

*Higiene y Sanidad Ambiental*, 21 (1): 1969-1977 (2021)

## Campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja y enfermedades cardiovasculares

### *EXTREMELY LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS AND CARDIOVASCULAR DISEASES*

Moura REVUELTAS AGÜERO<sup>1</sup>, María del Carmen HINOJOSA ÁLVAREZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Epidemiología. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. La Habana, Cuba.

<sup>2</sup> Departamento de Ciencia e Innovación. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. La Habana, Cuba.

*Correspondencia:* Dra. Moura Revueltas Agüero. Departamento de Epidemiología, Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Infanta No. 1158 entre Llinás y Clavel, CP: 10300, La Habana, Cuba. Correo-e: moura@infomed.sld.cu

---

#### RESUMEN

*Introducción:* En la década de 1960 se inició el pensamiento científico, sobre la posible relación entre síntomas cardiovasculares y la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja. Su efecto nocivo, continúa siendo polémico. *Objetivo:* Revisar algunos estudios, sobre la influencia de la exposición a los campos electromagnéticos sobre las afecciones cardiovasculares. *Métodos:* Se realizó una revisión de la literatura, sobre el efecto de estos campos, en las enfermedades cardiovasculares, en el periodo 1988 hasta 2019, en las bases de datos Scielo, Ebsco, LiLACS, así como, otras fuentes y recursos de información disponibles en Internet. Se utilizó el vocabulario controlado Descriptores en Ciencias de la Salud. *Resultados:* Se revisaron 21 trabajos, entre estos, ocho estudios epidemiológicos, seis revisiones bibliográficas, un capítulo de libro y un estudio de laboratorio. Se mencionaron la variabilidad del ritmo cardíaco, inestabilidad de la tensión arterial, la ocurrencia de infarto agudo de miocardio y la muerte por causas cardiovasculares, relacionadas con la exposición a estos campos. *Conclusiones:* nueve de los estudios, coincidieron en mostrar, la relación de la exposición a campos electromagnéticos y la Aparición de afecciones cardiovasculares. Esta exposición, confiere vulnerabilidad, para las arritmias y otras enfermedades cardíacas.

**Palabras clave:** Campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja, enfermedades cardiovasculares, variabilidad del ritmo cardíaco.

#### ABSTRACT

*Background:* In the 1960s, scientific thinking began about the possible relationship between cardiovascular symptoms and exposure to extremely low frequency electromagnetic fields. Its harmful effect continues to be controversial. *Objective:* To review some studies on the influence of exposure to electromagnetic fields on cardiovascular conditions. *Methods:* A review of the literature on the effect of these fields in cardiovascular diseases was carried out in the period 1988 to 2019, in the Scielo, Ebsco, LiLACS data bases, as well as other available sources and information resources in Internet. The controlled vocabulary Descriptors in Health Sciences was used. *Results:* 21 papers were reviewed, among these, eight epidemiological studies, six bibliographic reviews, a book chapter and a laboratory study. The variability of heart rate, instability of blood pressure, the occurrence of acute myocardial infarction and death from cardiovascular causes, related to exposure to these fields, are mentioned. *Conclusions:* Nine of the studies agreed to show the relationship of exposure to electromagnetic fields and the

appearance of cardiovascular diseases. This exposure confers vulnerability for arrhythmias and other cardiac diseases.

**Keywords:** Extremely low frequency magnetic fields, cardiovascular diseases, heart rate variability.

## INTRODUCCIÓN

Desde su génesis, el hombre ha estado expuesto a los campos electromagnéticos (CEM) naturales de la tierra y de su vecindario cósmico. En la medida que el desarrollo científico-tecnológico se ha incrementado, también lo ha hecho la generación, y con ella la exposición, a los CEM antropogénicos, que ya han creado un entretejido que envuelve la vida del hombre en todos los lugares donde se encuentra.

En diferentes frecuencias, los CEM son originados entre otros por las redes de comunicación móvil, radares, ondas de radio y televisión, por hornos de inducción y por la generación, transmisión y consumo, mediante todos los aparatos electrónicos de que dispone el ser humano, de la energía eléctrica, que facilita su vida y de la cual se ha hecho dependiente, creciendo cada vez más su uso, hasta el punto, que sería difícil imaginar su vida, sin esta.

El diseño natural de la biología humana está dispuesto para la interacción con los CEM naturales, que son no polarizados. Los creados por el hombre son polarizados, tienen la capacidad de inducir oscilaciones forzadas en moléculas cargadas y en los iones libres dentro y alrededor de los seres vivos, producir efectos de interferencia y amplificar sus intensidades en muchas localizaciones, lo que provoca la activación irregular de los canales iónicos de la membrana celular y la interrupción del equilibrio electroquímico de la célula. Esto hace que los CEM polarizados sean más bioactivos, con mayor poder de interacción con las células y tejidos vivos. La polarización parece ser un desencadenante, que aumenta significativamente la probabilidad de iniciación de efectos biológicos, o de resultados adversos sobre la salud. (Panagopoulos et al., 2015).

El efecto nocivo de los CEM continúa siendo un tema polémico, y aunque muchos estudios lo han puesto en evidencia, aún los decisores en el mundo, expresan timidez a la hora de encarar esta realidad. Es posible que la invisibilidad de estos sea un motivo. Si estuviesen coloreados de verde, azul, rojo y a través de estos, no se pudiera ver, por su presencia envolviéndolo todo, se tendría conciencia de que existen y quizás, serían motivo de preocupación, de si son o no perjudiciales, y cuán grande puede ser eso para los seres vivos. Sin dudas, la humanidad está frente a la contaminación magnética, que no es visible, pero a lo mejor se siente y se le encuentra alguna explicación alternativa.

