

EL BIOELECTROMAGNETISMO EN LA ENSEÑANZA DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

Carlos Becerra Escudero, Ing.
ESPOL - Fac. de Ingeniería Eléctrica
Apartado 5863, Guayaquil, Ecuador

RESUMEN

En este trabajo se exponen los principales argumentos para relacionar al bioelectromagnetismo como parte de la enseñanza de ingeniería eléctrica y electrónica. Esta sustentación empieza con exponer brevemente el fenómeno de interacción de los biomateriales con los campos e.m. Enseguidamente se exponen las principales aplicaciones e implicaciones de esta interacción, y su importancia en la carrera. Se presenta una propuesta de programa académico de bioelectromagnetismo.

ABSTRACT

In this paper, the main factors that relate bioelectromagnetism as part of electrical and electronics engineering programs are shown. It starts by briefly explaining the interaction of EM fields with biomaterials. Then, applications and implications of this phenomenon are described, as well as its importance. A proposal of bioelectromagnetics academical program is presented.

1.- INTRODUCCION

Los campos electromagnéticos no ionizantes, desde los campos ELF (por ejemplo, 60 Hz) hasta las microondas y ondas milimétricas, cuando penetran dentro de un tejido biológico, están en capacidad de producir diversos tipos de efectos observables desde el punto de vista biológico o fisiológico. Muchos autores clasifican a estos efectos mediante dos distintos mecanismos, considerando el nivel de modificación térmica [1].

En primer lugar, tenemos los efectos Térmicos, que se refieren a aquellas afectaciones derivadas directa o indirectamente de la elevación de temperatura de la región biológica irradiada, como resultado de la disipación de energía electromagnética. Existen dos contribuciones para el cálculo básico de este efecto: la movilidad iónica (o sea, el efecto Joule) y, principalmente, la oscilación de los diferentes componentes dipolares del tejido biológico (fenómeno conocido como calentamiento dieléctrico).

En segundo lugar están los efectos No Térmicos, llamados así porque no se derivan de la disipación térmica en el tejido biológico. Esta forma de afectación surge de la interacción de los campos e.m. a nivel de membrana celular, orgánulos, biopolímeros, etc. [1,2,3,4]. El efecto no térmico puede ser observable para bajos niveles de campo y con exposiciones a largo plazo básicamente, de tal forma que 100 mW/cm² sería el límite aproximado para distanciar los efectos térmicos de los no térmicos. Los órganos pueden responder estructural o funcionalmente ante la interacción no térmica; y en el caso de seres humanos, hay evidencias de efectos cardiovasculares, hematoencefálicos, hematológicos, neurológicos y otros más, dependiendo de varios factores [5,6,7,8,9,10].

Considerando todo este panorama interactivo de los campos e.m. con los sistemas y subsistemas biológicos, han surgido dos campos importantes en las ciencias e ingenierías: El primero es de las aplicaciones médicas de la energía electromagnética (v.gr., la diatermia e hipertermia); y el segundo campo corresponde a las implicaciones de la presencia de campos electromagnéticos, de toda frecuencia e intensidad, en el entorno ambiental (preocupación conocida como contaminación electromagnética) [2,11,12,13,14,15]. Todo este conjunto de criterios de aplicaciones e implicaciones de la interacción bioelectromagnética, merecen ser conocidos y analizados por estudiantes universitarios y profesionales de la electricidad y electrónica. La intención de este trabajo, como consecuencia de lo anterior, es promover y justificar el estudio del bioelectromagnetismo dentro de los programas formales de ingeniería eléctrica y electrónica en el Ecuador.

2.- GENERALIDADES SOBRE LA BIOINTERACCION

Todos los sistemas biológicos animales y vegetales, poseen propiedades dieléctricas y conductoras similares a un material dieléctrico con pérdidas. Una clasificación aplicable entonces a los tejidos, es desde el punto de vista del contenido de agua de los tejidos biológicos: los biomateriales con alto contenido de agua (por ejemplo, músculo y piel) y los que tienen bajo contenido (por ejemplo, los tejidos óseos y adiposos). La constante dieléctrica (que corresponde a la parte real de la permitividad relativa del biomaterial) y la conductividad (iónica más dispersiva) de los tejidos de alto contenido de agua, son mayores que en los de bajo contenido. En ambos casos, la constante dieléctrica del tejido disminuye con el aumento de frecuencia; y la conductividad en cambio aumenta con la frecuencia. Esto se ilustra en la figura 1.

