

# *Alteraciones fisiológicas por exposición crónica a intensos campos electromagnéticos no ionizantes*

Alberto Méndez, Francisco Román, Antonio Ramírez

Se realizó un estudio en personas expuestas y no expuestas, muestras homogéneas en edad, sexo y tiempo de trabajo, cuya única diferencia radicó en la exposición crónica a CEM-BF (campos electromagnéticos de baja frecuencia) encontrados en las subestaciones de energía eléctrica de Bogotá con valores nominales de transformación entre 11.4 kV-230 kV.

La densidad de los campos magnéticos (B), medidos en forma puntual en los sitios de trabajo de los individuos tomados como expuestos variaron entre 20 mG (miligauss) y más de 11.000 mG, con un tiempo de exposición entre 2 y 20 años. La densidad de los campos magnéticos medidos de igual forma en el grupo control variaron entre 0-1mG. Síntomas tales como fosfenos, irritabilidad, sensación de oleadas de calor y garganta seca, fueron

significativamente más informados por los expuestos a los CEM-BF ( $p < 0.05$ ). Se encontró en los individuos expuestos una disminución estadísticamente significativa en la frecuencia cardíaca. ( $p < 0.0001$ ), y hallazgos sugestivos de bloqueo de rama derecha del haz de His en personas expuestas por más de 5 años. De igual forma se encontró elevación de la viscosidad dinámica sanguínea ( $p < 0.01$ ), y disminución relativa del recuento leucocitario en los expuestos con respecto al grupo control. Sugerimos pues que la exposición a CEM-BF elevados en intensidad y en forma crónica, afectan de forma selectiva la función de marcapaso del nódulo sinoauricular y del sistema cardionector del corazón, así como características físicas y de celularidad en sangre conllevando a una gran variedad de síntomas que de hecho tienen que ver con el tiempo y la intensidad de la exposición.

## Introducción

Los campos electromagnéticos (CEM) conforman uno de los cuatro tipos de interacciones de fuerzas que existen en la naturaleza. Ellos y las fuerzas gravitacionales disminuyen con mucho menor rapidez al aumentar la distancia, que las fuerzas nucleares (1). Por este motivo son perceptibles en la escala de las experiencias cotidianas. El hombre y los animales, al igual que cualquier ser vivo, está sumergido en un vasto espectro de radiaciones electromagnéticas y es sensible a ellas, en especial al campo magnético (2-5).

Pero fuera del espectro natural, en los últimos 50 años la tecnología ha traído lo que se ha denominado "contaminación electromagnética", con sistemas de comunicación y redes de alta tensión que distribuyen y alimentan la gran demanda de electrodomésticos (6).

Dr. Alberto Méndez G, MD: Unidad de Fisiología, Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia; Francisco Román C, Msc: Profesor Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional de Colombia; Dr. Antonio Ramírez S, MD, Msc: Profesor Emérito, Departamento de Ciencias Fisiológicas, Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá.

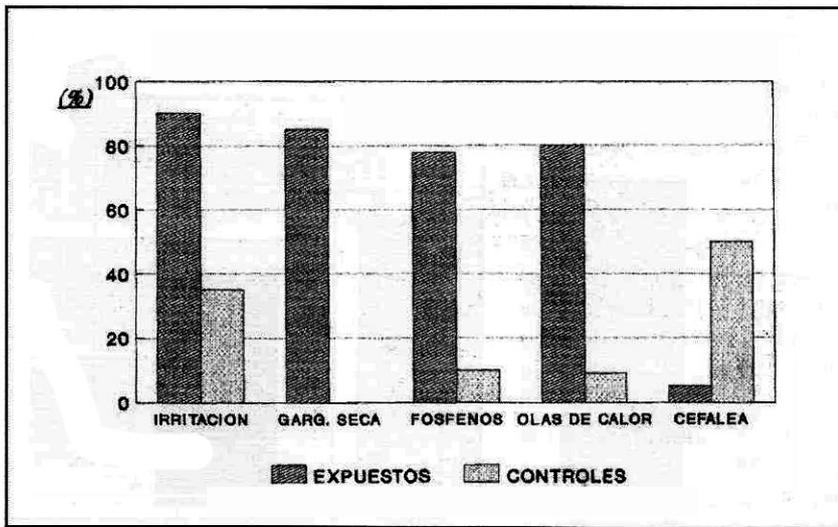


Figura 1. Síntomas por exposición a campos electromagnéticos.

