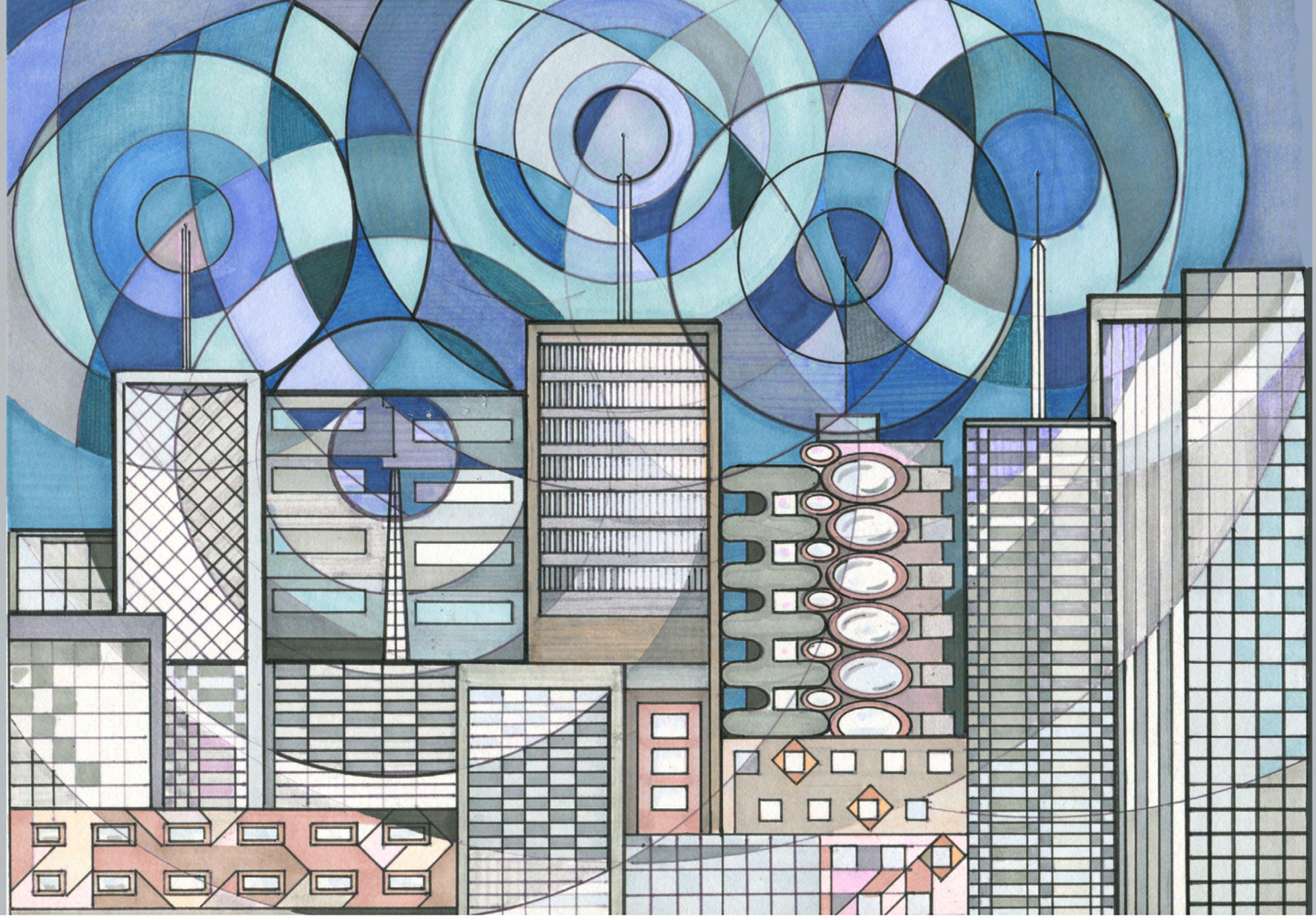


Campos electromagnéticos:
el océano invisible que nos cura y nos preocupa

Fausto Rojas Duran y
Jesús Antonio Lara Reyes

Vivimos inmersos en un mar de fuerzas invisibles que moldean nuestra realidad. Desde el calor que sentimos del sol hasta la señal instantánea de nuestro teléfono móvil, los campos electromagnéticos (CEM) son una parte tan fundamental de la naturaleza como de la tecnología moderna. Este artículo se adentra en la fascinante dualidad de los CEM, explorando el delicado equilibrio entre el debate sobre sus potenciales riesgos para la salud y sus extraordinarios y prometedores beneficios, que van desde diagnósticos médicos que salvan vidas hasta terapias innovadoras que reparan el cuerpo. Navegaremos por la ciencia que hay detrás de este fenómeno para ofrecer una visión equilibrada, con el objetivo de fomentar una convivencia informada con esta energía omnipresente que es, al mismo tiempo, motivo de preocupación y fuente de esperanza.