En la década del 60 del siglo pasado, los científicos soviéticos Asanova y Rakov, dieron a conocer la aparición, en trabajadores de la industria eléctrica, de síntomas neurasténicos, cefalea, fatiga,

dificultades con la concentración, incremento de la excitabilidad, trastornos del sueño, y disturbios cardiovasculares. (Asanova and Rakov, 1966). Esto marcó el inicio del pensamiento científico, sobre la posible relación entre estos síntomas y la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (CEM FEB), generados por esa industria. Se describían, por vez primera, los síntomas cardiovasculares en una población trabajadora con exposición a estos.

Pero, ¿qué son los CEM FEB?. Pues son radiaciones, o sea, energía transmitida por ondas electromagnéticas, que tienen un intervalo de frecuencia de 0 a 300 Hz. Se sitúan en la parte baja del espectro electromagnético, en la zona de las radiaciones no ionizantes, no tienen suficiente energía, para ionizar la materia, o sea, para alterar la estructura de una molécula o un átomo quitándole uno o más electrones (Knaeve, 1998).

El componente magnético del CEM suele expresarse en términos de densidad de flujo magnético o inducción magnética (B) (Knaeve 1998), que es la magnitud vectorial definida en términos de fuerza ejercida sobre cargas en movimiento. Se expresa en teslas (T) (MPE: BOE 182, 2016). Es la fuerza que ejerce el campo magnético sobre los cuerpos que lo rodean. Lo único que determina la densidad del flujo magnético es la magnitud de la corriente (Knaeve, 1998).

Los efectos biofísicos en el cuerpo humano, causados por la presencia de los CEM, pueden ser directos, como la estimulación de los músculos, de los nervios o de los órganos sensoriales, presencia de corrientes en las extremidades, e indirectos, dados por interferencias con equipos y dispositivos médicos electrónicos implantados, como marcapasos cardíacos y otros llevados en el cuerpo (MPE: BOE 182, 2016).

Los campos magnéticos son capaces de modificar actividades celulares (Heredia et al., 2003). En el cuerpo humano existe actividad eléctrica en el sistema nervioso central, el corazón y los nervios periféricos. Los campos eléctricos endógenos son importantes en la funcionabilidad de la membrana celular (Szabé, 2004; García, 2005). Ésta consta en su estructura de una capa lipídica doble, permeable selectivamente a ciertas sustancias que pasan a través de puertas de voltaje y químicas. Las de voltaje responden al potencial eléctrico (Guyton, 1998).

Los CEM actúan sobre las membranas celulares distorsionando las señales del exterior que se dirigen al interior de la célula (Adey, 2010). Además pueden alterar su actividad eléctrica (Upton, 2010). Las perturbaciones a nivel de la membrana celular se

traducen en distorsión de las funciones bioeléctricas del organismo (Ecotecnic, 2010).

Se considera que los CEM producen alteraciones en el transporte y equilibrio de iones de calcio en la membrana celular (Stevens, 1993; Knave, 1998). Los iones de calcio en el espacio intracelular están en concentración 10 mil veces menor que en el espacio extracelular, desempeñan un papel importante en la activación del proceso contráctil muscular, y están normalmente regulados en una banda muy estrecha. Para que se relaje el músculo liso contraído es necesario eliminar iones de calcio intracelular. Por otra parte, la fuerza de contracción del miocardio depende en gran medida de la concentración de los iones de calcio en los líquidos extracelulares (Guyton, 1998).

Existe una excesiva actividad de los canales de calcio, en muchos tipos de células, por la exposición a CEM. Se considera que inmediatamente después de la exposición existe un aumento del calcio intracelular (Pall, 2013), lo que debe traducirse a nivel de las células de la musculatura lisa de los vasos sanguíneos como favorecedor de las acciones constrictivas, o sea, de la vasoconstricción. Es evidente, que del equilibrio de los iones de calcio, depende el buen funcionamiento del aparato cardiovascular.

Se han observado síntomas, como variabilidad de la frecuencia cardíaca en trabajadores expuestos a CEM FEB, a densidades de campo medias de 0,2 a 0,4  $\mu$ T (microTesla) por jornada de trabajo. Se han calculado niveles similares para las medias anuales de exposición, en sujetos que viven debajo de líneas de alta tensión o en sus proximidades. Estos parecen ser los valores, por encima de los cuales, podría haber un aumento del riesgo (Knave, 1998). En la entidad conocida como hipersensibilidad electromagnética, también se describen alteraciones del ritmo cardíaco (McCarty, 2011). Estos son dos ejemplos de cómo estos campos influyen sobre la actividad del sistema excito-conductor del corazón.

Numerosos estudios se han desarrollado sobre la influencia de los CEM FEB en la salud humana, especialmente sobre las enfermedades cardiovasculares (ECV). Sus resultados han sido diversos y contradictorios. Este trabajo se propone revisar algunos de ellos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una revisión de la literatura, sobre el efecto de los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja en las enfermedades cardiovasculares en el periodo 1988 hasta 2019.

Se utilizaron las bases de datos Scielo, Ebsco, LiLACS, así como, otras fuentes y recursos de información disponibles en Internet.