Variable	x±DS casos	x±DS control	p (Test F)
Edad (años)	35±6	35±13	0.4134 <sup>1</sup>
Tiempo de trabajo (años)	9±6	11±10	0.9599 <sup>1</sup>
Peso (kg)	69±7	70±9	0.7100
Tiempo en Bogotá (años)	24±11	25±15	0.8029

<sup>1</sup> Valores obtenidos por la prueba de Kruskal-Wallis.

Tabla 1. Análisis comparativo de homogeneidad de grupos ( $\alpha = 0.05$ ).

Variable	x±DS casos	x±DS control	p (Test F)
<b>A. Examen físico</b>			
Frecuencia Card. (Ausc. lat/min)	61±12	69±16	0.0798
<b>B. Electrocardiografía</b>			
Frecuencia Card. (Electro. QRS/min)	51±9	65±8	0.0007
Intervalo PR (seg)	0.18±0.02	0.15±0.01	0.0006 <sup>1</sup>
Duración P (seg)	0.11±0.02	0.09±0.01	0.0317
<b>C. Hematimetría y viscosidad</b>			
Leucocitos (núm. microlit)	6.000±1.400	7.700±1.600	0.0847
Viscosidad dinámica (centipoisels)	4.02±0.4	3.5±0.4	0.0017

<sup>1</sup> Valores obtenidos por la prueba de Kruskal-Wallis.

Tabla 2. Análisis comparativo de la influencia de los campos electromagnéticos en variables paraclínicas. ( $\alpha = 0.05$ ).

Este boom de elementos generadores, transmisores y consumidores de corriente eléctrica, ha aumentado la densidad del flujo magnético (B) y del campo eléctrico (E) en el ambiente. Es por ello que desde hace más de tres décadas se viene investigando con gran ahínco en lo concerniente a la influencia de los CEM-BF (CEM de baja frecuencia. y en especial aquéllos por debajo de 1016 Hz) en el tejido vivo.

Una gran variedad de trabajos han descrito los diversos efectos de los CEM. entre los que podemos mencionar: alteraciones del crecimiento celular (7), de electrolitos (por salida de Ca<sup>++</sup> de la célula) (8), disturbios neurodinámicos, hematólogicos, hemodinámicos (7, 9), aberraciones cromosómicas (10) y promoción de neoplasias (11-13), etc. En virtud de lo anterior, y ya que hasta la fecha en Colombia no se ha dirigido un programa de investigación al respecto, nos propusimos estudiar las posibles alteraciones fisiológicas presentadas en el grupo de trabajadores, operarios de las subestaciones de la Empresa de Energía Eléctrica (EEE), los cuales sin lugar a duda representan en nuestra población el grupo con mayor riesgo de exposición a altas dosis de campos eléctrico y magnético de baja frecuencia.

Si bien la literatura al respecto es amplia al presentar diversas alteraciones, que varían según el tipo de estímulo utilizado, ya sean éstos CEM pulsados, estáticos, de alta frecuencia, de baja intensidad, intermitentes, continuos, etc., en nuestro estudio describimos algunos cambios significativos, por exposición

crónica a intensos CEM-BF, correspondientes a frecuencias de generación y transmisión.

**Material y métodos**

Como personal expuesto a CEM-BF se seleccionó un grupo de 30 trabajadores de la EEE, específicamente tableristas y operarios con más de dos años de labor y cuya jornada de trabajo se realizase dentro de las subestaciones. Como controles no expuestos se seleccionó a 30 trabajadores de diversas empresas en la ciudad de Bogotá, que laboraban en oficios varios (oficina y/o mantenimiento diferente al eléctrico).

