low Frequencies*) ELF son capaces de producir también modificaciones en la función cerebral. Estudios a nivel celular comprueban como pequeños campos electromagnéticos de pocos pT son capaces de sincronizar poblaciones neuronales (Azanza 1994) [17] situadas en las proximidades de la bobina de aplicación. En estos casos, la energía comunicada al sistema no es capaz de inducir el potencial necesario para producir estas despolarizaciones y por tanto estas respuestas de modulación. Por tanto habría que suponer que otros mecanismos relacionados quizás con los sistemas de orientación iónica transmembrana o de inducción de microcorrientes por efecto

coulombiano, que permitieran explicar como se producen estos efectos y como estos son amplificadas para obtener respuestas en redes neurales complejas.

Con el soporte de los resultados experimentales, y teniendo en cuenta la biología celular de las neuronas, cualquiera de los campos magnéticos aplicados, desde ELF a las microondas no aportan energía a la membrana capaz de producir la activación de las bombas o de los canales iónicos. Un campo magnético actuando desde el exterior de la membrana produce un par de fuerzas sobre las moléculas de lípidos y de proteínas orientando su posición en función de la dirección del campo aplicado. Como resultado de este efecto se podría producir la liberación de iones de calcio a ambos lados de la membrana plasmática por un mecanismo de explosión coulombiana. El calcio liberado actuando como segundo mensajero citosólico es capaz de modificar la actividad electrofisiológica (Un estudio detallado puede verse *en model of superdiamagnetism and ca2+ coulomb explosion (sd+ce) for neurone membrane responses to applied magnetic fields* (Del Moral 2007) [18]). Los efectos observados no solo se producen a nivel celular, la aplicación de campos electromagnéticos de intensidad muy reducida (pT-mT) se han demostrado capaces de producir efectos analgésicos, antiinflamatorios o de restauración de respuestas inadecuadas en varias patologías (Sandyk, Sherlang, Shupak, Cook, Prato etc.) (19-37).

La magnetosensibilidad parece ser una propiedad general de cualquier tipo de célula. La sensibilidad de las células frente a un campo electromagnético, depende de muchos aspectos: tipo de célula su especialización, del grado de actividad funcional, o que sea una célula normal o tumoral. Es decir, se pueden esperar efectos diferentes, en tejidos diferentes, cuando un campo incide en un organismo completo. Por tanto hay que pensar que los efectos biológicos, inducidos por los campos magnético y electromagnético, no van a encontrar siempre las mismas respuestas ante estímulos similares, ya que los sistemas vivos están constantemente cambiando y sus propiedades también, de hay, la dificultad de cuantificar y comparar sus efectos, ya que estos van a presentar una gran dificultad para ser replicados y comparados con otros similares. No solo a escala celular sino de sistemas complejos como es el caso del cerebro humano.

Nuestro cerebro, nuestros sistemas neuronales, pueden ver modificadas sus funciones mediante la inmisión de campos electromagnéticos de altas y bajas intensidades, produciendo efectos en la mayoría de los casos aún desconocidos y por determinar. Nuestro cerebro así como sus componentes celulares presentan una gran sensibilidad a estos cambios (capacidad de sincronización y modulación de señales), y también una gran capacidad de adaptación a nuevas situaciones que el ambiente le depara, los nuevos emisores artificiales con los que convivimos es seguro que producen respuestas de adaptación que impiden el desarrollo

de alteraciones patológicas en los procesos de modulación. Podemos por tanto utilizar estas capacidades para modificar de forma voluntaria funciones alteradas e intervenir de forma no invasiva en patologías funcionales cerebrales, de las que aún no conocemos sus mecanismos de actuación. Este nuevo mundo desconocido necesita de prudentes y detalladas investigaciones que nos aproximen a la posibilidad de tratar enfermedades comunicándose con los elementos funcionales de la actividad cerebral en su mismo lenguaje, pero lo que si parece aproximarse es la idea de que mediante sistemas no invasivos basados en campos electromagnéticos podemos modificar determinadas funciones cerebrales.