En la elaboración de la estrategia de búsqueda, se utilizó el vocabulario controlado DeCS (Descriptores en Ciencias de la Salud), para identificar los términos que responden al tema tratado, estos se combinaron

con operadores Booleanos, AND, OR, NOT para limitar/ampliar la recuperación de información al tema, periodo e idiomas deseado. Los términos utilizados fueron: campos electromagnéticos, enfermedades cardiovasculares, variabilidad de la frecuencia cardíaca.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han realizado numerosos estudios epidemiológicos y de laboratorio sobre la exposición a campos electromagnéticos y sus efectos sobre la salud. A continuación, se revisan algunos de ellos, recuperados en el presente trabajo, que muestran la relación entre a exposición y las afecciones cardiovasculares, se siguió el orden cronológico del año de publicación.

1) En la investigación efectuada por Perry y Pearl en 1988, encontraron que, de los pacientes hospitalizados que sufrieron algunos tipos de enfermedades cardíacas, como infarto agudo de miocardio (IMA), hipertensión arterial y enfermedad isquémica del corazón, el 62 % vivieron cerca de los cables de suministro eléctrico principal del edificio, donde estaban situadas sus viviendas. Se encontró que, significativamente, más personas que sufrían de estas enfermedades cardíacas ( $p=0.056$ ) habían estado viviendo cerca de estos cables, emisores de campos magnéticos (CM) de FEB (Perry and Pearl, 1988).

2) En el capítulo *Non ionizing Radiation*, escrito por Knave B et al., del libro *Occupational Medicine* (1994), se hizo referencia a que los trabajadores de las centrales generadoras de electricidad, con exposición a CEM FEB, presentaron alteraciones cardiovasculares (Knave et al, 1994).

3) En el artículo de revisión realizado por Jauchem en 1997, examinó 19 trabajos sobre efectos agudos ante la exposición a CEM FEB, en tres de los cuales, tuvo la consecuencia de disminuir el ritmo cardíaco, en seis se incrementaron las alteraciones electrocardiográficas o la presión arterial y en 10, donde se tuvieron en cuenta el ritmo cardíaco, la PA, los cambios electrocardiográficos, la estimulación cardíaca y el estrés cardiovascular, estos no fueron, estadísticamente significativos. En cuanto a los efectos por la exposición a largo plazo, fueron 10 las investigaciones que revisó, en una de ellas se observó disminución del ritmo cardíaco y en otra la mortalidad de los trabajadores de la industria eléctrica, por ECV, fue inferior a la de la población general y en seis que se basaron en las ECV, los cambios del ECG, del ritmo cardíaco, de la PA y de la función cardiovascular, no tuvieron significación estadística. Concluyó que el cuerpo de evidencia sugirió, que los efectos cardiovasculares, son poco probables, asociados con la exposición a CEM, en los niveles comúnmente encontrados (Jauchem, 1997).

4) En 1999, en un estudio de cohorte de mortalidad en 138 903 hombres trabajadores de cinco grandes empresas de servicios eléctricos de Estados

Unidos, entre 1950 y 1986, se analizó la mortalidad por ECV en ellos comparada con esa mortalidad en el país, con una razón de mortalidad estandarizada 0.74 (95 % IC: 0.74- 0.78). Se examinaron cuatro causas de muerte: arritmias, IMA, aterosclerosis y enfermedad cardíaca coronaria crónica. Se establecieron categorías de exposición según  $\mu\text{T/año}$  y la más elevada resultó, para las muertes relacionadas con el IMA  $\text{RR}= 1.62$  (95 % IC: 1.45- 1.82) y con la arritmia  $\text{RR}= 2.40$  (95 % IC: 1.48-3.89). Los índices de exposición a CM, fueron consistentemente relacionados con la mortalidad por arritmia e IMA. No existió gradiente de riesgo para la mortalidad por aterosclerosis y enfermedad cardíaca coronaria crónica. Los resultados sugirieron, una asociación entre los empleos en estas industrias, con una exposición elevada a campos magnéticos, y la mortalidad relacionada con arritmia e infarto agudo de miocardio. Para ambas causas de la muerte, las tasas se elevaron, en relación a la duración del empleo, en trabajos con exposición elevada y con los índices de exposición a campos magnéticos estimados, para todo el historial laboral. Estos datos sugirieron, una asociación, entre la exposición a CM y la arritmia cardíaca (Savitz et al., 1999).

5) En 2001, en un artículo se revisaron 15 trabajos sobre los efectos de los CEM sobre las enfermedades cardiovasculares. Se encontró, que las investigaciones más recientes apuntaron, a que la exposición a CEM pudo producir efectos cardíacos directos, principalmente relacionados con el ritmo cardíaco. No se conocieron otros cambios sustanciales, en la función cardíaca, como en el ECG o en la PA, en relación con la citada exposición. Se refirió, que la exposición ocupacional por largo tiempo, pudo explicar la muerte por arritmias e IMA. La reducción de la variabilidad del ritmo cardíaco fue reportada, como predictor de muerte de causa cardiovascular, en algunos estudios. Concluyeron que la evidencia fue débil, para que, debido a una exposición elevada a CM, se produjeran efectos cardiovasculares (Ahlbom et al., 2001).

6) En 2003, en otro estudio de cohorte de 27 790 trabajadores suecos, se evaluó el riesgo de mortalidad por enfermedades cardiovasculares y la exposición ocupacional a CM FEB, esta se estratificó en baja, media, alta y muy alta. Se incrementó el riesgo de muerte por IMA en la exposición muy alta  $\text{RR}=1.3$  (95 % IC: 0.9- 1.9) y fue sugerida la relación exposición - respuesta con  $p=0.02$ . Se calculó índice sinérgico de 2.7 (95 % IC: 1.1- 6.6) en los gemelos monocigóticos, lo que indicó que el riesgo de IMA, fue fortalecido en la exposición a CM FEB de sujetos con susceptibilidad genética para dicha enfermedad, posiblemente inducido, por la variabilidad de ritmo cardíaco (Håkansson et al., 2003).

