

Capítulo I

Los Campos de Radiofrecuencia y Sus Efectos Biológicos

En el ámbito de la física, materia y energía interactúan de muchas maneras y en muchos niveles. De particular interés para la biología es cómo la energía electromagnética interactúa con la materia, en especial la materia orgánica, y cómo afecta de alguna manera forma y función de las células vivas, tejidos y organismos. Para las ciencias de la salud, estas interacciones pueden ser de interés sobre sus efectos nocivos sobre los organismos, especialmente los seres humanos.

Durante los últimos 100 años, una gran cantidad de investigaciones científicas ha descubierto y estudiado la naturaleza y las propiedades de la radiación electromagnética y la forma en que interactúa con la materia en general, y con la materia viva, en particular. La parte visible del espectro electromagnético, que fue el único fenómeno conocido por el hombre hasta el siglo 19, ha sido ampliamente estudiada respecto a esas interacciones. De hecho, hay formas de vida en la Tierra, en su mayor parte únicamente como resultado de algunas de estas interacciones, tales como la fotosíntesis, que es capaz de transformar la energía luminosa en carbohidratos. Con el descubrimiento de otras formas de energía electromagnética, como los rayos X, rayos gamma y ultravioleta, que no son visibles a los seres humanos, otros mecanismos y efectos de la interacción energía-materia se han descubierto. Por ejemplo, el carácter destructivo de los rayos X en las moléculas, células y organismos fue descubierto cuando los radiólogos han comenzado a desarrollar neoplasias de piel después de la exposición extensa y prolongada a los rayos X a principios del siglo 20, lo que dio lugar a un amplio estudio sobre la naturaleza científica de estos efectos, así como el esclarecimiento de su potencial genotóxico (tales como la inducción de mutaciones en el material genético de las células, la muerte celular, etc) ..

Como resultado de estos estudios, la ciencia ha determinado que, con respecto a sus efectos en los átomos, moléculas y sus conexiones, el espectro electromagnético se puede dividir en dos tipos.

1) Las frecuencias que tienen energía suficiente para sacar los electrones de los orbitales exteriores de algunos átomos, produciendo iones, de esta manera (o sea, átomos con carga eléctrica), que es llamado de proceso de ionización, y;

2) las frecuencias que no tienen suficiente energía para causar ionización, y que por lo tanto interactúan con la materia de otras maneras, tales como la producción de vibraciones mecánicas en los átomos, que se disipan en forma de energía térmica.

Por lo tanto, la energía electromagnética se clasifica como radiaciones ionizantes y no ionizantes, aunque sea una forma simplista ya que la clasificación implica sólo la frecuencia de la energía. De hecho, el potencial de ionización no depende sólo de sí misma, sino también de las propiedades de la materia sobre la que se centran, en

particular la vulnerabilidad de las moléculas a la ionización. Por ejemplo, la fotosíntesis depende de una etapa de ionización causada por la luz amarilla, que se considera generalmente como una frecuencia no ionizante. Otros ejemplos son los efectos de la luz sobre la melatonina en la piel, la síntesis de vitamina D y el mecanismo molecular de la visión en las células de la retina.

Fuentes naturales y artificiales

La energía electromagnética se encuentra en todas partes del universo, y tiene muchas fuentes naturales como el sol mismo (de muy lejos la fuente más grande en la Tierra, en particular para la luz visible, sino también para otras frecuencias, como la luz ultravioleta e infrarrojo), otras estrellas (rayos X, radiación cósmica, etc.) y los planetas (ondas de radio), la magnetosfera de la Tierra, etc. En efecto, a una temperatura dada, cualquier organismo vivo emite energía electromagnética, incluyendo nuestros propios cuerpos.

En el último siglo, con el descubrimiento de aplicaciones prácticas y de nuevos dispositivos que utilizan energía electromagnética, tales como tubos de rayos X, fuentes de rayos gamma para el tratamiento médico, lámparas de infrarrojos, transceptores, láser, líneas de transmisión eléctrica, motores y dinamos, dispositivos de transmisiones de radio y televisión, muchos tipos de otros aparatos electrónicos y electromagnéticos, etc., el medio ambiente en que vivimos ha sido gradual y cada vez más "invadido" por fuentes artificiales que se suman a las fuentes electromagnéticas naturales. La mayoría de estas emisiones son invisibles y tienen propiedades desconocidas por las personas en su interacción con los organismos vivos, y por lo tanto comenzaron a generar temores sobre sus posibles efectos nocivos para la salud. Este miedo es una respuesta natural y viene junto con casi todas las nuevas tecnologías como el telégrafo, el teléfono, la televisión, la computadora, el teléfono celular, y así sucesivamente.