### Referencias bibliográficas

- [1] LISANBY S.H., SCHLAEPFER T.E., FISCH H.U., et al. Magnetic seizure therapy of major depression. Arch Gen Psychiatry. 2001 Mar; **58**(3): 303-305.
- [2] KRYSAL A.D., WEST M., PRADO R., et al. E.E.G effects of E.C.T: implications for rTMS. *Depress Anxiety*. 2000; **12**(3):157-165.
- [3] MAESTU C., GÓMEZ-UTRERO E., PIÑEIRO R., DE SOLA R.G., Magnetoencefalografía: una nueva técnica de diagnóstico funcional en neurociencias REV NEUROL, 1999; **28**:1077-1090].
- [4] BARKER A.T., FREESTON I.L., et al. Magnetic stimulation of the human brain and peripheral nervous system: an introduction and the results of an initial clinical evaluation. *Neurosurgery*, 1987; **20**:100-109.
- [5] BARKER A.T., An introduction to the basic principles of magnetic nerve stimulation. *J Clin Neurophysiol* 1991; **8**:26-37.
- [6] WALSH E.G., Magnetic stimulation of the human retina Fed Proc, 1946 ; **5**:109-110
- [7] BARLOW H.B., KOHN H.L., WALSH E.G., Visual sensations aroused by magnetic fields. *Am J Physiol* 1947 **148**:372-375.
- [8] KOLIN A., BRILL N.Q., BROBERG P.J., Stimulation of irritable tissues by means of an alternating magnetic field Proc Soc Exp Biol Med, 1959 **102**.251\_253.
- [9] GUEDES L.A., History of magnetic stimulation of the nervous system *J. Clin Neurophysiology*, 1991, **8** (1) 3-9.
- [10] BICKFORD R.G., FREMMING B.D., Neural stimulation by pulsed magnetic fields in animals and man Conf Med Electr. Biol Eng Tokyo 1965.
- [11] POLSON M.J.R., BARKET A.T., FREESTON I.L., Stimulation of nerve trunks with time varying magnetic fields. *Med Biol Eng Comput*. 1982 **20**: 243-4
- [12] FITZGERALD P.B., BENITEZ J., DASKALAKIS J.Z., DE CASTELLA A., KULKARNI J., WORLD J., Biol The treatment of recurring auditory hallucinations in schizophrenia with rTMS *Psychiatry*. 2006; **7**(2):119-22.
- [13] KUIRAI T., CARAMIA, M.D., ROTHWELL J.C., DAY B.L., THOMPSON P.D., FERBERT A., WROE S., ASSELMAN P. & MARSDEN C.D., (1993). *Journal of Physiology* **471**, 501—519.
- [14] PASCUAL-LEONE A., TORMOS-MUÑOZ J.M., Transcranial magnetic stimulation: the foundation and potential of modulating specific neuronal networks] *Rev Neurol*. 2008; **46** Suppl 1:S3-10. Spanish.
- [15] MAEDA F., KEENAN J.P., TORMOS J.M., TOPKA H., PASCUAL LEONE A., interindividual variability of the modulators effects of repetitive TMS Exp. Brain Res 2000; **133**: 425-30.
- [16] LIEBETANZ D., NITSCHKE M.A., TERGAU F., PAULUS W., Pharmacological approach to the mechanisms of transcranial DC stimulation induced after effects of human motor cortex excitability. *Brain* 2002. **125**, 2238-2247.
- [17] AZANZA M.J., DEL MORAL A., Cell membrane biochemistry and neurobiological approach to biomagnetism *Prog Neurobiol*. 1994 Dec; **44**(6):517-601. Review.
- [18] DEL MORAL A., models of interaction of magnetic fields with neurone membrane Ettore Majorana School on Bioelectromagnetism, Erice (Sicilia), november, 2000.
- [19] SANDYK R.A., drug naive parkinsonian patient successfully treated with weak electromagnetic fields *Int J Neurosci*. 1994 Nov; **79** (1-2):99-110.
- [20] SANDYK R., 1993: *Weak magnetic fields antagonize the effects of melatonin on blood glucose levels in Parkinson's Disease*. *Int. J. Neuroscience* **68**(1-2): 85-91.
- [21] AZANZA M.J. AND DEL MORAL A., ELF-Magnetic Field induced effects on the bioelectric activity of single neurone cells *J. Magn. Mat.*
- [22] DEL MORAL A., PÉREZ BRUZÓN R.N., AZANZA M.J., Helix aspersa single unit neurons show a frequency window phenomena under applied magnetic fields of variable frequency. "6<sup>th</sup> International Congress of the European Bioelectromagnetic Association (EBEA) P-051-053 2002.
- [23] AZANZA M.J., CALVO A.C., DEL MORAL A., Evidence of synchronization of neurones activity of molluscan brain ganglia induced by alternating 50 Hz applied magnetic field. *Electromagnetic Biology and Medicine*. Volumen: **21** :221- 232 2002.
- [24] AZANZA M.J., PÉREZ BRUZÓN R.N., LEDERER D., CALVO A.C., DEL MORAL A. Y VANDER VORST A., Reversibility of the effects induced on the spontaneous bioelectric activity of neurons under exposure to 8.3 and 217.0 Hz low intensity magnetic fields. Comunicación invitada. Congreso: 2nd International Workshop: *Biological Effects of Electromagnetic Fields*.
- [25] SANDYK R., 1994: *Rapid normalization of visual evoked potentials by picoTesla range magnetic fields in chronic progressive multiple sclerosis*. *Int. J. Neuroscience* **77**(304): 243-259.
- [26] SANDYK R. AND DERPAPAS K., 1993: *Further observations on the unique efficacy of picoTesla range magnetic fields in Parkinson's Disease*. *Int. J. Neuroscience* **69**(1-4): 167-183.
- [27] SANDYK R. AND IACONO R.P., 1993: *Reversal of visual neglect in Parkinson's Disease by treatment with picoTesla range magnetic fields*. *Int. J. Neuroscience* **73**(1-2): 93-107.
- [28] SANDYK R., TRANSCRANIAL A.C., pulsed applications of weak electromagnetic fields reduces freezing and falling in progressive supranuclear palsy: a case report. *Int J Neurosci*. 1998 May; **94** (1-2):41-54.
- [29] SHENG WU YI XUE GONG CHENG XUE ZA ZHI. Study on the influence of simulative EEG modulation magnetic field on the discharge of median raphe nuclei 2004 Apr; **21**(2):219-24.
- [30] PELKA R.B., JAENICKE C., GRUENWALD J., Impulse magnetic-field therapy for insomnia: a double-blind, placebo-controlled study *Adv Ther*. 2001 Jul-Aug; **18**(4):174-80.
- [31] MAERTENS DE NOORDHOUT A., SCHOENEN J., Transcranial magnetic stimulation in migraine *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl*. 1999; **51**:260-4. Review.
- [32] ADEY W.R., 1980: *Frequency and Power windowing in tissue interactions with weak electromagnetic fields*. *Proc. IEEE*, **68**:119-125.
- [33] BLACKMAN C.F., KINNEY L.S., HOUSE D.E. Y JOINES W.T., 1989: *Multiple power-density windows and their possible origin*. *Bioelectromagnetics*, **10**: 115-128.