7) En una tesis que abordó el tema de la exposición a CEM y los efectos sobre la salud, y dentro de estos, sobre las enfermedades del corazón, se plasmó un estudio de cohorte, formada por 32 006

personas que trabajaron, al menos por tres meses consecutivos, en una de las 99 empresas danesas de electricidad, se clasificaron los niveles de exposición en alto, medio, bajo y fondo. En 21 236 individuos fallecidos se buscó, en los registros de certificados de defunción, la causa específica de la mortalidad, no se identificó un incremento significativo del riesgo con la exposición a CEM para la mortalidad por ECV como IMA, aterosclerosis cardíaca, otras ECV y enfermedades cerebrovasculares. En cuanto a la implantación de 135 marcapasos, en una cohorte de 24 056 hombres, presentó un  $\text{RR}=0.96$  (95 % IC: 0.81- 1.14), lo que mostró que no hay incremento del riesgo de arritmia severa, relacionado con la exposición a CEM. Como cierre, no se pudo encontrar asociación, entre esta exposición y los desórdenes cardiovasculares (Johansen, 2004).

8) En el Congreso Internacional de Prevención de Riesgos Laborales, en 2006, se dio a conocer los resultados de un estudio casos-controles de prevalencia de problemas cardíacos, entre 60 trabajadores expuestos a campos magnéticos, y otros 60 trabajadores del personal administrativo, que no tenían esa exposición, en una estación eléctrica de alto voltaje en Egipto. Los primeros contaron con una exposición entre tres y 20 años, ocho horas diarias por seis días a la semana. Ambos grupos eran masculinos, no fumadores y sin historia personal de enfermedad cardiovascular. Se les realizó examen físico, electrocardiograma (ECG) y ecocardiograma, además, se les hicieron determinaciones de lípidos en sangre. Existieron diferencias entre el ritmo cardíaco entre los trabajadores expuestos y los no expuestos ( $p=0.000$ ), también con la PA, aunque estas, no fueron estadísticamente significativas. Las alteraciones del ECG fueron significativas en los trabajadores expuestos, respecto a los no expuestos ( $p=0.006$ ). Se constataron diferencias clínicas significativas, en la detección de arritmias como fibrilación auricular a predominio de los expuestos, pero no tuvieron significación estadística ( $p=0.061$ ). Los parámetros de la ecocardiografía, fueron diferentes en ambos grupos, relativo al espesor de la pared ventricular izquierda, pero no tuvieron significación estadística. Esto, pudiera indicar disfunción ventricular izquierda, lo que podría estar relacionado con los cambios isquémicos asociados a la exposición. Los trabajadores expuestos a CEM, presentaron cambios electrocardiográficos, con tendencia a la arritmia y aterosclerosis prematura, por lo que la isquemia coronaria fue más frecuente en ellos, aunque la diferencia, fue clínicamente significativa, no lo fue, estadísticamente. Como conclusión refirieron, que su investigación demostró, que la exposición a los CEM de las líneas eléctricas de alta tensión, pudo afectar el corazón. Encontraron un aumento de las frecuencias de aterosclerosis prematura (perfil lipídico alterado), arritmias, principalmente auriculares (aumento de la dispersión de la onda P y fibrilación auricular frecuente) y cambios isquémicos. Por lo tanto,

identificaron, una gran necesidad de aumentar la conciencia clínica de la enfermedad cardíaca, entre los trabajadores expuestos a CEM (Waheed et al., 2006).

9) En 2007, en revisión sistemática de 25 trabajos realizada desde 1992 hasta 2005, se encontraron estudios de efectos a corto plazo de la exposición a CM, sobre la función cardiovascular, como unos, que consideraron que originaba variabilidad en el ritmo cardíaco, otros que pensaron improbable la excitación del corazón humano durante la exposición, terceros que a pesar de la inconsistencia, razonaron que esta exposición pudiera influir en los mecanismos de control del ritmo cardíaco, cuartos pensaron que los CM, no influyen en la actividad del sistema nervioso autónomo, que modula el ritmo cardíaco y otros estudios, inconsistentes, que mostraron un aparente incremento del ritmo cardíaco con la influencia de los CM. En los efectos a largo plazo de esta exposición, estudios plantearon, que no existieron efectos significativos en la función cardiovascular, en otros, no fueron encontradas diferencias entre los ECG de los expuestos y no expuestos. En cuanto a las investigaciones sobre las ECV, se vieron resultados como que, en la mortalidad por esta causa, los expuestos no tuvieron más riesgo que los no expuestos, en otros, existió aumento del riesgo de muerte por arritmias e IMA con el incremento de la exposición a CM, con asociación positiva entre la exposición y el IMA. No se observó asociación entre la exposición ocupacional a CEM y el riesgo de ECV. Por último, en un estudio, donde fueron controlados los factores de confusión, no se observó incremento del riesgo con la exposición, para la mortalidad cardiovascular. Concluyeron, que la evidencia habló en contra de una relación etiológica, entre exposición ocupacional a CEM y las ECV (Kheifets et al., 2007).