Las intensidades de las emisiones de estas fuentes artificiales varían mucho: pueden ir de muy altas (por ejemplo, en los hornos de microondas, en los láseres y máseres de alta potencia, la comunicación de radio de largo alcance y las antenas de radar) a bajas (como en satélites geoestacionarios de comunicación y en dispositivos de comunicación inalámbrica de datos, en tecnologías de corto alcance como Bluetooth). Por lo tanto, algunas de estas fuentes puede tener efectos negativos evidentes, tales como cocinar material biológico en los hornos de microondas, mientras que otros parecen no tener efecto, al igual que los pequeños comandos inalámbricos remotos que se utiliza para abrir puertas de garaje.

Más recientemente, debido al enorme crecimiento de las comunicaciones inalámbricas móviles, especialmente los teléfonos móviles, comenzó a crecer la preocupación pública y el conocimiento sobre los posibles efectos de su uso generalizado, tanto de las estaciones radio-base y los teléfonos móviles. Esta preocupación, a su vez, llevó a la investigación científica creciente sobre la posibilidad de que las radiaciones no ionizantes (RNI), en particular en el espectro de frecuencias utilizadas en estas tecnologías, tendrían efectos biológicos en el corto, mediano y largo plazo, y podrían representar un peligro para la salud de las poblaciones humanas. De hecho, el problema es que, mismo que el efecto nocivo afectara un porcentaje muy pequeño de personas, eso podría ser muy importante, debido al uso masivo y generalizado de estas tecnologías por parte de la población, lo que resultaría quizás en un número realmente monumental de enfermedades en personas expuestas a RNI en bases diarias, con consecuentes impactos sociales y

económicos en la salud.

Estas investigaciones comenzaron a aparecer en un número significativo desde finales de 1970 y han crecido exponencialmente desde entonces, generando una enorme cantidad de información publicada. asociaciones científicas, comités y organismos gubernamentales y grupos internacionales, etc., muchos de los cuales se reunieron para discutir el tema, generando por su vez un gran número de informes técnicos y recomendaciones que se actualizan regularmente. Grupos de investigación multicéntrica de cooperación a gran escala se formaron y tornaron posible investigaciones epidemiológicas que combinan un gran número de pacientes en cada país, para las cuales se requiere muchos recursos humanos y financieros. Todo este aparato enorme, mayor de los en que participan la mayoría de las enfermedades humanas, está impulsado por la preocupación del público, especialmente en los países desarrollados, y la necesidad de establecer normas de protección y medidas cautelares para establecer límites y reglas de seguridad impuestas por los gobiernos, tanto para la regulación y para difundir información sobre los efectos de los campos electromagnéticos (CEM) producidos por el hombre mismo.

Las justificaciones de esta revisión

A pesar de que ya han sido publicados varias revisiones de la literatura muy competentes y exhaustivas sobre los efectos biológicos y en la salud de los campos electromagnéticos no ionizantes (por ejemplo, ICNIRP, 2009, Marino, 2008a, 2008b, 2009), tenemos muchas razones para creer que se justifica una nueva revisión de la literatura por especialistas en este campo en Latinoamérica, sobre todo para proveer una perspectiva regional sobre este asunto.

En primer lugar, aunque hay un grupo muy pequeño de estudios en esta área en Latinoamérica, creemos que es importante divulgar, revisar y discutir sus hallazgos. Algunas de estas contribuciones regionales suelen aportar una contribución significativa al cuerpo general de conocimientos, ya que reflejan factores profesionales, sociales, ambientales o técnicos únicos de los países de Latinoamérica.

En segundo lugar, hoy en día hay una creciente preocupación en la región acerca de los posibles efectos de las RNI en las poblaciones humanas expuestas a la misma, principalmente debido al crecimiento explosivo de las redes de datos móviles e inalámbricas en América Latina en las últimas décadas.