Si E es la intensidad rms del campo eléctrico in situ, la densidad de potencia disipada en el tejido biológico por unidad de volumen, puede calcularse a partir de

$$P = (\sigma_i + \omega \epsilon'') E^2 \quad (\text{ec. 1})$$

donde σ_i es la conductividad iónica, ω es la frecuencia angular de oscilación, y ϵ'' corresponde a la parte imaginaria de la permitividad dieléctrica del material. Esta potencia se convierte en calor, lo cual provoca una elevación de temperatura que depende de la transferencia de calor en el tejido, sea por conducción o por convección (debido al flujo sanguíneo).

Como ya se dijo, adicionalmente al efecto puramente térmico, los campos e.m. pueden producir efectos no térmicos, los cuales caen en el grado de somáticos y genéticos. Este tipo de interacción tiene su base fenomenológica a nivel de modificaciones funcionales y metabólicas causados, por ejemplo,

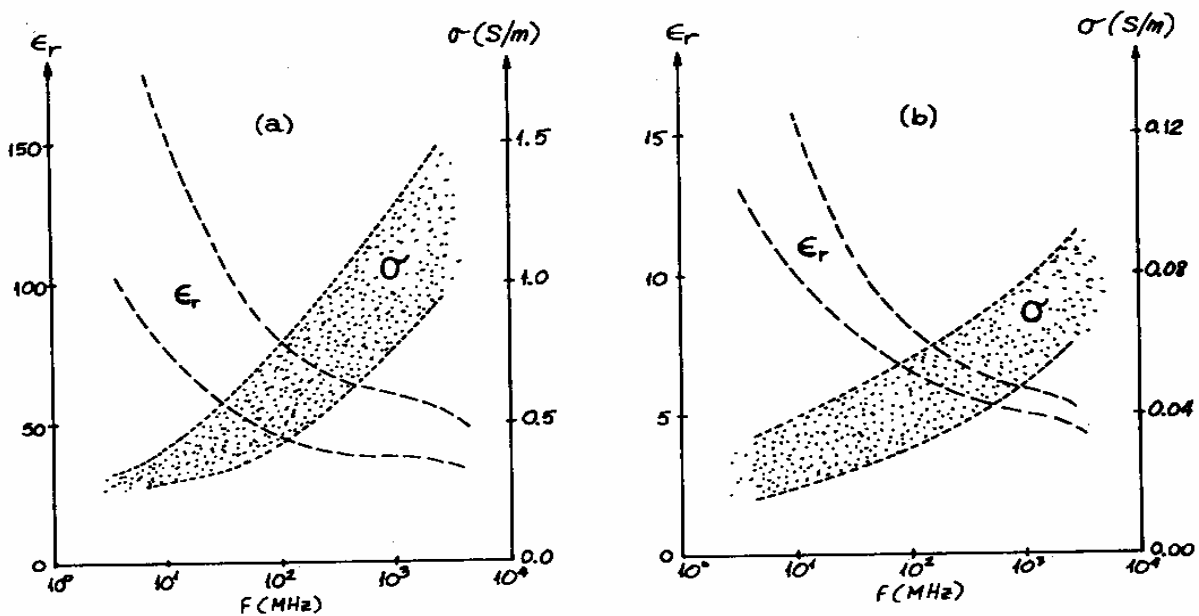


FIG. 1.- Rango de valores de la constante dieléctrica y la conductividad (en S/m), para tejidos biológicos de (a) alto contenido de agua y (b) bajo contenido de agua, en función de la frecuencia.

por alteraciones celulares tales como cambios del voltaje transmembránico, modificaciones del flujo iónico transmembránico, alteraciones cromosomales, etc. [1,2,4,7,8,9] Estas alteraciones a su vez, pueden llegar a traducirse en eventos macroscópicos de un órgano o conjunto de órganos, llámense afectaciones teratogénicas, oncogénicas, inmunológicas, hematológicas, hematoencefálicas, neurológicas, comportacionales y otros efectos fisiopatológicos [5,8,10,16,17].

