



Informe sobre Radiofrecuencias y Salud (2020-2022)

Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS)

2023

© 2024 Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS).
Almagro, 2 1º Izqda., 28010 Madrid
comunicacion@ccars.org.es | ccars.org.es

Editado por: Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación (COIT)
Almagro, 2 1º Izqda., 28010 Madrid
secretariatecnica@ccars.org.es

Edición: Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS)
ISBN: 978-84-123218-8-3
Depósito Legal: M-2743-2024

Informe sobre Radiofrecuencias y Salud (2020-2022)

2023

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR EN RADIOFRECUENCIAS Y SALUD (CCARS)

Editado por el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación (COIT)

Índice de contenidos

	ÍNDICE DE TABLAS	07
	ÍNDICE DE FIGURAS	08
	PRESENTACIÓN	10
1	RESUMEN EJECUTIVO	15
2	METODOLOGÍA	20
3	ESTUDIOS EXPERIMENTALES DE EXPOSICIÓN PERSONAL A CEM-RF	20
	3.1. Introducción.....	23
	3.1.1. Revisiones sistemáticas en los últimos 5 años sobre exposición personal	24
	3.1.2. Metodología y determinación de la exposición.....	25
	3.1.3. Medida de la exposición en redes 5G.....	25
	3.1.4. Repercusión de los nuevos límites de ICNIRP en la exposición personal	27
	3.2. Objetivos	28
	3.3. Metodología.....	28
	3.3.1 Estrategia de búsqueda bibliográfica	28
	3.3.2. Criterios de inclusión y exclusión	30
	3.3.3. Extracción de datos.....	31
	3.4. Resultados	31
	3.4.1. Estudios de exposición personal	31
	3.4.2. Nuevas metodologías y dificultades a la hora de medir exposición a 5G.....	41
	3.5. Discusión y conclusiones	45
	3.5.1. Exposición personal a CEM-RF	45
	3.5.2. Evaluación de la exposición a CEM en entornos 5G	46
4	ESTUDIOS EXPERIMENTALES IN VIVO E IN VITRO	48
5	ESTUDIOS CLÍNICOS Y EPIDEMIOLÓGICOS	55
	5.1. Introducción.....	56
	5.2. CEM-RF carcinogénesis.....	57
	5.2.1. Resumen conclusiones del informe 2016-2019	57
	5.2.2. Estudios actuales.....	58
	5.2.3. Variables que han variado en el tiempo y pueden influir en los estudios.....	59
	5.2.4. CEM-RF y tumores del sistema nervioso central.....	63
	5.2.5. CEM-RF y otras neoplasias.....	74
	5.2.6. Conclusiones.....	79
	5.3. Efectos de los CEM-RF sobre la salud humana.....	79
	5.3.1. Conclusiones.....	88
	5.4. Hipersensibilidad electromagnética	88
	5.4.1. Conclusiones.....	91

5.5.	Agencias y comités internacionales.....	91
5.5.1.	Committee on Man and Radiation (COMAR).....	91
5.5.2.	NCI (National Cancer Institute) de EE. UU.....	91
5.5.3.	FDA 2020 (Food Drug Administration) de EE. UU.	91
5.5.4.	OMS (Organización mundial de la Salud).....	92
5.5.5.	ANSES (French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety).....	93
5.5.6.	Health Council of the Netherlands y 5G No. 2020/16e The Hague, September 2, 2020. ...	94
5.5.7.	Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC por su sigla en inglés)	95
5.5.8.	ARPANSA (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency).....	96
5.5.9.	Consejo Científico sobre Campos Electromagnéticos de SSM autoridad Sueca de Seguridad Radiológica	97
5.5.10.	Conclusiones	98
5.6.	Protocolos de estudios sistemáticos y metaanálisis en marcha	99
5.7.	Nota sobre la metodología del presente capítulo	102

6

REVISIÓN DE LOS LÍMITES A LA EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE RADIOFRECUENCIA ICNIRP 2020, NORMATIVA DE EXPOSICIÓN PARA TRABAJADORES, SCHEER, NORMA IEC 62232