- [34] BLACKMAN C.F., 1990: *ELF effects on calcium homeostasis*. In *Extremely low frequency electromagnetic fields: The question of cancer*, BW Wilson, RG Stevens, LE Anderson Eds, Publ. Battelle Press Columbus: 1990; 187-208.
- [35] KARASEK M., WOLDANSKA-OKONSKA M., CZERNICKI J., ZYLINSKA K. AND SWIETOSLAWSKI J., 1998: *Chronic exposure to 2.9 mT, 40 Hz magnetic field reduces melatonin concentrations in humans*. J. Pineal Research **25**(4): 240.
- [36] COOK C.M., SAUCIER D.M., THOMAS A.W., PRATO F.S., Changes in human EEG alpha activity following exposure to two different pulsed magnetic field sequences *Bioelectromagnetics*. 2009 Jan; **30**(1):9-20.
- [37] PRATO F., CARSON J., OSSENKOPP K.P., KAVALIERS M., Possible mechanisms by which extremely low frequency magnetic fields affect opioid function *Faseb journal* V **9** June 1995.
- [38] SCHERLAG B.J., YAMANASHI W.S., HOU Y., JACOBSON J.I., JACKMAN W.M., LAZZARA R., Magnetism and cardiac arrhythmias. *Cardiol Rev.* 2004 Mar-Apr; **12**(2):85-96.
- [39] SHUPAK N., Therapeutic uses of pulsed magnetic field exposure: A review *Radio Science Bulletin* **307** december 2003.
- [40] MAESTU C., RAMIREZ E., Estimulación magnética de bajo campo. *Neuroimagen técnicas y procesos cognitivos* ed. Masson elsevier 2007. Isbn: 978-84-458-1776-6.

## Carta del Director



Apreciado lector, apreciada lectora: Tiene Vd. ante sus ojos el -muy probablemente- último número de la Revista Iberoamericana de Física (RIF), al menos en la etapa presente. Esto se entenderá con sólo examinar el índice: de doce artículos firmados, en las diferentes secciones que componen la revista, en sólo dos aparece algún autor iberoamericano; más aún, prácticamente todo lo publicado en este número en la sección “De todo un

poco”, que incluye crítica de libros, noticias de premios y distinciones, reuniones científicas, etc., se refiere a España. Por consiguiente, y puesto que ésta ha sido más o menos la tónica general desde el primer número de la revista, no parece tener mucho sentido su continuación, habida cuenta de que los artículos de autores españoles y las noticias de

España tienen ya un marco apropiado de publicación: la Revista Española de Física (REF).

Lo único que posibilitaría que la RIF siguiera siendo editada por la RSEF sería que antes de abril de 2010 se recibiera en la sede de esta Sociedad un número significativo de trabajos publicables (al menos seis, digamos) y unas cuantas noticias de actividades (reuniones, premios, etc.), todo ello referido, claro está, a Iberoamérica o Portugal. Si no es así, tendremos que “echar el cierre”, a no ser que alguna sociedad hermana desee tomar el relevo. (Por supuesto, si se recibiera algún trabajo para la RIF y ésta no siguiera publicándose, se publicaría -en caso de ser aceptado- en la REF, previo acuerdo del autor.)

Aún hay alguna posibilidad de que la RIF siga con vida; sería una pena que muriera tan joven. Pero eso depende de todos nosotros.

Un cordial saludo.

**José L. Sánchez Gómez**