Tras un tramizaje inicial por medio de un formulario diseñado para tal fin, y con la ayuda de personal médico que no conocía de antemano el tipo de muestra examinada ni los objetivos del estudio, se descartaron nueve individuos por tener antecedentes de enfermedades antes de su ingreso a la empresa. De igual forma 15 controles fueron descartados, uno por tener antecedentes de enfermedad antes del ingreso a su vida laboral, y otros por vivir en zonas bajo configuraciones de transmisión residencial compuestas, donde se registraron significativos pero no elevados (<10 mG) campos magnéticos.

Este personal fue sometido a:

1. Pruebas completas de hematimetría, electrolitos séricos (entre los cuales se destaca el calcio total y el iónico, ya que diversos estudios informan de eflujo (8, 14) o salida de calcio intracelular por efecto de la exposición a los CEM de baja frecuencia), parcial de orina, y pruebas de viscosidad sanguínea por medio de un viscosímetro dinámico, ca-

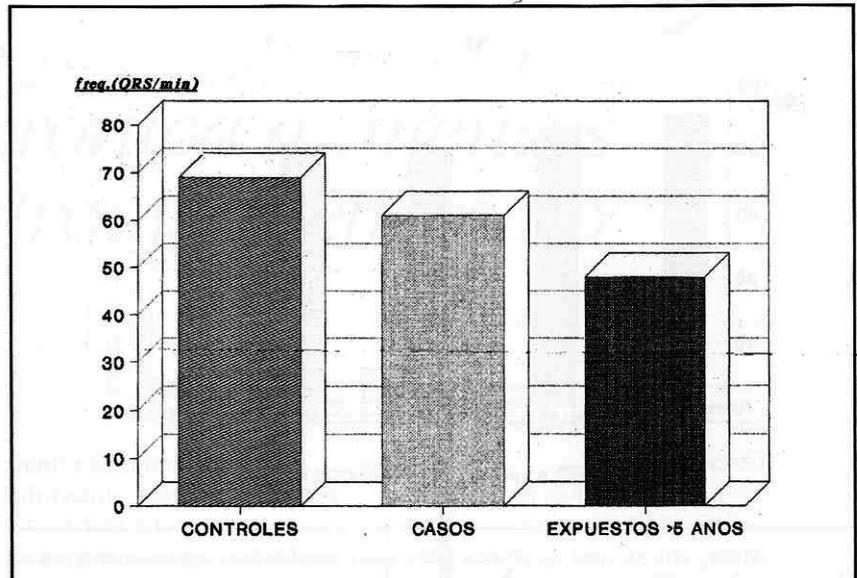


Figura 2. Frecuencia cardiaca para casos, controles y expuestos por más de cinco años.

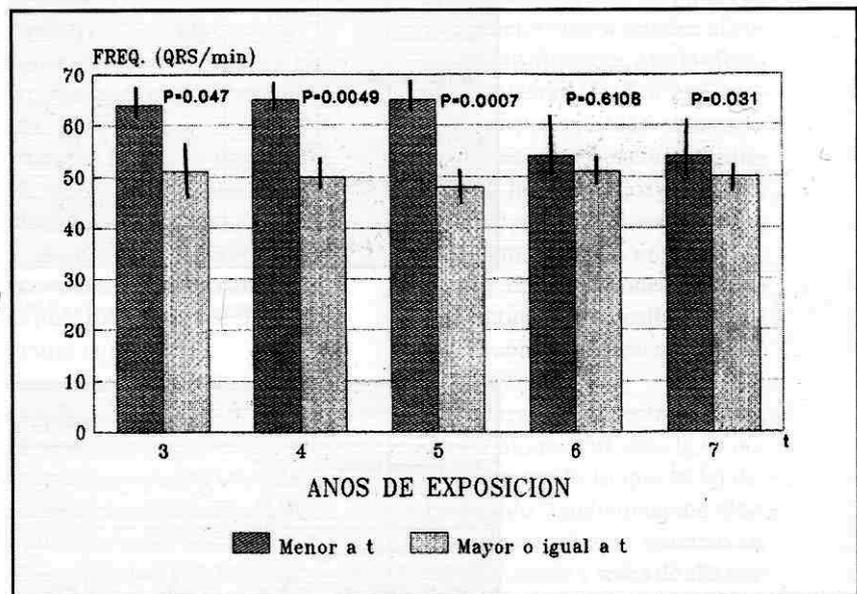


Figura 3. Relación de la frecuencia cardiaca con el tiempo de exposición a CEM.