10) En 2008, en un estudio de cohorte, integrado por 20 141 trabajadores ferroviarios suizos, masculinos, sobre mortalidad cardiovascular y exposición a CEM FEB, en la frecuencia de 16.7 Hz, se dividieron en cuatro grupos conductores de trenes, ingenieros de manobras en el patio, asistentes de tren y jefes de estación, con exposición acumulativa en  $\mu\text{T/año}$ , decreciente en ese orden, se encontró, comparando los grupos, con el grupo de los jefes de estación para la mortalidad total cardiovascular HR=0.99 (95 % IC: 0.91-1.08) en los conductores, HR=1.13 (95 % IC: 0.98- 1.30) en los ingenieros y HR=1.09 (95 % IC: 1.00- 1.19) en los asistentes. Se realizó la comparación de esa misma forma para las causas específicas como arritmias con HR=1.04 (95% IC: 0.68- 1.59) en los conductores, HR=0.58 (95 % IC 0.24- 1.37) en los ingenieros y HR=1.30 (95% IC: 0.87- 1.93) en los asistentes. En el caso del IMA, HR=1.00 (95% IC: 0.73- 1.36) en los conductores, HR=1.56 (95% IC: 1.04- 2.32) en los ingenieros y HR=1.14 (95% IC: 0.85- 1.53) en los asistentes. Este estudio, proporcionó evidencias contra una asociación entre la exposición prolongada a CEM, en la

frecuencia de 16.7 Hz, sobre la mortalidad cardiovascular, incluidas, las muertes por arritmia e IMA (Röösli et al., 2008).

11) En la investigación de tipo casos-controles, sobre el impacto de los CEM en la función cardiovascular, realizada en Polonia en 2008, constituyeron los casos expuestos, 63 trabajadores de subestaciones eléctricas, 71 de estaciones de radiodifusión AM (amplitud modulada), 71 de estaciones de transmisión y 40 de radioservicios, aunque no se excedieron los límites de exposición ocupacional, según lo establecido, en las respectivas regulaciones polacas. Solo los primeros, estuvieron expuestos a FEB, el resto, a radiofrecuencias. El grupo control, estuvo constituido por 40 trabajadores de estaciones de radio, sin exposición a CEM. Se efectuó monitoreo electrocardiográfico y ambulatorio de PA, ambos de 24 horas. En los trabajadores de estaciones de radiodifusión de AM, las alteraciones del ritmo cardíaco, detectadas por el monitoreo de ECG de 24 horas, fueron más frecuentes, que en los trabajadores expuestos a CEM de 50 Hz, de las subestaciones. En estos últimos, se encontró aumento de la frecuencia de presión arterial (PA) elevada ( $p=0.04$ ), y la probabilidad de anomalías en el ECG tuvo un OR=1.4, ambas en comparación, con el grupo control. El riesgo de PA elevada, en los trabajadores de las subestaciones, fue significativamente alto, respecto al grupo control. El incremento de los valores la PA principalmente sistólica fue mayor en la noche con un OR=12.5. También en ellos, las perturbaciones de la PA, tuvieron correlación significativa con los parámetros de exposición, la PA diastólica de 24 horas, diurna y nocturna con  $p=0.023$ ,  $p=0.05$  y  $p=0.001$  respectivamente. Las PA sistólica y la diastólica, nocturnas, y los máximos valores de exposición, tuvieron correlación significativa de  $p=0.043$  y  $p=0.026$ . Esos resultados, sugirieron que la frecuencia del CEM, pudiera determinar los tipos de trastornos cardiovasculares observados. Las alteraciones significativas, de la PA, ocurrieron principalmente, de noche (Bortkiewicz et al., 2008).

12) En la revisión de la literatura, sobre los efectos cardiovasculares de la exposición a CEM FEB, se analizaron 12 estudios epidemiológicos, que tuvieron en cuenta la variabilidad del ritmo cardíaco, como predictor de ECV y otros 15 de laboratorio, que consideraron indicadores de la macrocirculación como el ritmo cardíaco, así como la reducción de su variabilidad y la PA. Intentos de replicar estos estudios, han sido ineficaces por sus diseños, porque fueron realizados en pequeñas poblaciones y con variables de confusión, que obstaculizaron su progreso, hasta ese momento. Los estudios de los potenciales efectos de la exposición a CEM, sobre la función cardiovascular, realizados hasta la fecha de publicación, fueron en gran medida poco concluyentes. Los resultados requerirían aclaración por futuras investigaciones, tanto epidemiológicas como de laboratorio, que investiguen parámetros cardiovasculares

sobre todo la microcirculación (McNamee et al., 2009).

13) En un trabajo de revisión de 2009, sobre las necesidades futuras de la epidemiología ocupacional, en la exposición a CEM FEB, se planteó en cinco, de los estudios revisados, que hay que considerar que esta, durante largos períodos, puede incrementar la mortalidad por enfermedades cardiovasculares, por reducción de la variabilidad del ritmo cardíaco. Otro concluyó, que esta exposición, puede incrementar el riesgo de mortalidad por ECV. Seis investigaciones, de las examinadas, no confirmaron esto. En estudio con voluntarios, no se observaron cambios cardiovasculares con la exposición. Se concluyó, que la exposición ocupacional a CEM, no pareció jugar un rol en la etiología de las ECV (Kheifets et al., 2009).

14) *The Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks* SCENIHR (Comité Científico sobre Riesgos de Salud Emergentes y Recién Identificados) en: *Health Effects of Exposure to EMF* (Efectos sobre la salud de la exposición a los campos electromagnéticos), del 19 de enero de 2009, consideró, poco probable la asociación de los CEM FEB, con respecto a las ECV (SCENIHR, 2009).