103

6.1.	Revisión de los límites a la exposición personal a campos electromagnéticos de radiofrecuencia ICNIRP 2020	104
6.1.1.	Introducción.....	104
6.1.2.	Cambios técnicos en las restricciones básicas	105
6.1.3.	Cambios técnicos en los niveles de referencia.....	108
6.1.4.	Exposición a múltiples fuentes.....	112
6.1.6.	Conclusiones.....	113
6.2.	Niveles de exposición, recomendaciones y normativa para trabajadores	115
6.3.	Revisión dictamen SCHEER 2022.....	122
6.4.	Revisión Norma IEC 62232.....	124
6.4.1.	Caso A: medidas de banda ancha.....	126
6.4.2.	Caso B: equipos selectivos en frecuencia	126
6.4.3.	Extrapolación a máximo de exposición	127

7

PERCEPCIÓN DEL RIESGO

128

7.1	Introducción.....	129
7.2.	Desinformación: 5G y pandemia COVID-19	130
7.3.	Metodología.....	133
7.3.1.	Estrategia de búsqueda bibliográfica	133
7.3.2.	Criterios de inclusión y exclusión	133
7.3.3.	Extracción de datos	133
7.4.	Resultados	134
7.4.1.	Riesgo percibido y conocimientos sobre CEM-RF	134
7.4.2.	Riesgo percibido y acceso a medidas de exposición de Wi-Fi	136
7.4.3.	Riesgo percibido y ubicación del terminal móvil.	137
7.5.	Discusión y conclusiones	137

8	CONCLUSIONES	140
8.1.	Estudios Experimentales de Exposición Personal a CEM-RF	141
8.1.1.	Exposición personal a CEM-RF	141
8.1.2.	Evaluación de la Exposición a CEM en Entornos 5G	141
8.2.	Estudios Experimentales in vivo e in vitro	142
8.3.	Estudios Clínicos y Epidemiológicos.....	143
8.3.1.	Tumores del sistema nervioso central	143
8.3.2.	Efectos de los CEM-RF sobre la salud humana.....	143
8.3.3.	Hipersensibilidad electromagnética.	144
8.4.	Revisión de los límites a la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia ICNIRP (2020), normativa de exposición para trabajadores, SCHEER, Norma IEC 62232.....	144
8.4.1.	Revisión de los límites a la exposición a CEM-RF ICNIRP (2020).....	144
8.4.2.	Niveles de exposición, recomendaciones y normativa para trabajadores	145
8.4.3.	Revisión dictamen SCHEER (2022)	146
8.4.4.	Revisión Norma IEC 62232.....	147
8.5.	Percepción del Riesgo.....	148
9	RECOMENDACIONES	150
10	RECOMENDACIONES INFORME CCARS (2017-2019)	152
11	BIBLIOGRAFÍA POR CAPÍTULOS	155
11.1.	Estudios experimentales de exposición personal	156
11.2.	Estudios experimentales in vitro e in vivo	161
11.3.	Estudios clínicos y epidemiológicos.....	164
11.4.	Revisión de niveles de exposición ICNIRP 2020, normativa para trabajadores, SCHEER y norma IEC 62232	171
11.5.	Percepción del riesgo.....	173
12	SIGLAS Y ACRÓNIMOS	176