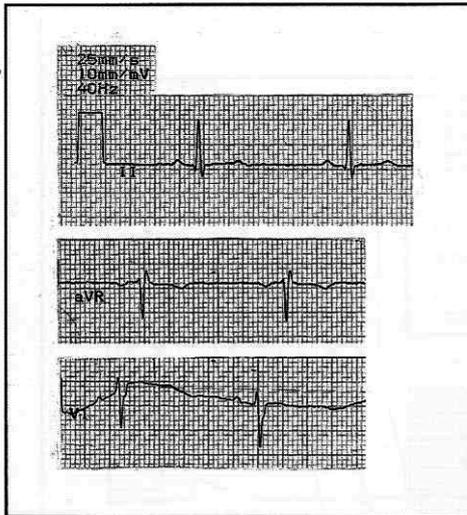


Figura 4. Paciente 27 años, cinco años de exposición a CEM-BF.

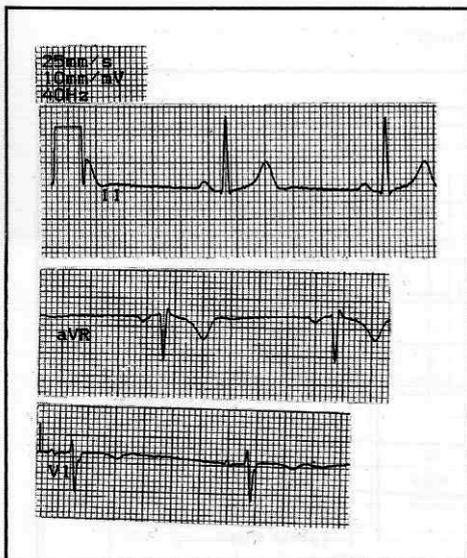


Figura 5. Paciente 29 años, 11 años de exposición a CEM-BF.

librado y estandarizado por medio de la ecuación de Hagen-Poiseuille (15) en los laboratorios de fisiología, asegurándonos buena fidelidad (>95%) en nuestras medidas.

2. Después de un electrocardiograma convencional, se les practicó un examen físico general, además de un interrogatorio específico al tema en cuestión por medio de un formulario diseñado para tal fin.

3. De igual forma se realizó un mapeo de la densidad del campo magnético (B), en forma puntual en las diferentes subestaciones (cinco en total) objeto de estudio, así como en los sitios de trabajo y residencia de las personas tomadas como control. El registro se realizó con un magnetómetro digital Enlf-Field monitor Elf-500, el cual fue calibrado según Ley de Ampere (1) en los laboratorios de ingeniería eléctrica, asegurándonos buena fidelidad (>95%) en nuestras mediciones.

Los datos así obtenidos, fueron procesados por el paquete estadístico EPIINFO versión 5.01a, utilizando el menú *eped*, *enter*, *check* y *analysis*, para el análisis de frecuencias, tablas, estadística F y análisis de varianzas. Se asumió un nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ).

### Resultados

Se analizaron las diferencias de distribución de cada una de las variables a estudio aplicando la "estadística F". En el caso en que las varianzas no fueran homogéneas por la prueba de Bartlett's, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis para distribuciones no paramétricas. El análisis de varianzas no mostró diferencias significativas en cuanto a la

distribución por edad, peso tiempo de trabajo y tiempo de vida en Bogotá respectivamente entre ambos grupos (Tabla 1). En cuanto al análisis de las variables de sintomatología, se valoraron teniendo en cuenta el número de veces promedio que la presentó en el mes anterior. Los resultados arrojaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en cuanto a la presencia de irritación sin causa aparente, visión de fosfenos, sensación de oleadas de calor y garganta seca, presentándose estos síntomas en cerca de 80% de los casos, y siendo casi nula entre los controles (Figura 1).

Curiosamente resultó que los controles presentaban en forma significativa más "cefalea" que los expuestos.

En cuanto al examen físico se refiere, se encontró una disminución en la frecuencia cardíaca en los casos con respecto a los controles por auscultación. Este hallazgo fue corroborado por electrocardiografía de forma significativa ( $p < 0,001$ ) (Tabla 2) (Figura 2).