La fuerza que conecta el universo

Imagina por un momento un mundo sin ondas. No solo sin ondas sonoras, sino sin ondas de ningún tipo. Un mundo silencioso, estático, donde la luz del sol no viaja, el calor no se propaga y las comunicaciones inalámbricas son imposibles. Este escenario, casi inimaginable, nos ayuda a valorar la realidad: nuestro universo está tejido con ondas, y una familia en particular es la responsable de la mayoría de las interacciones que experimentamos: las ondas electromagnéticas.

¿Alguna vez te has preguntado cómo es que el horno de microondas calienta tu comida, por qué la aguja de una brújula apunta siempre al norte, o de qué manera una resonancia magnética puede ver a través de los tejidos de tu cuerpo con tanta precisión?

La respuesta a todas estas preguntas, aparentemente dispares, se encuentra en un mismo y poderoso fenómeno físico: los CEM. Son como el aire para nuestra civilización tecnológica; no los vemos, pero están ahí, sustentando gran parte de la vida moderna. Sin embargo, su presencia masiva y constante genera una pregunta inevitable y legítima: ¿constituyen un riesgo invisible para nuestra salud o son, en realidad, unos de nuestros más grandes aliados? En este viaje por el espectro electromagnético, desentrañaremos tanto las alertas prudentes de la ciencia como las enormes esperanzas que los CEM nos brindan.

¿Qué son los campos electromagnéticos? Una danza cósmica

Imaginar un campo de fuerza invisible, como en la ciencia ficción, es un buen punto de partida, pero la historia real es infinitamente más elegante y fascinante. Un campo electromagnético no es una sola fuerza, sino una danza íntima e inseparable entre la electricidad y el magnetismo. Es una asociación tan poderosa que es capaz de viajar por el vacío más absoluto del espacio interestelar, llevando consigo energía, información y, en definitiva, la capacidad de conectar el cosmos.

En este preciso instante, estás inmerso en un océano de campos electromagnéticos. La luz que te permite leer esto, el calor del sol en tu piel, la señal de tu teléfono celular buscando conexión y las ondas de radio que llenan el aire son todas manifestaciones de esta fuerza única y versátil que, aunque invisible, da forma y conecta nuestro mundo moderno.