La Tabla 1 muestra una recopilación de las principales bioafectaciones vinculadas con mecanismos no térmicos. Estos efectos han sido evidenciados a través de estudios experimentales de laboratorio, sea con animales o cultivos celulares, y por medio de comprobaciones experimentales en modelos simulados. Así mismo, varias de estas aseveraciones tienen su confirmación mediante modelos teóricos electrobiológicos y matemáticos, y con la ejecución de estudios epidemiológicos

TABLA 1
Resumen de los Efectos de Campos e.m. en los Seres Vivientes

DESCRIPCION DEL BIOEFECTO	RANGO DE FRECUENCIA
Alteración de Permeabilidad de la Barrera Hematoencefálica [2,24]	RF/MO
Inducción de Defectos Cromosomales en Células Espermatogénicas [6,17,27]	ELF y RF/MO
Cambios en el Flujo de Iones de Calcio en Tejidos Cerebrales [6,7,9]	ELF
Inducción de Ondas Acústicas en el Cerebro [12,25]	RF/MO
Alteración de Células Oseas y Células de Tejidos Nerviosos [10,26]	ELF
Disminución de la Actividad de Células Inmunológicas [6]	RF/MO
Posibles Efectos Oncogénicos en Ambientes e.m. Laborales [16,28]	ELF y RF/MO
Posibles Efectos Depresivos en Ambientes e.m. [29]	ELF

[31] de tipo cohórtico o casuístico en grupos poblacionales o laborales [3,4,5,6,7,8,10,12,16,17,18,19,20]. En verdad, todas estas bioafectaciones y su amplio campo de aplicaciones (beneficios) o implicaciones (perjuicios), constituyen hoy en día la máxima preocupación de la investigación bioelectromagnética [2,6,7,12,13].

Los ingenieros y científicos, relacionados directa o indirectamente con el estudio y la administración de la electricidad y electrónica, están en la obligación de conocer lo suficiente sobre la interacción bioelectromagnética y lo que ella significa. Este conocimiento estaría dirigido a dos campos:

- 1.- **Aplicaciones:** Se refiere a todo uso benéfico de la energía electromagnética al interactuar con tejidos biológicos. Esto abarca el empleo de los campos e.m. en medicina, biología, agricultura y otras ciencias afines. Este es un campo estrechamente vinculado con la ingeniería biomédica [30].
- 2.- **Electrocontaminación:** Considerando la presencia de la gran cantidad de equipos y artefactos, de naturaleza eléctrica o electrónica, que emiten a su entorno energía electromagnética (tales como antenas de radio, televisión, radioenlaces, enlaces satelitados, subestaciones eléctricas, líneas de electrificación, hornos de microondas, equipos de radioterapia, etc.), es necesario analizar y cuantificar la repercusión de esta contaminación e.m. ambiental. Este es un campo interdisciplinario y multidisciplinario, en donde es preponderante el concurso de los ingenieros eléctricos y electrónicos [12,13,31].

Al respecto de la electrocontaminación, ésta puede clasificarse desde el punto de vista del rango de frecuencia e.m. de exposición:

- a) **Electrocontaminación ELF:** Se refiere a la producida por los equipos o artefactos que operan con ELF (en nuestro país específicamente es 60 Hz), como por ejemplo, una línea de alta tensión.
- b) **Electrocontaminación RF/MO:** Es la generada por los equipos y elementos que trabajan con radiofrecuencias o microondas, como por ejemplo, una antena de televisión.

Desde el punto de vista del grupo humano expuesto, la contaminación electromagnética se aplica a dos tipos de grupo:

- i) **Contaminación Poblacional:** Es a la que se expone el público en general y corresponde a una superposición de campos provenientes de toda dirección. En la mayoría de casos, el nivel de esta contaminación está debajo de 1 mW/cm^2 .
- ii) **Contaminación Laboral:** Llamada también ocupacional, y es la que afecta a grupos laborales en fábricas, plantas, etc. Esta contaminación es de mayor nivel y está sujeta a una amplia preocupación para todos los rangos de frecuencias.