Un análisis más detallado de su distribución con relación al tiempo de trabajo en el grupo expuesto (Figura 3) mostró una mayor diferencia significativa para la distribución de los subgrupos de menos de cinco años y cinco o más de exposición, presentándose en aquellos trabajadores con tiempo de exposición de cinco o más años, bradicardia sinusal ( $Fe < 60$  QRS por min).

Por lo anterior se estudiaron sus respectivos formularios, no encontrando antecedentes de ser deportistas como tampoco de consumo de drogas parasimpaticomiméticas, u otra causa

depresora de la función cardiovascular.

En cuanto al intervalo PR, hubo diferencias significativas entre los dos grupos (Tabla 2) mostrando un retardo en el grupo expuesto, a expensas de la duración de la onda P, la cual mostró diferencias significativas con algo más de 95% de confianza. Además se encontraron en 50% de los electrocardiogramas del grupo expuesto por más de cinco años, signos sugestivos de bloqueo de rama derecha (Figuras 4 a 6). Los demás parámetros electrocardiográficos no mostraron diferencias significativas.

Es importante resaltar, aunque no fue significativo, que cuatro casos presentaban dolor testicular asociado a disminución del tamaño unilateral, lo cual no se presentó en ningún control.

Las pruebas en sangre (Tabla 2) arrojaron diferencias significativas ( $p=0.0017$ ) con una elevación en la viscosidad sanguínea del grupo expuesto. El recuento leucocitario se encontró relativamente disminuido con respecto al grupo control. Los demás parámetros no mostraron diferencias significativas.

En cuanto a los registros puntuales de la densidad del campo magnético (B) en las subcentrales se encontró niveles entre 20 mG y más de 11.000 mG de acuerdo a los estándares de la International Radiation Protection Association (IRPA) de 1990, sobrepasaban a los 0.5 mT (militeslas), equivalentes a 5.000 mG como límite máximo permitido para una exposición de tipo ocupacional durante un día de trabajo (16).

En las Figuras 7 a 9 se representa el registro del campo magnético-

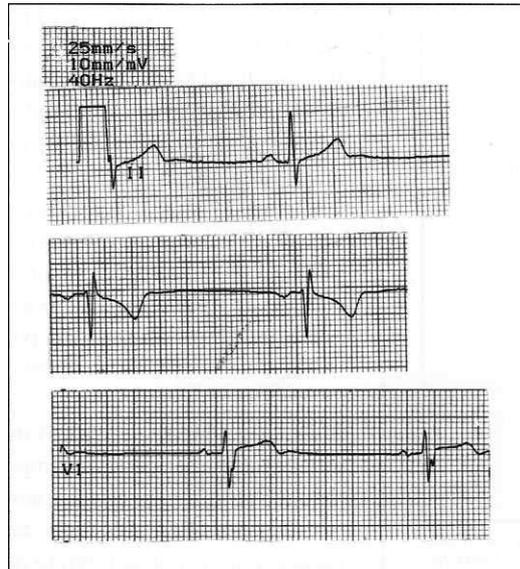


Figura 6. Paciente 27 años, 10 años de exposición a CEM-BF.