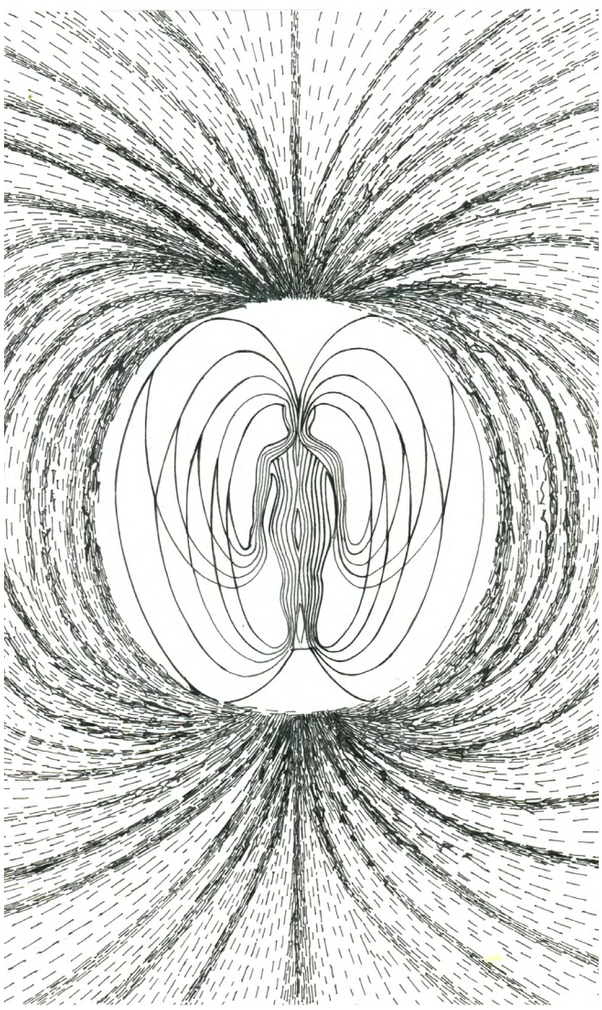


Figura 1. Los CEM están presentes en todo nuestro entorno, desde la radiación solar y las telecomunicaciones hasta las aplicaciones médicas avanzadas.

Los dos bailarines inseparables: el campo eléctrico y el campo magnético

Para comprender esta coreografía, debemos pensar en esta fuerza invisible como si tuviera dos componentes que se generan mutuamente en un ciclo perpetuo. Por una parte, el campo eléctrico, ya que todo comienza con una carga eléctrica, como un electrón. Por el simple hecho de existir, crea a su alrededor una especie de "aura de influencia" llamada campo eléctrico. Es como si la carga declarara: "En esta región del espacio, si eres otra carga, sentirás mi fuerza". Si la otra carga es de signo opuesto, será atraída; si es del mismo signo, será repelida. Este campo existe siempre que hay una carga, esté en reposo o en movimiento.

Por otro lado, está el campo magnético: este actor entra en escena cuando las cargas eléctricas se mueven; es decir, cuando hay una corriente eléctrica. Es el responsable de que los imanes se atraigan o repelan, de que funcione el motor de un ventilador y de que la Tierra nos proteja de la radiación solar con su magnetósfera. Un imán permanente tiene un campo magnético porque, a nivel molecular, los electrones de sus átomos están en movimiento constante y alineados.

La verdadera magia, sin embargo, ocurre cuando estos dos bailarines se coordinan y se realimentan.

La coreografía perfecta: la onda que se auto propulsa

La clave para entender la naturaleza viajera de los CEM está en un "efecto dominó" cósmico, un principio descubierto por el físico James Clerk Maxwell en el siglo XIX. La secuencia es la siguiente:

1. Un campo eléctrico que cambia o varía en el tiempo genera instantáneamente un campo magnético a su lado.
2. Pero ese nuevo campo magnético, al nacer y cambiar, genera a su vez un campo eléctrico cambiante.
3. Este nuevo campo eléctrico genera otro campo magnético, y así sucesivamente, en un ciclo infinito que se propaga por sí mismo hacia adelante.

Esta cadena de generación mutua es lo que conocemos como onda electromagnética. Podemos visualizarla como una ola en el océano, pero en lugar de estar

hecha de agua, está compuesta de electricidad y magnetismo empujándose el uno al otro de manera rítmica. Lo más asombroso es que esta onda viaja sin necesidad de un medio material, a diferencia de las ondas sonoras. Se propagan a la velocidad de la luz en el vacío (aproximadamente 300,000 kilómetros por segundo); de hecho, la luz visible es, en sí misma, un tipo más de onda electromagnética.

El espectro electromagnético: un universo de vibraciones

Todas las ondas electromagnéticas son esencialmente lo mismo, la diferencia fundamental radica en su frecuencia (el número de oscilaciones completas que realizan por segundo) y su longitud de onda (la distancia entre dos crestas consecutivas de la onda). Juntas, forman el espectro electromagnético, que podemos imaginar como un enorme piano cósmico. Cada tecla produce un tipo de energía diferente, desde las notas graves y de baja frecuencia hasta las agudas y de frecuencia extremadamente alta.

Para entender su interacción con la materia y la salud, el espectro se divide en dos grandes categorías, separadas por una línea crucial: la capacidad para ionizar.

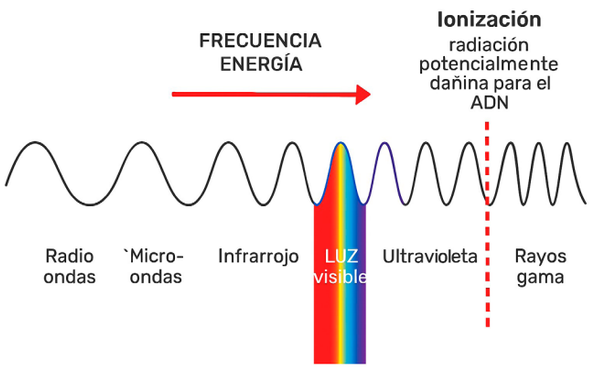


Figura 2. Representación mostrando cómo aumenta la frecuencia y la energía de izquierda a derecha. La línea divisoria marca el punto donde la radiación se vuelve «ionizante» y capaz de potencialmente dañar el ADN. Imagen por Microsoft Copilot, 2025.