Paralelamente a la investigación sobre la biointeracción de los campos e.m. de bajo nivel, las entidades reguladoras en varios países, se han preocupado por extender normativas para fijar los valores límites del nivel de exposición de los humanos (en grupos poblacionales o laborales). Por ejemplo, la tabla 2 muestra las normativas ocupacionales señaladas por la ANSI, que dan la limitación de la máxima densidad de potencia e.m. equivalente de onda plana. El límite ocupacional más bajo (1 mW/cm^2) corresponde al rango desde 30 a 300 MHz que es donde el cuerpo humano puede absorber mayor cantidad de energía e.m. [12,21]. Por otro lado, vale indicar que las normativas bioelectromagnéticas que existen en Europa Este estipulan límites muy inferiores a los de las normativas americanas [6,11,12,13].

Es obvio que el estudio de la electrocontaminación necesita de conocimientos combinados e interrelacionados de teoría de campos electromagnéticos, biología, fisiología y estadísticas. Además, también es lógico que en el Ecuador varias serían las instituciones que por sus objetivos e intereses, deberán estar involucradas no solamente en la investigación sino también en el cumplimiento de la enseñanza universitaria del bioelectromagnetismo: CONACYT, INECEL, IETEL, CEPE, CONADE, etc. A lo que habrá que sumar el apoyo de las industrias y de las universidades y escuelas politécnicas.

Todo este conjunto de conocimientos está en la posición de formar parte del contenido intrínseco de una asignatura moderna de formación superior en ingeniería y ciencias. Las investigaciones sobre la interacción

TABLA 2

Límites de Exposición Ocupacional a Campos RF/MO según la ANSI

RANGO DE FRECUENCIA	E _{rms} (V/m)	H _{rms} (A/m)	Densidad de Potencia (mW/cm ²)
0.1 - 1 MHz	194	0.51	10
1 - 10 MHz	$194/f^{1/2}$	$0.51/f^{1/2}$	$10/f$
10 - 400 MHz	81	0.16	1
0.4 - 2 GHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$f/400$
2 - 300 GHz	137	0.36	5

bioelectromagnética han avanzado suficientemente a una etapa apropiada como para que este nuevo campo de la ciencia sea incluido, parcial o totalmente, en ciertos programas de ingeniería eléctrica, telecomunicaciones (e incluso, biología, medicina y física).

En cuanto a la literatura publicada sobre bioelectromagnetismo, ésta es bastante extensa, pero en la práctica ha estado dirigida a grupos especializados. Existen artículos tutoriales y libros sobre bioelectromagnetismo, pero no están editados para objetivos de enseñanza. Se necesita ordenar, por lo tanto, toda la información existente si se intenta establecer propósitos de docencia universitaria.

3.- CRITERIOS SOBRE UN PROGRAMA ACADÉMICO.

En base a lo descrito anteriormente, puede concluirse que existe una necesidad de plantear un contexto específicamente dirigido al campo académico. Es decir, que se puede establecer criterios con el objetivo de enseñar coherentemente el bioelectromagnetismo en todos sus niveles de conocimiento, desde la teoría básica de la interacción de los campos e.m., hasta el análisis de las aplicaciones así como de la problemática de la contaminación e.m. Los beneficiados de esta actividad académica serían los ingenieros eléctricos y electrónicos, quienes son los llamados a conocer de cerca este material.

Para suministrar los elementos estructurales de una asignatura piloto de Bioelectromagnetismo, tenemos que tomar en cuenta la evolución de este nuevo campo científico, haciendo énfasis en los componentes primordiales de la biointeracción. De esto se desprenden tres áreas de trabajo académico [22,23]:

- 1.- ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DIELECTRICAS Y CONDUCTORAS DE MATERIALES BIOLÓGICOS: Que trata sobre los mecanismos biofísicos que explican el comportamiento básico de los tejidos biológicos de animales y vegetales. Aquí se estudiarán las propiedades dieléctricas y conductoras, iónicas y dispersivas, en todo el rango de frecuencias no ionizantes.
- 2.- ESTUDIO DE LAS VARIABLES ELECTROMAGNÉTICAS DE LA BIOINTERACCIÓN: En esta área de trabajo deberá tratarse las características de absorción electromagnética en los seres humanos y animales, en condiciones de campos cercano y lejano. Este tipo de tratamiento es importante para cuantificar la transducción y dosificación bioelectromagnética con los cuerpos biológicos. Adicionalmente deberá describirse la interacción a nivel celular y subcelular, para relacionarla con la respuesta bioelectromagnética a campos de bajo nivel de densidad de potencia e.m.
- 3.- DESCRIPCIÓN DE LAS APLICACIONES E IMPLICACIONES EN INGENIERÍA Y CIENCIA: Aquí se explicará la utilización en medicina, biología, agricultura y otros campos. Adicionalmente, se tratará el tema de la electrocontaminación, incluyendo las metodologías de medición de niveles de campo e.m., y epidemiologías en ambientes poblacionales y laborales. Se deberá tratar los criterios de normativas y prevenciones de exposición y emisión.

Con los criterios indicados, es posible construir un programa académico dirigido a la enseñanza superior del bioelectromagnetismo. Sobre esto ha habido poca experiencia a nivel mundial [22,23], de las que se puede extraer un programa piloto como el indicado en la Tabla 3, el cual estaría entendido para 36 horas de sesiones, teniendo como pre-requisito conocimientos de Teoría Electromagnética e Biología Básica. El objetivo del programa consistirá en proporcionar conocimientos relevantes sobre los mecanismos de interacción entre los campos electromagnéticos no ionizantes y los sistemas biológicos, vinculando esta interacción con las diversas afectaciones y sus respectivas utilidades, implicaciones y normatización.

Esta propuesta es flexible dependiendo de las necesidades de la universidad en particular y de su esquema académico. Vale indicar que este programa puede ser expedido en forma de curso regular, seminario especial u otra modalidad propia de cada universidad.

4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se han expuesto los principales criterios sobre la importancia del bioelectromagnetismo como parte de la formación del ingeniero eléctrico y electrónico. Esta posición nos ha llevado a plantear un programa académico (tentativo, por cierto) que podrá servir como pauta para introducir esta nueva rama en carreras de estas ingenierías. La parte fundamental del planteamiento parte de la reflexión de la existencia y uso de la electricidad y electrónica en el mundo de hoy. De tal manera que un profesional que trabaja con electricidad de 60 Hz, o con radiaciones de megahercios o gigahercios, debe estar completamente informado de la implicación biológica que traen los campos e.m. con los que trabaja. Igualmente debe conocer los riesgos involucrados y las respectivas formas de prevención y normación. Así, la presencia del profesional técnico en su entorno social será intrínsecamente útil. Vale concluir, entonces, que el bioelectromagnetismo está llamado a convertirse en una parte insoslayable de la formación superior en ingeniería eléctrica y electrónica, en el Ecuador y en el mundo.

A todo esto, las recomendaciones que sobresalen para llevar adelante la introducción de esta temática, serían las siguientes:

- a.- Promover el interés de las dos principales instituciones ecuatorianas, encargadas del control y supervisión del espectro electromagnético (IETEL) y de la electrificación (INECEL).
- b.- Atraer el interés institucional o individual por la investigación (básica y aplicada) en el campo del bioelectromagnetismo. La investigación podrá ser ejecutada a través de universidades y escuelas politécnicas vinculadas con el estudio de electricidad, electrónica, biología y medicina. La coordinación del CONACYT será conveniente y de gran utilidad.
- c.- Iniciar un cursillo piloto o seminario especial sobre el tema, con el auspicio académico de universidades y escuelas politécnicas relacionadas con el contenido del bioelectromagnetismo. Los criterios expuestos en este trabajo pueden servir mucho para dicha tarea.