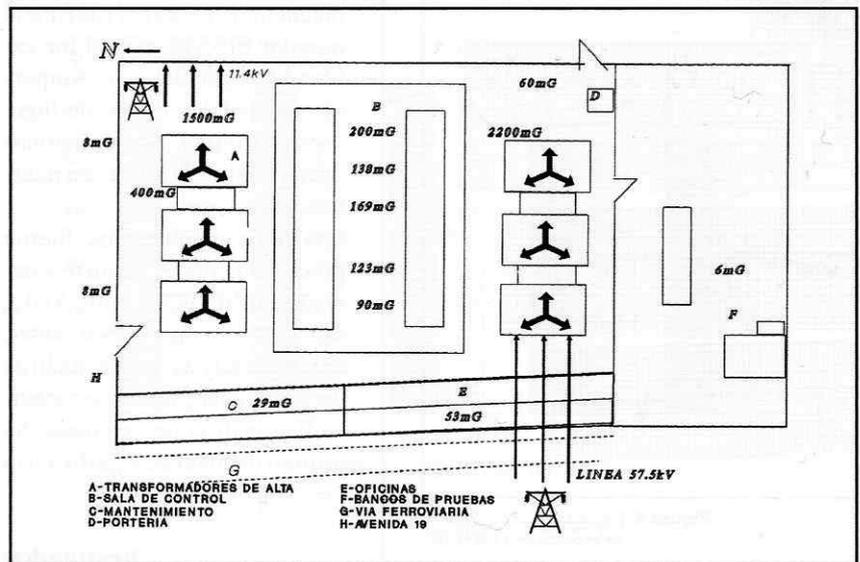


Figura 7. Distribución campo magnético subcentral Sans Façon.

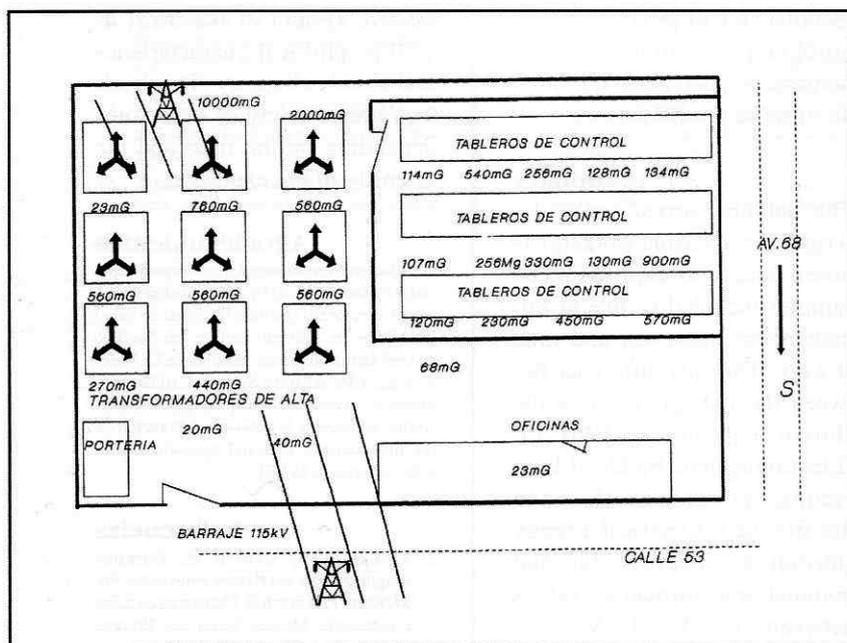


Figura 8. Distribución campo magnético subcentral Salitre.

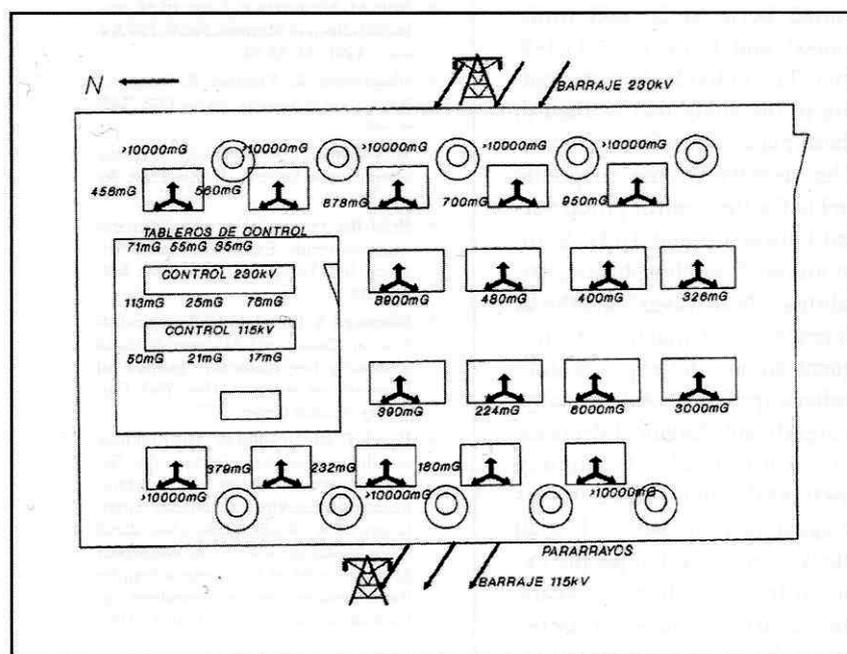


Figura 9. Distribución campo magnético subcentral Circo.