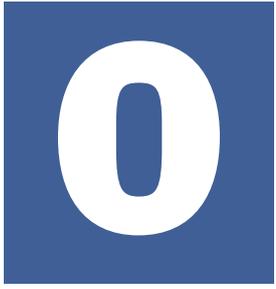
Índice de Tablas

Tabla 3.1.	Estudios de evaluación de la exposición a CEM-RF incluidos en la revisión sistemática (ordenados por año de publicación).	30
Tabla 3.2.	Resumen de hallazgos generales y características de los estudios incluidos en la revisión sistemática.	38
Tabla 3.3.	Estudios de metodologías, nuevas experiencias, estimaciones, etc. de la exposición personal en redes 5G.	44
Tabla 6.1.	Resumen de los tipos de tejidos y regiones del cuerpo establecidas en ICNIRP 2020.	104
Tabla 6.2.	Umbral de temperatura para el cuerpo entero y para exposición local.	106
Tabla 6.3.	Restricciones básicas para exposición a CEM-RF de 100 kHz a 300 GHz, para intervalos de promediado \geq 6 minutos. Exposición a cuerpo entero.	107
Tabla 6.4.	Restricciones básicas para exposición a CEM-RF de 100 kHz a 300 GHz, para intervalos de promediado \geq 6 minutos. Exposición local en el cuerpo, en cabeza y torso y en extremidades.	107
Tabla 6.5.	Restricciones básicas para exposición a CEM-RF de 100 kHz a 300 GHz, para intervalos de promediado >0 a <6 minutos.	108
Tabla 6.6.	Niveles de referencia para exposición, promediada durante 30 minutos y para todo el cuerpo, a CEM-RF de 30 MHz a 300 GHz.	109
Tabla 6.7.	Niveles de referencia para exposición local, promediada durante 6 minutos, a CEM-RF de 30 MHz a 300 GHz.	110
Tabla 6.8.	Niveles de referencia para exposición local, promediada en intervalos de entre >0 y <6 minutos, a CEM-RF de 400 MHz a 300 GHz.	111
Tabla 6.9.	Comparativa entre los niveles de referencia aplicables al público en general según ICNIRP 2020 y ICNIRP 1998 para frecuencias superiores a 400 MHz.	114
Tabla 6.10.	Normativa aplicable sobre exposición a emisiones electromagnéticas.	123
Tabla 7.1.	Estudios de evaluación del riesgo a la exposición a CEM-RF incluidos en la revisión sistemática (ordenados por año de publicación).	134

Índice de Figuras

Figura 3.1.	Diagrama de flujo que muestra las búsquedas en bases de datos, el número de publicaciones identificadas, cribadas y los textos completos finales incluidos en la presente revisión sistemática.	29
Figura 5.1.	Evolución de los dispositivos IoT.	56
Figura 5.2.	Fuente GSMA, (Global System for Mobile Communications).	59
Figura 5.3.	Evolución del equipamiento TIC (Tecnología de información y comunicación) en los hogares. Porcentaje de hogares con algún miembro de 16 a 74 años y equipamiento. Fuente: INE (Instituto Nacional de Estadística) 29 de noviembre de 2022.	60
Figura 5.4.	Incremento de las unidades de Resonancia Magnética en Europa 2010-2020. Fuente: Eurostat.	61
Figura 5.5.	Evolución de la esperanza de vida al nacimiento. España Datos del INE Serie 1991-2020 (publicada en agosto 2022).	62
Figura 5.6.	Tasas de incidencia anuales ajustadas por edad de todos los tumores cerebrales primarios y otros tumores del sistema nervioso central por año y comportamiento, Informe estadístico CBTRUS: Estadísticas de cáncer de EE. UU. - NPCR y SEER, 2015-2019.	67
Figura 5.7.	Las variaciones son mínimas a lo largo de los años, pero entre 65 y 84 años se produce la mayor incidencia. Ostrom QT et al., 2020, 2021, 2022.	68
Figura 5.8.	RM T1 axial con gadolinio. Diagnóstico precoz de un schwannoma vestibular izdo intracanalicular y mínimo componente cisternal: tumor (rosa), cóclea (malva), nervio facial (azul), protuberancia (verde). La mayoría de estos casos se mantienen en observación.	70
Figura 5.9.	Tasas de incidencia de glioma estandarizadas por edad en Canadá para hombres y mujeres y número estimado de suscriptores de teléfonos celulares entre 1985 y 2015.	72
Figura 5.10.	Incidencia de cáncer de parótida en adultos (20+ años) y de otras glándulas salivares en Australia de 1982 a 2016. Kapiroidis et al, (2021).	78
Figura 5.11.	La calidad de la ciencia.	87
Figura 6.1.	Comparación de niveles de referencia (intensidad de campo eléctrico, densidad de potencia e intensidad de campo magnético) en ICNIRP-1998 e ICNIRP-2020. Cuerpo entero. Público general. Promedio de 6 min (ICNIRP 1998) y 30 min (ICNIRP 2020).	117
Figura 6.2.	Metodología general para la evaluación de la exposición a CEM, según Guía INSST para aplicación del RD 299/2016.	118
Figura 6.3.	Comparación de niveles de referencia (intensidad de campo eléctrico, densidad de potencia e intensidad de campo magnético) en ICNIRP-1998 e ICNIRP-2020 tanto para público general como para trabajadores. Cuerpo entero. Promedio de 6 min (ICNIRP-1998) y 30 min (ICNIRP-2020).	120