15) En revisión realizada en 2009, sobre los efectos de la exposición a los CM FEB sobre la salud, se tuvieron en cuenta tres estudios de cohorte de trabajadores de Dinamarca, Estados Unidos y Gran Bretaña expuestos a CM, donde no se detectó incremento del riesgo de ECV, bajo una alta exposición. En estudio caso-control, no se manifestó, por incremento de exposición a CM, aumento del riesgo de IMA. En otro estudio, aumentó el riesgo de muerte por arritmias y por enfermedad isquémica del corazón, en trabajadores con prolongado tiempo de permanencia en trabajos con alta exposición. En estudios observacionales, la reducción de la variabilidad de los latidos cardiacos fue considerada, un factor de riesgo para las ECV. Concluyeron, que continúa siendo controversial la asociación entre la exposición a CM y los riesgos a la salud. La cuantificación de exposición y la falta de un mecanismo biológico, que pueda explicar la interacción entre los CM FEB y sus consecuencias para la salud, constituyeron el mayor obstáculo, para investigar los riesgos para esta, asociados a los primeros (Marcilio et al., 2009).

16) En el estudio de cohorte de 2013, realizado en 120 852 trabajadores de los Países Bajos, de ambos sexos, entre los que existieron 6 151 casos fallecidos por ECV, a los que se les calculó la exposición laboral que pudieron tener a CM FEB, se observó que no existió, asociación estadísticamente significativa, entre los niveles de exposición ocupacional a estos campos y el riesgo de mortalidad, por causas cardiovasculares, HR=1.02 (95% IC: 0.99- 1.06) (Koeman et al., 2013).

17) En un estudio de caso-control de 2013, en trabajadores de la industria automovilística china, los seleccionados, se dividieron en dos grupos: 127 en el de control y 247 en el de casos expuestos a CEM

FEB. Se les realizaron encuestas epidemiológicas, exámenes de laboratorio y ECG. En los exámenes de laboratorio como homocisteína, alanino aminotransferasa, aspartato aminotransferasa y glutimil transpeptidasa, se mostró, una significativa elevación de estas, en el grupo de expuestos, respecto al control ( $p < 0.05$ ). En cuanto a las alteraciones electrocardiográficas fueron significativas en los expuestos, comparado con el control ( $p < 0.05$ ). Los CEM FEB, pudieron ser un factor de riesgo indirecto de ECV y tener efectos negativos, sobre el aparato cardiovascular de los trabajadores expuestos (Liu et al., 2013).

18) En el folleto *Overview of Scientific Assessments of Research on ELF EMF and Health, and Epidemiologic Studies, 2007-2015*, (Visión General de las Evaluaciones Científicas de Investigaciones en CEM FEB y Salud, y Estudios Epidemiológicos, 2007- 2015), se planteó que la evidencia no fue convincente, de cualquier efecto de los CEM FEB, sobre el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) en Criterios de salud ambiental 238: Campos de frecuencia extremadamente baja (2007), y el Departamento de Comunicaciones, Recursos Marinos y Naturales (DCMNR) en Efectos sobre la salud de campos electromagnéticos, Irlanda 2007 (EirGrid, 2015).

19) En una revisión de los artículos recientes sobre los efectos cardiovasculares de la exposición a los CEM, en el sistema cardiovascular de humanos y animales de experimentación, se encontró que en humanos con de exposición ocupacional a CM, una asociación entre el incremento de esta y la mortalidad por arritmias e IMA. En las incubadoras donde se colocan a los recién nacidos, se constató exposición a CEM que produjeron en estos, alteraciones de la variabilidad del ritmo cardíaco. En animales de experimentación, con esta exposición, se observó que, en monos, se produjeron cambios en la función cardíaca, con aumentos muy significativos en las actividades de la creatina fosfoquinasa, la lactato deshidrogenasa y aspartato aminotransferasa, en ratas expuestas, se mostraron aumentos en la presión arterial, el peso absoluto y relativo, del corazón entero y del ventrículo izquierdo. Por otro lado, el ritmo cardíaco se redujo significativamente, en ratas con esta exposición. El registro de ECG, de animales de experimentación también expuestos, mostró un voltaje R y T significativamente más alto, un aumento en la duración de QRS e intervalos PR y QT-c prolongados y prolongación de la repolarización ventricular y de la frecuencia cardíaca. Se observaron cambios histopatológicos graves, en el corazón en animales de experimentación, expuestos a CEM FEB, como aumentos en el número de células apoptóticas, degeneración de las fibras musculares, hiperemia, distorsión de algunos miocitos cardíacos e infiltración en la estructura histológica de los espacios miocíticos. Se puede concluir, que la exposición de humanos y animales de experimentación a los CEM, ha tenido

un efecto negativo en el corazón y los vasos sanguíneos, al causar cambios histopatológicos y alteraciones en las funciones de los órganos del sistema cardiovascular (Azab y Ebrahin, 2016).

20) En editorial publicado en 2016, se planteó que las arritmias y los daños cardiacos ocurrieron como resultado de una larga exposición a CEM, aunque sea mucho menos intensa en cuanto a inducción magnética, los cambios de una exposición aguda, pueden regresar cuando esta cesa, pero los de la crónica no. Aunque, se mencionaron en algunos estudios, los efectos cardiovasculares perjudiciales de la exposición magnética de baja intensidad, no se pueden comparar con la exposición de más intensidad, porque esta, aumentaría el riesgo de las consecuencias negativas y del desarrollo de muertes súbitas, que puede ser alto, si la intensidad se incrementa (Sert, 2016).