tico en tres de las cinco subestaciones relacionadas con nuestro estudio, y se definen las zonas con mayor riesgo de exposición a altas dosis. La densidad del campo magnético (B) en los sitios de trabajo y domicilio del grupo control osciló entre 0 y 1 mg.

### Discusión

De hecho los operarios de las subcentrales de la EEE en Bogotá están sometidos a CEM no ionizantes de orden muy superior a los encontrados en el ambiente público. Incluso expuestos a CEM que sobrepasan los límites prefijados por la IRPA (International Radiation Protection Association) de 1990. Más aún, la misma organización aclara que los valores límite estarán sujetos a modificaciones a medida que nuevas investigaciones así lo exijan (16).

La diferencia en la exposición asociada a los hallazgos electrocardiográficos encontrados en el grupo expuesto, como son bradicardia sinusal para aquellos trabajadores con tiempo de trabajo superior o igual a 5 años, prolongación del PR, y hallazgos compatibles con bloqueo de rama derecha, sugieren la posibilidad de que la exposición a CEM-BF de intensidad apreciable, y por tiempo prolongado, afectó de manera selectiva la función de marcapasos del nódulo sinoauricular y del sistema cardionector. Por otro lado, la elevación de la viscosidad sanguínea en los expuestos, sin variación de los demás parámetros en la hematimetría como el hematocrito, podría obedecer como está informado en diversos estudios, a un incremento de las proteínas

séricas más bien que por los elementos formes (7, 8). De igual forma la disminución relativa en el recuento leucocitario está de acuerdo con algunos estudios en donde incluso se documenta leucopenia por exposición a intensos CEM de baja frecuencia (7, 14).

Por último la presencia significativa de fosfenos, irritabilidad, oleadas de calor y sensación de garganta seca, corresponde efectivamente sólo a algunos de los síntomas, que según la literatura (3, 7, 14) presentan las personas expuestas a los CEM elevados en intensidad.

Estudios subsecuentes al nuestro podrían incluir en el grupo expuesto la función cardiovascular y específicamente el gasto cardíaco por ecografía dopler, donde muy seguramente se evaluará crecimiento de cavidades y/o alteraciones hemodinámicas.

Por todo lo anterior se hace necesario abrir este campo de investigación en relación con la interacción de los campos electromagnéticos con el tejido vivo, e iniciar también en Colombia, como en los demás países industrializados, medidas de control de nuestro espacio electromagnético, tanto a nivel ocupacional como en el ambiente público. Y es en este último donde vale la pena resaltar los estudios sobre la exposición a los CEM-BF y su asociación con pérdida fetal (13, 17) así como promotores de leucemia (7, 11), enfermedad cuya sobrevida real en nuestra población infantil aún no supera el 25% a cinco años, y que cuenta con más de 150 casos nuevos por año en la ciudad de Bogotá. Por lo anterior es más que justo

recordar que el progreso y tecnología para comodidad del hombre, no puede ir en perjuicio de su salud y subsistencia.

### Summary

The authors carried out a descriptive study using workers exposed and non-exposed. The samples included people of homogeneous ages, sex and time at work. The only difference between the two groups was the chronic exposure to EMF-LF (Electromagnetic Fields of Low Frequency) which was found in the Bogotá's Electrical Energy substations. These fields had nominal transformation values between 11.4 kV-230 kV.