Radiación ionizante: la energía de la transformación atómica. Ocupa el extremo de alta energía del espectro. Aquí encontramos:

- Radiación ultravioleta (UV): Proveniente del sol.
- Rayos X: Usados en diagnósticos médicos.
- Rayos gamma: Emitidos por materiales radiactivos y utilizados en radioterapia.

Estas ondas tienen tanta energía que son capaces de arrancar electrones, ionizando átomos y moléculas.

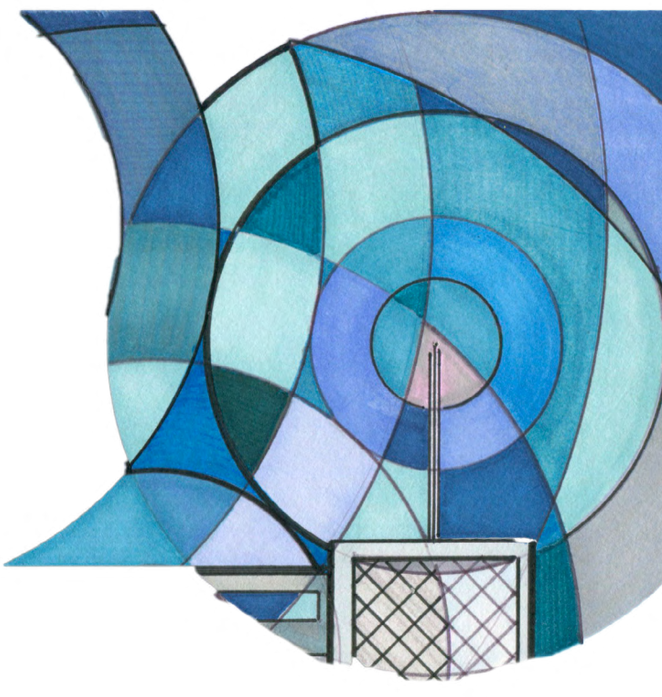
Esto significa que pueden dañar directamente las células y el material genético (ADN), lo que suele llevar a mutaciones y cáncer. Por esta razón nos protegemos con bloqueador solar contra los rayos UV y con delantales de plomo durante las radiografías. Su uso en medicina es estrictamente controlado para maximizar los beneficios (como diagnosticar una fractura o destruir un tumor) y minimizar los riesgos.

Radiación no ionizante: la energía de la vida cotidiana. Se encuentra en el extremo de baja energía del espectro. Aquí está la inmensa mayoría de los CEM con los que interactuamos diariamente:

- Campos de frecuencia extremadamente baja (ELF): generados por la corriente eléctrica de nuestros hogares (50/60 Hz), electrodomésticos y líneas de alta tensión.
- Radiofrecuencias y microondas: utilizadas por la radio, la televisión, el Wi-Fi, los teléfonos móviles (celulares), el bluetooth y los hornos microondas.

La característica principal de esta radiación es que su energía es insuficiente para arrancar electrones de los átomos o moléculas (para ionizar). Por lo tanto, no dañan directamente el ADN de nuestras células. Su efecto biológico, en exposiciones muy intensas, es el calentamiento de los tejidos (principio usado por el microondas.

La controversia social actual se centra, precisamente, en la exposición continua y a largo plazo a estos CEM no ionizantes de baja intensidad generados por nuestras tecnologías.



Una cara de la moneda: los potenciales riesgos y la evidencia científica

La preocupación pública no surge de la nada, sino de la comprensible intranquilidad que produce la exposición constante a algo que no podemos ver ni sentir. La ciencia ha abordado estas inquietudes mediante miles de estudios epidemiológicos y de laboratorio. Las principales áreas de investigación han sido:

Cáncer y leucemia infantil. El debate se avivó a partir de estudios que observaron una asociación estadística, aunque débil e inconsistente, entre vivir en proximidad inmediata a líneas de alta tensión (y, por tanto, a CEM de frecuencia extremadamente baja) y un riesgo ligeramente mayor de leucemia infantil. Es crucial entender los matices: "asociación" no significa "causa". Después de décadas de investigación, no se ha identificado un mecanismo biológico por el cual estos campos de baja energía inicien un cáncer.