Figura 6.4.	Comparación de niveles de referencia (ICNIRP-1998, ICNIRP-2020) y niveles de acción (RD 299/2016) de la intensidad de campo eléctrico. Cuerpo entero.....	121
Figura 6.5.	Comparación de niveles de referencia (ICNIRP-1998, ICNIRP-2020) y niveles de acción (RD 299/2016) de la densidad de potencia. Cuerpo entero.....	121
Figura 6.6.	Comparación de niveles de referencia (ICNIRP-1998, ICNIRP-2020) y niveles de acción (RD 299/2016) de la intensidad de campo magnético. Cuerpo entero.....	122
Figura 6.7.	Diagrama de flujo de la evaluación in-situ de estaciones RF, contemplando diferentes metodologías de medida. Entre paréntesis se indica los capítulos de la norma IEC 62232 donde se detalla.	125
Figura 6.8.	Ejemplo de variación en 24h de la potencia producida por una estación 5G, normalizada al valor medio.....	126
Figura 7.1.	Diagrama de flujo que muestra las búsquedas en bases de datos, el número de publicaciones identificadas, cribadas y los textos completos finales incluidos en la presente revisión sistemática.	132



Presentación



El Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS) ha mantenido desde su creación un compromiso firme con la evaluación y comunicación objetiva sobre el posible impacto de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) en la salud. En un contexto donde la tecnología y las comunicaciones avanzan rápidamente, es esencial proporcionar a la sociedad y a las administraciones información basada en evidencia científica rigurosa.

Este nuevo informe constituye el séptimo informe sobre radiofrecuencias y salud y en él se revisa la evidencia científica publicada en los años 2020, 2021 y 2022. El informe se estructura en cinco capítulos esenciales que abarcan desde estudios experimentales de exposición personal hasta la percepción del riesgo por parte de la sociedad, una revisión de los límites de exposición y estudios in vivo e in vitro, así como estudios clínicos y epidemiológicos.

Durante este trienio 2020-2022, el CCARS ha continuado su labor de análisis y evaluación, respondiendo a las inquietudes de administraciones locales y regionales y publicando documentos esenciales. En febrero de 2020, el CCARS emitió **un informe sobre 5G y salud, concluyendo que los niveles de exposición previsibles con la tecnología 5G no superarían los límites máximos permitidos** que garantizan la salud pública. En septiembre de 2021, se elaboró **un documento de posicionamiento en respuesta al informe técnico del Joint Research Centre (JRC) de la Comisión Europea**, reafirmando que no se observa una correlación significativa entre la ocurrencia de tumores y las comunicaciones móviles. Además, en noviembre de 2021, el CCARS publicó **un documento sobre los efectos de las emisiones de las antenas de telefonía móvil en la salud**, destacando la importancia de considerar la calidad científica de los estudios publicados.

Estos años han supuesto un reto particularmente complejo a nivel global. En marzo de 2020, la Organización Mundial de la Salud declaró una pandemia debido al síndrome respiratorio agudo severo causado por el SARS-CoV-2. Y, junto con esta terrible crisis sanitaria, emergió una crisis de desinformación en innumerables ámbitos de la sociedad. En particular, se propagaron teorías de conspiración que vinculaban erróneamente el despliegue de las redes 5G con la propagación del coronavirus. Estas teorías, sin base científica, llevaron a actos vandálicos, como el incendio intencionado de más de 330 estaciones base de telefonía móvil en más de 20 países.