The density of the Magnetic Fields (B), which were spot measured in each of the work places, varied between 20 mG (milligauss) and more than 11.000 mG. The individuals participating in the study had worked in these places from 2 to 20 years. The density of the magnetic fields for the control group varied between 0 and 1mG. Symptoms such as phosphenes, irritability, "heat waves" and throat soreness were much more frequent among the exposed individuals ( $p < 0.05$ ). Additionally, a significant statistical decrease in sino-atrial frequency ( $p < 0.0001$ ) and characteristics suggesting right bundle branch block, were found in people exposed for more than five years. Increased dynamic blood viscosity ( $p < 0.01$ ) and a relative decrease in the white blood cell count were also found in the exposed group. We think that exposure to chronic high intensity EMF-LF selectively affects the functioning of the pacemaker at the sino-atrial node and the con-

ductive system of the heart as well as physical characteristics and blood cellularity. This leads to a great variety of symptoms depending on the time and the intensity of the exposure.

### Agradecimientos

Queremos reconocer de manera muy especial la colaboración del Dr. Fernando Palomino, actual director del Instituto Nacional de Salud (INAS); al Dr. Eduardo Beltrán, del Servicio de Oncohematología del Hospital de La Misericordia; a los doctores Silverio Castaño B. y Mauricio Alvarez, del Hospital de La Misericordia, así como a la valiosa colaboración de los ingenieros y personal operario de las subestaciones de la EEE.

### Referencias

1. **McKelvey J, Grotch H.** Campos magnéticos de corrientes constantes. En: McKelvey J, Grotch H. Física para ciencias e ingeniería. México: Harla eds. Primera edición, Tomo II, 1981: 767-817.
2. **Gould J.** Magnetic Field sensitivity in animals. *Ann Rev Physiol* 1984; **46**: 585-598.
3. **Villa M, Mustarelli P, Caprotti M.** Biological effects of Magnetic Fields. *Life Sciences* 1991; **49**: 85-92.
4. **Blakemore R, Frankel R.** Magnetic Navigation in Bacteria. *Sci Am* 1981; **245**: 42-49.
5. **Kirschvink J.** South-seeking Magnetic Navigation in bacteria. *Sci Am* 1980; **86**: 345-347.
6. **Brief RS.** Potential Hazards of Electromagnetic Fields. Exxon Biomedical Sciences, Inc. Technical Report. 1989; MR. 12dq.89.
7. **Sheppard A, Eisenbud H.** Biological effects of Electric and Magnetic fields of Extremely low frequency. Institute of Environmental Medicine. New York University Medical Center. 1977.
8. **Bonek E, Duftschmid E.** "Die Kontrolle allfalliger Beeinträchtigungen der Gesundheit von Menschen durch nichtionisierende elektromagnetische Strahlungen BZW. Wechselfelder sowie durch statische oder aperiodisch Elektrische oder Magnetische felder. Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Gesundheit und Umweltschutz. ZL. 111-430.001/31/82. 1988.
9. **Tian Y, Astumian D.** Electroconformational Coupling How membrane - Bound ATPase transduces Energy from dynamic Electric Fields. *Ann Rev Physiol* 1988, **50**: 273-290.
10. **García Sagreso JM, Monteagudo J.** Effect of low-level pulsed electromagnetic fields of human chromosomes in vitro: analysis of chromosomal aberrations. *Hereditas* 1991; **115**: 9-11.

## Exposición electromagnética

11. **Wertheimer N, Leeper E.** Electrical Wiring Configurations and Childhood Cancer. *Am J Epidemiol* 1979; **109**: 275-284.
12. **Barinaga M.** Giving Personal Magnetism, a whole new meaning. *Science* 1992; **256**: 967.
13. **Wertheimer N, Leeper E.** Possible effects of electric blankets and heated waterbeds on fetal development. *Bioelectromagnetics* 1986; **7**: 13-22.
14. **Silny J.** Einwirkungen der niederfrequenten Magnetischen Felder auf den Organismus. Forschungsbericht 1/1980. Helmholtz- Institut für Biomed. Technik, RWTH Aachen. 1980.
15. **Guyton A.C.** Física de la sangre, la circulación y la presión hemodinámica. En: Guyton A.C. Tratado de Filosofía médica. México: Interamericana McGraw Hill. WB Saunders, 1989: 206-216.
16. IEEE Spectrum, Electromagnetic fields: The jury's still out. 1990; August 22-35.
17. **Wertheimer N, Leeper E.** Fetal loss associated with low seasonal sources of electromagnetic field exposure. *Am J Epidemiol* 1989; **129**: 220-224.