En un reciente informe estadístico, declaró que:

"... La penetración de la tecnología móvil en Latinoamérica y en el Caribe era de aproximadamente 80% a principios de 2009, muy por encima del promedio mundial, que fue alrededor del 58%. Con unas 458 millones de personas que tenían teléfonos móviles a principios de 2009, la Latinoamérica y el Caribe, conjuntamente representan de 12% de los 3,970 millones de suscriptores móviles a nivel mundial. Varios países, incluyendo Brasil, Argentina, Jamaica, Uruguay y Venezuela recientemente han superado el umbral de la "penetración del 100%" (Statistics of Mobile Communications in Latin America, May 2009). Según un informe de la Asociación GSM, América Latina y el Caribe lideran el mercado

mundial en términos de porcentaje de crecimiento del sistema GSM, con la adición de más de 74 millones de nuevos clientes en un año, desde marzo 2005 hasta marzo de 2006, casi el doble de su base de suscriptores, con una tasa de crecimiento de 97%. "

El temor de los efectos de la tecnología en la salud ha sido omnipresente en casi todas las clases sociales y económicas en América Latina, a pesar del amplio uso de teléfonos celulares en la población, y es a menudo alimentada por los informes en la prensa laica, que reproduce, en una manera no-crítica, todo que publica la prensa internacional. Por otra parte, un llamamiento general a legislación más restrictiva por los políticos ha producido muchas leyes que no están sólidamente respaldadas por pruebas científicas, que a menudo han causado más daño que bien. Así, el análisis y la opinión de los científicos latinoamericanos son importantes, y añaden un factor muy importante de confianza. Además, los científicos latinoamericanos son, evidentemente, más conscientes de los detalles de la utilización de las RNI, la legislación y aplicación de los reglamentos, etc., en la región, do que científicos de otras regiones.

Por lo tanto, la revisión de la literatura se llevó a cabo con estos objetivos y enfoques en mente, y siempre que sea posible se discute la contribución de América Latina para el cuerpo de la investigación en todo el mundo, y emitense recomendaciones en relación a su importancia, la aplicabilidad y viabilidad en los países de América Latina.

Con el objetivo de encontrar los documentos relevantes y de alta calidad publicados en este campo en América Latina, se realizaron búsquedas en tres bases de datos de la literatura:

1. LILACS (Literatura Latinoamerica en las Ciencias de la Salud, gestionada por el Centro Regional de Información para la Salud en América Latina y el Caribe, una agencia de la Organización Panamericana de la Salud, que se centra en revistas científicas y médicas publicadas en la región.;
2. MEDLARS, una base de datos de literatura médica gestionada por la Biblioteca Nacional de Medicina de los E.E.U.U, y;
3. La base de las publicaciones científicas mantenida por el Programa Campos Electromagnéticos y Salud, coordinado por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

La estrategia de búsqueda utilizada fue la de utilizar los nombres de los países de América Latina y Caribe en relación con las palabras clave adecuadas. No han sido considerados los artículos y libros publicados por los científicos y técnicos de origen latinoamericano, pero que no trabajan en la región.

Limitación de Alcance

Con estos objetivos en mente, la revisión de literatura y el análisis crítico que sigue ha limitado su alcance para incluir los efectos biológicos en la salud de los campos electromagnéticos no ionizantes (conjuntamente denominados de **bioefectos**), limitándonos a la gama de frecuencias utilizadas para radiodifusión y para la comunicación por ondas de radio y microondas, como los utilizados en radio y televisión, comunicaciones móviles de voz y datos, comunicación inalámbrica de datos, etc.

Cubrimos en la revisión no sólo los posibles efectos directos de la exposición de los profesionales que trabajan con estas frecuencias de radio (RF), así como al público en general (tanto a los usuarios y los no usuarios de equipos terminales), sino también los efectos indirectos de la RF, tales como la interferencia radioeléctrica en dispositivos médicos. La revisión no incluyó de forma intencionada, otras fuentes menos importantes de las radiaciones no ionizantes, como las fuentes de mayor potencia de RF, fuentes de alta intensidad de la luz visible, la radiación ultravioleta no ionizante, los rayos infrarrojos, o las fuentes de frecuencia extremadamente baja (ELF, en Inglés), como las utilizadas en la transmisión de electricidad de corriente alterna.

Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes

El enfoque tradicional y más eficaz para el estudio de causa-efecto en las ciencias biológicas es experimentar con células y organismos. La Radiobiología es el campo de las ciencias biológicas que trata de aclarar cómo las diversas formas de interacción con la radiación afecta a los seres vivos de todo tipo. El Bioelectromagnetismo es la área de la Radiobiología que cubre el estudio de los campos electromagnéticos, tanto ionizantes y no ionizantes, ya sean naturales o generados artificialmente. Estas investigaciones pueden ser puras o aplicadas, pero la mayoría de las investigaciones aplicadas es dirigida a la posible aplicabilidad de los conocimientos adquiridos a los seres humanos, tales como la vulnerabilidad a las señales externas de radiofrecuencia generadas por aparatos como transmisores de televisión y teléfonos celulares.