Debido a esta asociación observada, pero en ausencia de un mecanismo causal demostrado, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), dependiente de la Organización Mundial de la Salud (OMS), clasificó los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja como "posiblemente carcinógenos para los humanos" (Grupo 2B). Esta categoría es importante entenderla: incluye agentes para los cuales hay evidencia limitada en humanos y menos que suficiente en animales de laboratorio. En esta misma categoría se encuentra, por ejemplo, el café o el aloe vera.

Para las radiofrecuencias (como las de los celulares), la IARC también las clasificó en el Grupo 2B, basándose en un estudio que sugería un aumento en el riesgo de un tipo específico de tumor cerebral (glioma) en usuarios muy intensivos que reportaron el mayor uso. Sin embargo, la evidencia global es limitada y no concluyente, y numerosos estudios posteriores no han podido replicar estos hallazgos de manera consistente.

Electrosensibilidad. Algunas personas reportan una variedad de síntomas como dolores de cabeza, insomnio, fatiga, mareos o problemas cutáneos, que atribuyen a la exposición a CEM de dispositivos electrónicos. Es fundamental afirmar que el sufrimiento de estas personas es real y no debe ser menospreciado. No obstante, los estudios científicos controlados, en los que los participantes no saben si están expuestos o no a un CEM real, no han logrado demostrar que exista una correlación consistente entre la exposición a estos campos y la aparición de los síntomas. La OMS sugiere que estos síntomas se deberían a otros factores ambientales (como la luz azul de las pantallas, el ruido o el estrés) o al "efecto nocebo" (el fenómeno psicológico por el cual la expectativa o el miedo a que algo nos hará daño, efectivamente genera síntomas reales).

El consenso científico y el mensaje más importante a destacar es que, hasta la fecha, no se ha podido demostrar de manera fehaciente que la exposición a CEM no ionizantes por debajo de los límites internacionales de seguridad establecidos (por organismos como la Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP)) cause daños a la salud a corto o largo plazo.

Estos límites incorporan amplios márgenes de seguridad para proteger a toda la población, incluidos los grupos más vulnerables.

Los CEM constituyen una dualidad, por un lado, están las inquietudes que han surgido sobre sus posibles efectos negativos en la salud humana, y al mismo tiempo destacan sus aplicaciones extraordinarias en el campo de la salud y comunicación inalámbrica

La otra cara de la moneda: el asombroso potencial terapéutico y tecnológico

Si una cara de la moneda genera dudas, la otra ofrece un potencial tan extraordinario que redefine qué es posible en medicina e ingeniería. Lejos de ser solo una fuente de preocupación, los CEM son herramientas fundamentales que salvan y mejoran
illones de vidas cada día.

Diagnóstico médico de precisión

Resonancia Magnética (RM). Esta técnica emplea poderosos imanes para generar un campo magnético constante miles de veces más fuerte que el terrestre y ondas de radio (ambos no ionizantes) para alinear los protones de los átomos de hidrógeno en nuestro cuerpo. Al "escuchar" cómo estos protones regresan a su estado original, una computadora construye imágenes tridimensionales detalladísimas de nuestros órganos internos. Es indispensable para diagnosticar tumores, esclerosis múltiple, lesiones deportivas y patologías cerebrales.



Tomografía por Emisión de Positrones (PET). Combina el uso de un marcador radiactivo (un azúcar ligeramente ionizante) que se inyecta en el paciente. La PET no muestra solo la anatomía, sino la función; permite visualizar el metabolismo celular, lo que es de suma importancia ya que las células cancerosas, metabólicamente muy activas, absorben más del marcador, brillando en la imagen permitiendo detectarlas.

También existen terapias revolucionarias como:
Ablación por Radiofrecuencia. Utiliza una corriente eléctrica de alta frecuencia que genera calor localizado de forma precisa para destruir tejidos anómalos. Es usada para eliminar tumores pequeños en el hígado, pulmones o riñones, y también para tratar arritmias cardíacas, "quemando" las pequeñas zonas del corazón que generan el ritmo anormal.