TABLA 3

Programa Propuesto de Bioelectromagnetismo para Ingeniería

<p>1.- PROPIEDADES DE MATERIALES BIODIELECTRICOS</p> <p>Conductividad Iónica de Tejidos. Resonancia de Materiales Dipolares. Mecanismos biofísicos de Relajación. Dependencia con la Temperatura. Influencia del Contenido de Agua.</p>
<p>2.- ESTUDIO DE VARIABLES BIELECTRICAS</p> <p>2.1.- ABSORCION DE ENERGIA E.M. Tasa de Absorción Específica. Absorción en Cuerpos Esferoidales. Técnicas Numéricas en Modelos Biológicos. Cálculo de Corrientes Inducidas a 60 Hz. Técnicas de Medición Experimental en Fantoms. Absorción e.m. a Altas Frecuencias</p> <p>2.2.- INTERACCION A NIVEL CELULAR Biofísica de Células Biológicas Rectificación Eléctrica de Membrana Cálculo de Voltaje Transmembránico Modelación de Células y Efectos Transmembránicos. Efectos de Campos e.m. Débiles Efectos de Campos de Alta Intensidad Efectos de Campos Magnéticos</p>
<p>3.- APLICACIONES Y NORMATIVAS</p> <p>3.1.- UTILIZACION DE LA ENERGIA E.M. Técnicas de Diatermia e Hipertermia Terapia con Campos Débiles Técnicas de Resonancia Magnética Aplicaciones en Industria, Agricultura y Biología</p> <p>3.2.- ESTUDIO DE LA CONTAMINACION ELECTROMAGNETICA Criterios de Emisión y Exposición Medición en Ambientes Metodología de Estudios Epidemiológicos Normativas de Niveles y Dosis Análisis de Casos.</p>

- 1.- Paralelamente, será conveniente preparar material escrito ordenado, que sirva como texto guía en muchas de las actividades académicas derivadas de lo anterior.
- e.- Finalmente, se entiende que el desarrollo adecuado de un cuadro académico del bioelectromagnetismo, traerá como real consecuencia una combinación de intereses de varios grupos de profesionales. En este sentido, deberá haber acercamiento entre ingenieros eléctricos y electrónicos, y profesionales de ciencias médicas, biológicas y agrícolas.

5.- REFERENCIAS

1. PETHIG, R. (1979), Dielectric and Electronic Properties of Biological Materials (Nueva York, J. Wiley & Sons).

2. MICHAELSON, S. (1980), "Microwave Biological Effects: An Overview", Proc. IEEE, 68: 40-49.

3. BARNES, F.S. & C.J. HU (1977), "Model for Some Nonthermal Effects of Radio and Microwave Fields on Biological Membranes", IEEE Trans., MTT-25: 742-745.

4. ADEY, W.R. (1981), "Tissue Interactions with Nonionizing Electromagnetic Fields", Phys. Review, 61: 435-513.

5. GOODMAN, R., C.A. BASSET & A. HENDERSON (1983), "Pulsing Electromagnetic Fields Induce Cellular Transcription", Science, 22: 1283-1285.

6. LERNER, E. (1980), "RF Radiation: Biological Effects", IEEE Spectrum, Dic.: 51-59.

7. MORGAN, M.G., K. FLORIG, I. NAIR & D. LINCOLN (1985), "Power-Line Fields and Human Health", IEEE Spectrum, Feb.: 62-68.

8. RODAN, G.A., L.A. BOURRET & L.A. NORTON (1978), "DNA Synthesis in Cartilage Cells is Stimulated by Oscillating Electric Fields", Science, 199: 690-692.

9. BLACKMAN, C.F., S.G. BENANE, D.E. HOUSE & W.T. JOINES (1985), "Effects of ELF (1-120 Hz) and Modulated (50 Hz) RF Fields on the Efflux of Calcium Ions From Brain Tissue In Vitro", Bioelectromagnetics, 6: 1-11.

10. LUBEN, R., C. CAIN, M.C. CHEN, D.M. ROSEN & W.R. ADEY (1982), "Effects of Electromagnetic Stimuli on Bone and Bone Cells In Vitro: Inhibition Responses to Parathyroid Hormone by Low-Frequency Fields", Proc. Nat. Acad. Sci., 79: 4180-4184.