En esta sección, se analizan los datos experimentales recogidos sobre los efectos biológicos de la energía electromagnética de alta frecuencia, sobre todo en las frecuencias de radiofrecuencia y microondas, entre 100 kHz y 10 GHz en experimentos *in vivo* e *in vitro*, excepto en los seres humanos, que se debatirán en el próximo capítulo.

En este capítulo se incluye el cultivo de células y tejidos aislados *in vitro* o *in vivo* (animales intactos), especialmente en los mamíferos, que son fisiológicamente y genéticamente más similares a los seres humanos que las bacterias, gusanos o insectos. Por lo tanto, se espera que este conocimiento puede ser transferido a los seres humanos que, por razones éticas, no se pueden utilizar para la mayoría de los tipos de experimentos.

Los modelos *in vitro* han sido ampliamente utilizados para estudiar las interacciones de los campos electromagnéticos no ionizantes en el ámbito de las moléculas y los mecanismos bioquímicos que funcionan en los niveles celulares. Ellos incluyen el metabolismo celular y tisular, las rutas y cascadas bioquímicas, el transporte de iones a través de membranas y dentro de las células, la división y el crecimiento celular, el sistema de genes y su expresión, la síntesis de proteínas, la codificación y la transducción de la información del ADN y ARN, las enzimas y muchos otros. Teóricamente, todos los aspectos de esta compleja planta que es la célula pueden ser investigado en relación a la RF. Un punto importante, sin embargo, es que los efectos descubiertos en el nivel molecular o celular no significan automáticamente que sean pertinentes para el funcionamiento anormal o que tengan consecuencias para la salud de todo el organismo (d'Inzeo de 2009, Repacholi, 1998).

Los modelos utilizados para los experimentos *in vivo* se centran principalmente en los mamíferos, casi siempre en pequeños roedores que se reproducen en laboratorio, como las ratas y ratones. Hay muchas ventajas en utilizar estas especies: tienen más de 70% de sus genes en común con el *Homo sapiens*, son mamíferos de sangre caliente, con fisiología y sistemas bioquímicos muy similares a los nuestros, son fáciles de criar y mantener en cautividad, ocupan poco espacio, y tienen una alta tasa reproductiva (ideal para los estudios genéticos y la exposición durante toda la vida). Además, pueden ser tan genéticamente homogéneos como si quiera, incluidas las cepas que son genéticamente programadas para ser altamente susceptibles al cáncer y otras enfermedades.

En cuanto a la capacidad de transferir o aplicar los conocimientos adquiridos a través de experiencias con estos animales, es mucho más difícil. Por un lado, las ratas y los ratones son pequeños, por lo que la absorción de la radiación y propagación de RF dentro de sus cuerpos son diferentes de los de los seres humanos, incluidos los órganos de los sentidos, el cerebro y el sistema hematopoyético, que no están bien protegidos de la radiación externa por sus huesos delgados. Por otra parte, la biología de los roedores se opone totalmente a los primatas en general: son principalmente nocturnos y subterráneos, y por lo tanto tienen muy poca protección desarrollada por la evolución contra la radiación solar y otros tipos de radiación. Esto puede hacer que sean más sensibles a las frecuencias electromagnéticas no ionizantes que el *Homo sapiens*. Por otra parte, su biología del comportamiento, la memoria y, las habilidades cognitivas no pueden ser fácilmente extrapolables a los seres humanos.

La gran libertad para llevar a cabo experimentos sistemáticos con células vivas o de los organismos proporciona una amplia colección de datos y la variación de muchos parámetros, tales como el uso de varias densidades de energía de radiofrecuencia, por ejemplo, en muchas formas diferentes de exposición. Un mayor número de variables se pueden estudiar simultáneamente o por separado. En una muestra de los estudios de exposición en ratas, 151 variables fisiológicas y los datos clínicos fueron registrados. El número de individuos en los estudios de exposición de los animales es a menudo más alto que los utilizados en la experimentación humana, pero es mucho menor que en estudios epidemiológicos en humanos.