21) En un reciente estudio de laboratorio realizado, sobre la exposición al campo magnético de 50 Hz, con inducción magnética de 100  $\mu$ T, y el daño que pudiera originar en el ácido desoxirribonucleico (ADN) de los cardiomiocitos, en líneas celulares de cardiocitos humanos y en animales de experimentación (ratas). La exposición, no incrementó la ruptura de la hebra de ADN de los cardiomiocitos. Ni la exposición continua ni la intermitente influyeron en la progresión del ciclo celular en estos. Las especies reactivas del oxígeno en su interior, no sufrieron cambios con la exposición, ni el estado de reducción-oxidación. Con la exposición, no se alteró la respuesta de la expresión proteica, no fue inducida inestabilidad genómica por daño del ADN, ni se originó detención del ciclo celular en los cardiomiocitos. Se demostró que esta exposición no pudo inducir daño primario detectable en el ADN de éstos, aunque se hace necesario comprender mejor los efectos de la exposición a campos magnéticos sobre el corazón (Wang et al., 2019).

## CONCLUSIONES

Aún no se llega a un acuerdo sobre la nocividad de los CEM FEB sobre los organismos vivos, y especialmente sobre los seres humanos. Se han realizado múltiples estudios y por lo general se ha concluido que son necesarias más investigaciones. En el caso de la leucemia infantil y su relación con esta exposición, los resultados de diversos estudios realizados en varios países apuntan a una causalidad, sin embargo, estos hallazgos no han sido considerados concluyentes.

Las afecciones cardiovasculares y su relación con la exposición a CEM han sido menos estudiadas. Aunque sus resultados, han sido contradictorios, no por ello son menos interesantes, a pesar de las dificultades, para realización de los estudios y para la replicación de estos.

En la literatura consultada para este trabajo, se hizo referencia a las afecciones a la salud en el área

cardiovascular, relacionadas con la exposición a los CEM FEB. Las más significativas fueron: alteraciones del ritmo cardiaco, la variabilidad de este, inestabilidad de la tensión arterial, la ocurrencia de infarto agudo de miocardio, arritmias y la muerte, por causas cardiovasculares.

En el presente artículo se revisaron 21 trabajos, de los cuales, ocho fueron estudios epidemiológicos, en seis fue encontrada relación de la exposición a CEM con la aparición de afecciones cardiovasculares, y en dos no se halló asociación entre dicha exposición y la mortalidad por causas cardiovasculares.

Se analizaron siete trabajos de revisión; la conclusión en uno de ellos fue a favor de la relación causal entre la exposición a los CEM y las afecciones cardiovasculares, en otro la consideraron controversial, y en cinco no la estimaron.

Se valoró un editorial que relacionó la exposición a CEM con la ocurrencia de arritmias y daños cardiacos, y la exposición de alta intensidad, con el riesgo de incremento de consecuencias negativas y de muertes súbitas. Se recuperó información de un capítulo del libro de *Occupational Medicine* de Carlos Zenz, en el que se hizo referencia a síntomas cardiovasculares, que fueron presentadas por los trabajadores expuestos a CEM. Se revisó una tesis sobre de la exposición a CEM y los efectos sobre la salud, como las enfermedades del corazón, donde no se fue observada, la asociación entre estas y la exposición.

Fueron revisadas, las conclusiones publicadas de un Comité Científico sobre Riesgos de Salud Emergentes y Recién Identificados, que consideraron poco probable, la asociación de la exposición a CEM con las ECV. Además, en el folleto Visión General de las Evaluaciones Científicas de Investigaciones en CEM FEB y Salud, y Estudios Epidemiológicos, 2007-2015, se consideró la evidencia no convincente, de la relación entre la exposición a CEM FEB y las ECV.

Se examinó, un estudio de laboratorio, que evidenció que la exposición a CEM FEB, no pudo inducir daño primario detectable, en el ADN de los cardiomiocitos.