11. CZERSKI, P. (1985), "Radiofrequency Radiation Exposure Limits in Eastern Europe", I. Microwave Power, 233-239.
12. FOSTER, K. & A.W. GUY (1986), "El Problema de las Microondas", Investigación y Ciencias (Sci. Amer.), 122: 6-14.
13. STUCHLY, M. & S. STUCHLY (1983), "Industrial, Scientific, Medical and Domestic Applications of Microwaves", IEE Review, 130 (Pt.A): 467-503.
14. HAHN, G.M. (1984), "Hyperthermia for the Engineer: A Short Biological Primer", IEEE Trans., BME-31: 3-8.
15. STERZER, F., R. PAGLIONE, J. MENDECKI, E. FRIEDENTHAL & C. BOTSTEIN (1980), "RF-Therapy for Malignancy", IEEE Spectrum, Dic.: 32-37.
16. TOMENIUS, L. (1986), "50-Hz Electromagnetic Environment & the Incidence of Childhood Tumors in Stockholm County", Bioelectromagnetics, 7: 191-207.
17. DELGADO, J.M., J. LEAL, J.L. MONTEAGUDO & M.G. GRACIA (1982), "Embryological Changes Induced by Weak, Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields", Journ. Anat., 134: 533-551.
18. BECERRA, C.A. (1987), Control de Insectos en Silos Mediante el Uso de Energía Electromagnética de Alta Frecuencia, Informe Final CICYT, CONUEP/ESPOL, 310.02, ESPOL, Guayaquil, Ecuador.
19. NOSOL, B. & G. GUZINSKI (1986), "Influence of External Low-Frequency Electromagnetic Fields upon a Biological Membrane in the Process of Transporting Ions", EMC-86 Symp. Rec., Polonia, 110-115.
20. BECERRA, C.A. (1988), "Modelo Esférico Simplificado de una Célula Biológica Irradiada por Campos Electromagnéticos", Revista Mundo Electrónico (España), Nov., 189: 149-153.
21. SCHWAN, H.P. (1986), "Research on Biological Effects of Non-ionizing Radiations: Contributions on Biological Properties Field Interactions and Dosimetry", Bioelectromagnetics, 7: 113-128.
22. BECERRA, C.A. (1988), Interacción de la Radiación Electromagnética No Ionizante con Estructuras Biológicas, Notas de Seminario, ETSI-Telecomunicación, Madrid, España, Abril de 1988.
23. BECERRA, C.A. (1989), "El Bioelectromagnetismo y su Incorporación a Programas de Ciencias e Ingeniería", Rev. Real Sociedad Española de Física, Madrid, en prensa.
24. WILLIAMS, W.M., S. LU, M. DEL CERRO, W. HOSS & S. MICHAELSON (1984), "Effects of 2450 MHz Microwave Energy on the Blood-Brain Barrier: An Overview and Critique of Past and Present Research", IEEE Trans. on MTT, 8: 808-817.
25. LIN, J.C. (1980), "The Microwave Auditory Phenomenon", Proc. IEEE, 68: 67-73.
26. BASSETT, C.A., S. MITCHEL & S. GASTON (1981), "Treatment of Ununited Tibial Diaphyseal Fractures with Pulsed Electromagnetic Fields", J. Bone Joint Surg. [Br.], 63A: 511-523.
27. SIKOV, M.R., L. MONTGOMERY, L.G. SMITH & R.D. PHILLIPS (1984), "Studies on Prenatal and Postnatal Development in Rats Exposed to 60-Hz Electric Fields", Bioelectromagnetics, 5: 101-112.
28. MILHAM, JR. S. (1985), "Mortality in Workers Exposed to Electromagnetic Fields", Environmental Health Persp., 62: 297-300.
29. WILSON, B.W. (1988), "Chronic Exposure to ELF Fields May Induce Depression", Bioelectromagnetics, 7: 239-242.
30. ROZZELL, T. & J.C. LIN (1987), "Biomedical Applications of Electromagnetic Energy", IEEE Eng. in Med. & Biology Magazine, Marzo, 52-56.
31. SILVERMAN C. (1980), "Epidemiologic Studies of Microwave Effects", Proc. IEEE, 68(1): 78-84.

CARLOS BECERRA ESCUDERO es profesor de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la ESPOL (Guayaquil, Ecuador), desde 1975. En docencia e investigación, se ha dedicado principalmente al campo del electromagnetismo y los materiales de ingeniería eléctrica y electrónica. En el periodo 1987-88, fue Profesor Visitante en la E.T.S.I. de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid (España), donde trabajó en bioelectromagnetismo e hipertermia de microondas. Recientemente, ha contribuido con varios artículos y ponencias en el extranjero sobre las aplicaciones y repercusiones de la interacción de sistemas biológicos con campos electromagnéticos.