Terapia de Luz Pulsada Intensa (IPL) y Láser. Ambas emplean luz (un CEM) concentrada y de una longitud de onda específica para tratar afecciones dermatológicas. La luz es absorbida por objetivos específicos en la piel, como la hemoglobina de los vasos sanguíneos (para tratar lesiones vasculares) o la melanina (para eliminar manchas solares), permitiendo tratamientos estéticos y médicos con una invasividad mínima.

Los campos electromagnéticos pulsados (PEMF): una terapia sutil y regenerativa

Esta área representa una de las aplicaciones más fascinantes y menos conocidas de los CEM. A diferencia de los campos constantes, los PEMF emiten pulsos cortos y rítmicos de energía electromagnética de muy baja intensidad, diseñados para "conversar" o interactuar con los procesos electrofisiológicos naturales de nuestras células sin generar calor ni efectos adversos.

La premisa científica es que las células y tejidos sanos mantienen un potencial eléctrico específico a través de sus membranas.

Lesiones, inflamaciones o enfermedades crónicas alteran este equilibrio bioeléctrico. La hipótesis es que los PEMF actuarían como un "recordatorio" o un estímulo símil, ayudando a las células a restablecer su frecuencia y potencial eléctrico saludable, promoviendo así la autorregulación y la reparación.

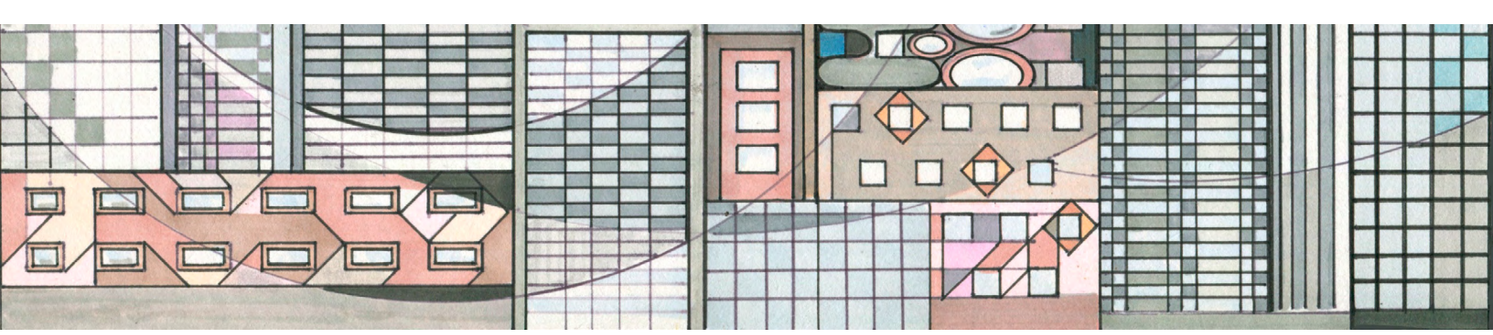
Sus aplicaciones, respaldadas por un creciente cuerpo de evidencia científica y aprobadas por agencias reguladoras como la Administración de Alimentos y medicamentos (FDA por sus siglas en inglés) de Estados Unidos, son notables:

Huesos que se niegan a sanar. Es la aplicación más consolidada. Los PEMF están aprobados específicamente para el tratamiento de fracturas que no consolidan (pseudoartrosis). Los pulsos electromagnéticos estimulan a las células formadoras de hueso (osteoblastos), promueven la angiogénesis (formación de nuevos vasos sanguíneos) y activan cascadas de señalización celular que conducen a la regeneración ósea.

Alivio del dolor y la inflamación. Numerosos estudios clínicos han demostrado que los PEMF reducen significativamente el dolor y la inflamación en afecciones como la osteoartritis de rodilla, el dolor lumbar crónico y la fibromialgia. Se cree que modulan la liberación de neurotransmisores y citocinas inflamatorias.

Aceleración de la cicatrización. En el tratamiento de úlceras diabéticas y heridas crónicas de difícil curación, los PEMF han mostrado ser eficaces. Al mejorar la microcirculación y estimular la actividad de los fibroblastos (células que generan colágeno), crean un ambiente propicio para que el tejido dañado se regenere.