A pesar de los esfuerzos de organizaciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Comisión Europea (CE) por desmentir estos bulos, la desinformación encontró un terreno fértil en las redes sociales. Hashtags como #5GCoronavirus se volvieron tendencia, y la rapidez con la que se propagaban estas teorías complicó los esfuerzos para combatirlas. Es preocupante que, en algunos casos, estas desinformaciones fueran respaldadas por supuestas evidencias científicas, aunque muchas de ellas fueron posteriormente retractadas por falta de rigor. Ante este panorama, el CCARS ha trabajado para desmentir estos mitos y proporcionar información basada en evidencia con más de 50 bulos desmentidos en colaboración con distintas plataformas de verificación y numerosos medios de comunicación. Actualmente se recopilan en su web en la sección “Maldita radiofrecuencia” (<https://ccars.org.es/noticias-home/maldita-radiofrecuencia-noticias-lateral>).

La propagación de estas teorías conspirativas no es un fenómeno nuevo. Con cada nueva generación de telefonía móvil, han surgido falsas alertas y teorías sin fundamento. Sin embargo, el contexto de la pandemia y la polarización en las redes sociales amplificaron su impacto. Es esencial abordar el problema de las noticias falsas y promover la alfabetización científica y el buen uso de las redes sociales para reducir la polarización y el miedo infundado en la sociedad.

Durante el período 2020-2022, se han llevado a cabo numerosos estudios centrados en la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia, especialmente en el contexto de las redes 5G. Estos estudios, que abarcan desde mediciones en áreas urbanas hasta entornos específicos como escuelas y hospitales, han utilizado una diversidad de herramientas y metodologías, lo que ha planteado cuestiones sobre la comparabilidad de los resultados. A pesar de la variabilidad en los métodos y contextos, la conclusión general es que los niveles actuales de exposición están por debajo de los límites de seguridad establecidos. Sin embargo, se ha identificado una variabilidad significativa en la exposición, dependiendo del tiempo y el lugar, lo que aconseja continuar investigando. Paralelamente, en el ámbito de las redes 5G, se constata la falta de métodos estandarizados para medir y evaluar la exposición. A pesar de los avances significativos en la comprensión y medición de la exposición, la rápida evolución de las tecnologías 5G y la especificidad de muchos de estos estudios sugieren que es necesario desarrollar métodos más precisos y ampliamente aplicables.

La revisión exhaustiva de investigaciones in vivo e in vitro sobre los efectos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia revela una marcada heterogeneidad metodológica, resultando en hallazgos dispares y no definitivos. La necesidad de metodologías rigurosas, detalladas y reproducibles es imperativa para garantizar resultados consistentes y confiables. Es esencial documentar meticulosamente tanto los aspectos electromagnéticos como los biológicos en estos estudios, y se han propuesto incluso herramientas específicas para este fin. Además, es crucial considerar las condiciones y controles biológicos, dado que estamos tratando con sistemas adaptativos complejos y, en ocasiones, es complicado discernir si los efectos observados son resultado de la exposición o de la naturaleza intrínseca del sistema en estudio. En resumen, a pesar de los esfuerzos investigativos recientes, aún no es posible establecer conclusiones definitivas sobre los efectos adversos en la salud humana, y específicamente, no se ha demostrado daño en el ADN como indicador de posible carcinogenicidad tras la exposición a radiofrecuencia.

Con respecto a la revisión de estudios clínicos y epidemiológicos, a pesar de los numerosos estudios realizados en este ámbito, las conclusiones siguen siendo, en muchos casos, no concluyentes y sujetas a interpretaciones diversas. Esta revisión ha buscado consolidar la evidencia científica actual sobre la relación entre CEM-RF y salud, abordando específicamente temas como el cáncer, otros efectos sobre la salud, la hipersensibilidad electromagnética y las directrices de organismos oficiales nacionales e internacionales. Con el objetivo de proporcionar una visión clara y actualizada, se han considerado tanto investigaciones recientes como hallazgos anteriores, y se ha puesto especial énfasis en la rigurosidad y objetividad de las fuentes consultadas. Así, la evidencia científica actual sugiere que, bajo los límites de exposición establecidos, los CEM-RF no presentan un riesgo significativo para la salud humana. Sin embargo, es esencial continuar con investigaciones rigurosas y objetivas, especialmente en áreas emergentes como la tecnología 5G, para garantizar la seguridad y abordar las preocupaciones públicas de manera efectiva.