De los trabajos revisados, nueve coincidieron en mostrar la relación entre la exposición a CEM y la aparición de perturbaciones cardiovasculares: en el ritmo cardiaco, en su variabilidad, en la PA, lo que pudiera atribuirse, a que el corazón, es un órgano con marcada actividad eléctrica y su funcionamiento, es calcio dependiente, así como la actividad vasomotora, de los vasos sanguíneos. Al afectarse la fisiología normal del órgano y de los vasos, por las alteraciones en el equilibrio de los iones de calcio, provocadas por los CEM, se incrementa la vulnerabilidad para las arritmias y los IMA y para la mortalidad de origen cardiovascular. Teniendo en cuenta que ésta es la primera causa de muerte en el mundo, puede constituirse una fuente de motivación para el desarrollo de estudios que profundicen más en el tema y contribuyan a fortalecer la evidencia existente.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Adey WR. Cell Membranes: The Electromagnetic Enviromental and Cancer Promotion. *Neurochemical Research*.1988; 13(7):671-7.
- Ahlbom A, Cardis E, Green A, Linet M, Savitz D, Swerdlow A. Review of the Epidemiologic Literature on EMF and Health. *Environ Health Perspect.* 2001; 109(6): 911–933.
- Asanova TP, Rakov AI. The state of health persons working in electric fields of outdoor 400 and 500 kV switchyards. *Labor Hyg Occup Dis (Engl Transl)*. 1966; 5: 50-52.
- Azab AE, Ebrahin SA. Exposure to electromagnetic fields. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering* 2016; 16 p.
- Bortkiewicz A, Gadzicka E, Zmyslony M, Szymczak W. The impact of EMF on the cardiovascular function: basic methodological problems and study results. 6th European Commission Framework Programme 2002-2006. 2008; 6 p.
- Ecotecnics Wordpress. Efectos de las líneas de alta tensión para la salud. Ecotecnics. 2010.
- EirGrid plc, Exponent, Inc., editors. Overview of Scientific Assessments of Research on ELF EMF and Health, and Epidemiologic Studies, 2007-2015. *Health Sciences* 2015; 16 p.
- García SI. La Salud Humana y los Campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (CEM-FEB). 2005
- Guyton AC, Hall JE. *Tratado de Fisiología Médica*. 9ª ed. La Habana: Ciencias Médicas; 1998. Tomo I, p. 3-319.
- Håkansson N, Gustavsson P, Sastre A, Floderus B. Occupational Exposure to Extremely Low Frequency Magnetic Fields and Mortality from Cardiovascular Disease. *Am J Epidemiol.* 2003; 158: 534–542.
- Heredia Rojas JA, Rodríguez Flores L, Santoyo Stephano M, Castañeda Garza E, Rodríguez De la Fuente A. Los campos electromagnéticos: ¿un problema de salud pública? *Respyn* 2003; 4 (1); 25 p.
- Jauchem J R. Exposure to extremely-low-frequency electromagnetic fields and radiofrequency radiation: cardiovascular effects in humans. *Int Arch Occup Environ Health.* 1997; 70: 9-21.
- Johansen C. Electromagnetic fields and health effects - epidemiologic studies of cancer, diseases of the central nervous system and arrhythmia-related heart disease. *Scand J Work Environ Health.* 2004; 30 (1):1–80.
- Kheifets L, Ahlbom A, Johansen C, Feychting M, Sahl J, Savitz D. Extremely low-frequency magnetic fields and heart disease. *Scand J Work Environ Health.* 2007; 33(1):5–12.
- Kheifets L, Browman JD, Checkoway H, Feychting M, Harrington JM, Kavet R. Future needs of occupational epidemiology of extremely low frequency electric and magnetic fields: review and recommendations. *Occup Environ Med* 2009; 66:72-80.
- Knave B, Niland J, Zenz C. Non ionizing Radiation. In: Zenz C, Dickerson OB, Horvath EP, eds. *Occupational Medicine*. 3ra ed. St. Louis: Mosby; 1994. p. 384-92.
- Knave B. Radiation, non-ionizing. En: Stellman JM, editor. *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*. VII.4th ed. Geneva: International Labour Office; 1998;(2): p.49.1-49.31.
- Koeman T, Slottje P, Kromhout H, Schouten L J, Goldbohm R A, van den Brandt PA. Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and cardiovascular disease mortality in a prospective cohort study. *Occup Environ Med.* 2013; 70: 402–407.
- Liu X, Zhao L, Yu D, Ma S, Liu X. Effects of extremely low frequency electromagnetic field on the health of workers in automotive industry. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 2013; 32(4): 551–559.
- Marcilio I, Habermann M, Gouveia N. Extremely low-frequency magnetic fields and health effects: literature review *Rev Bras Epidemiol.* 2009; 12(2): 1-19.
- McCarty DE, Carrubba S, Chesson AL, Frilot C, González-Toledo E, Marino AA. Electromagnetic hypersensitivity: Evidence for a novel neurological Syndrome. *Int J Neurosci Bristol.* 2011; 26 p.
- McNamee DA, Legros AG, Krewski DR, Wisenberg G, Prato FS, Thomas AW. A literature review: the cardiovascular effects of exposure to extremely low frequency: electromagnetic fields. *Int Arch Occup Environ Health.* 2009; 82(8): 919-33.
- Ministerio de la Presidencia de España. Protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos. Real Decreto. 2016. Boletín oficial del estado núm. 182, de 29 de julio de 2016.
- Pall ML. Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce beneficial or adverse effects. *J. Cell. Mol. Med.* 2013; 17(8): 958-65.
- Panagopoulos DJ, Johansson O, Carlo GL. Polarization: A key difference between man-made and natural electromagnetic fields, in regard to biological activity. *Scientific Reports.* 2015 Oct; (5); 25 p.
- Perry S, Pearl L. Power frequency magnetic field and illness in multistorey blocks. *Public Health.* 1988; 102: 11-8.
- Röösli M, Egger M, Pfluger D, Minder Ch. Cardiovascular mortality and exposure to extremely low frequency magnetic fields: a cohort study of Swiss railway workers. *Environmental Health.* 2008; 7: 35.

- Savitz DA, Liao D, Sastre A, Kleckner R C, Kavet R. Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among electric utility workers. *Am J Epidemiol.* 1999; 149(2): 135–142.
- Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. *Health Effects of Exposure to EMF.* 2009.
- Sert C. Interaction of Electromagnetic Field – Biological System and Three Important Diseases: Cancer, Diabet and Cardiac Diseases. *JSM Anat Physiol* 2016; 1(1): 1001.
- Stevens RG. Biologically Based Epidemiological Studies of Electric Power and Cancer. *Environmental Health Perspectives Supplements.* 1993; 101(4): 93-100.
- Szabé D. Standards and guidelines on protection against non-ionizing radiation. *Central European J Occup Environ Med.* 1995; 1 (3): 281.
- Upton A. Radiación. En: Frumkin H, ed. *Salud Ambiental de lo global a lo local.* Washington: McGraw-Hill Interamericana; 2010. p. 776-8.
- Waheed A, Gamal A, Nasr GMA, Moustafa H M. Prevalence of Cardiac Problems Among Workers Exposed to Magnetic Fields in a High Voltage Electrical Power Station in Egypt. *Prevención Integral.* 2006; 97(3):1073-8.
- Wang Y, Liu X, Zhang Y, Wan B, Zhang J, He W. Wang Y. Exposure to 50 Hz magnetic field at 100  $\mu$ T exert no DNA damage in cardiomyocytes. *Biology Open* 2019; 8 (8): (26 p).