Además de las aplicaciones consolidadas en ortopedia y manejo del dolor, la investigación con PEMF se aventura en territorios terapéuticos aún más complejos, como la oncología. Los estudios preliminares, sobre todo en modelos preclínicos, sugieren que ciertos patrones específicos de PEMF influirían en el comportamiento de las células cancerosas.





Los científicos exploran si estos campos de baja intensidad actúan como un "caballo de Troya" biológico,

no para destruir directamente el tumor —una hazaña que requiere la energía de la radiación ionizante—, sino para alterar sutilmente su microambiente. Las hipótesis plantean que los PEMF dificultarían la angiogénesis (la formación de nuevos vasos sanguíneos que el tumor necesita para crecer), inducir la apoptosis (muerte celular programada), o incluso aumentar la permeabilidad de las membranas celulares para mejorar la eficacia de los fármacos de quimioterapia, haciendo que los tratamientos convencionales sean más efectivos. Si bien esta línea de investigación es incipiente y se requiere más evidencia, representa una frontera prometedora donde la terapia electromagnética podría convertirse en un valioso coadyuvante en el tratamiento del cáncer, ofreciendo una estrategia complementaria de baja toxicidad.

Podemos decir que el impacto de los CEM se extiende mucho más allá del consultorio médico, como son la desinfección de agua y alimentos, ya que la luz ultravioleta (UV-C) es un potente germicida. Se utiliza ampliamente para desinfectar agua potable, superficies en hospitales, ambientes quirúrgicos y el empaque de alimentos, eliminando bacterias, virus y hongos sin necesidad de productos químicos; o las telecomunicaciones y navegación global. Toda nuestra comunicación inalámbrica, desde la radio y la televisión hasta el Wi-Fi, el GPS, el bluetooth y las redes 5G, depende de la transmisión y recepción de ondas de radio, un tipo de CEM no ionizante. Son la columna vertebral de la sociedad de la información.

Hacia una coexistencia informada y esperanzadora

El debate en torno a los CEM es un reflejo vívido de un principio fundamental de la ciencia moderna: la necesidad de sopesar la evidencia de manera crítica y constante, separando las percepciones de los hechos demostrados. Por un lado, tras décadas de investigación exhaustiva, no existen pruebas contundentes de que la exposición ambiental a CEM no ionizantes, dentro de los estrictos límites de seguridad internacionales, cause enfermedades.

La prudencia y la vigilancia deben continuar, pero el pánico infundado no tiene cabida.

Por otro lado, y de manera abrumadora, existen pruebas sólidas y tangibles de los enormes beneficios que los CEM aportan a la humanidad. Son herramientas de diagnóstico que ven lo invisible, terapias que reparan lo dañado y un puente de comunicación que une al mundo. Desde la resonancia magnética detecta un tumor a tiempo, hasta los PEMF que soldán un hueso fracturado o las ondas de radio que nos permiten acceder al conocimiento global, su potencial para el bien es inmenso.

El futuro de la investigación en este campo es brillante y prometedor. Los CEM son la base de tecnologías emergentes que hoy parecen ciencia ficción.

Los CEM no son ni buenos ni malos por naturaleza; son una herramienta poderosa, un componente fundamental del universo.

Nuestra tarea, como sociedad informada, es entenderlos, respetarlos y utilizarlos con sabiduría. La evidencia actual nos invita a la calma: convivir con nuestra tecnología es seguro. Pero también nos invita al asombro y a la curiosidad.

La ciencia es un proceso de descubrimiento continuo, y cada uno de nosotros puede ser parte de él. En este vasto y misterioso océano invisible de energía que nos rodea, el conocimiento científico es, y seguirá siendo, nuestro faro más confiable para navegar entre el miedo infundado y la esperanza bien fundamentada.

Referencias

Instituto Nacional del Cáncer. (2023). Campos electromagnéticos y cáncer. National Institutes of Health. https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/radiacion/campos-electromagneticos-hoja-informativa

Markov, M. S. (2007). Pulsed electromagnetic field therapy: history, state of the art and future. *The Environmentalist*, 27(4), 465-475. https://doi.org/10.1007/s10669-007-9128-2

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). Campos electromagnéticos y salud pública. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detailelectromagnetic-fields-and-public-health

U.S. Food and Drug Administration (FDA). (2020). Ablación por radiofrecuencia en cirugía. https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/rhythm-control-devies/radiofrequency-ablation-surgery