En marzo de 2020, la Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) publicó nuevas directrices para la protección de las personas contra la exposición a CEM-RF en el rango de 100 kHz-300 GHz. Estas directrices, que se basan en una revisión exhaustiva de la literatura científica, reemplazan las directrices anteriores de 1998 y se espera que sean adoptadas gradualmente por la mayoría de los países. Las directrices de 2020 introducen nuevas categorizaciones y límites para diferentes tejidos y partes del cuerpo, así como para diferentes tiempos de exposición. Estos límites se dividen en restricciones básicas, relacionadas con cantidades físicas dentro del cuerpo, y niveles de referencia, que son medidas externas derivadas de las restricciones básicas. Estos últimos proporcionan una forma más práctica de evaluar la exposición.

Además, se espera que la OMS publique en febrero de 2024 una monografía titulada Criterios de Salud Ambiental (EHC).

En el ámbito de las instituciones de la Unión Europea, el SCHEER (Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks) (Comité Científico para los Riesgos Sanitarios, Medioambientales y Emergentes) que es uno de los comités científicos independientes que proporcionan a la Comisión Europea el asesoramiento científico necesario para elaborar políticas y propuestas relacionadas con la seguridad de los consumidores, la salud pública y el medio ambiente, publicó en 2022 un dictamen sobre la necesidad de actualizar las recomendaciones anteriores en relación con los CEM-RF, basándose en las últimas pruebas científicas disponibles y en las directrices la ICNIRP 2020. Este comité aconsejó una actualización técnica de las directrices anteriores para garantizar una protección más eficaz contra las aplicaciones tecnológicas emergentes de los CEM-RF. El SCHEER tiene la responsabilidad de abordar preguntas multidisciplinarias en el ámbito de la salud, el medio ambiente y los riesgos emergentes no cubiertos por otros comités científicos de la Comisión.

Por su parte, la Organización de Normalización Internacional actualizó en 2023 la norma IEC 62232, que proporciona pautas para determinar la intensidad del campo de radiofrecuencia cerca de las estaciones base para incluir sistemas 5G. Esta norma detalla cómo llevar a cabo mediciones, ya sea utilizando equipos de banda ancha o equipos selectivos en frecuencia, para evaluar la exposición humana a la radiación de radiofrecuencia.

Este nuevo informe CCARS tienen en cuenta todo lo anterior para ofrecer un contexto actualizado en el campo de los CEM-RF y la salud. Hay que recordar que en España la regulación sobre emisiones radioeléctricas se basa en el Real Decreto 1066/2001, que establece restricciones y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas para la población en general. Esta normativa se basa en la Recomendación de la UE de 12 de julio de 1999 y en las recomendaciones de ICNIRP de 1998. La protección de los trabajadores expuestos a radiofrecuencias, que ha sido abordada en normativa europea y española específica, también se presentan y comentan en este informe.

En definitiva, el CCARS reafirma su compromiso con la **salud pública**, proporcionando **información clara y veraz**, basada en la evidencia científica sobre los riesgos y beneficios asociados con las radiofrecuencias. Con este informe, el CCARS busca continuar siendo una fuente confiable y objetiva de información en un campo de estudio en constante evolución al servicio de administraciones, instituciones, sector industrial y sociedad en general.

Actualmente, la composición del Comité es la siguiente:

- Presidente: **Francisco Javier Lafuente Martínez**, jefe de Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital General Universitario Gregorio Marañón de la Comunidad Autónoma de Madrid.
- Presidente de Honor: **Antonio Hernando Grande**, catedrático de magnetismo de la Universidad Complutense de Madrid desde 1980 y fundador del CCARS.
- Directores Científicos: **Alberto Nájera López**, profesor Contratado Doctor en el área de “Radiología y Medicina Física” del Departamento de Ciencias Médicas de la Universidad de Castilla-La Mancha desde 2010 y Coordinador de la Unidad de Cultura Científica y de la Innovación de la Universidad de Castilla-La Mancha y **Rosa Magallón de Sebastián**, médico especialista del Servicio de Oncología Radioterápica de la Clínica Puerta de Hierro de Madrid desde julio de 1988 hasta mayo de 2023.

Vocales:

- **Concepción García Pardo**, investigadora senior del Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (iTEAM) de la Universitat Politècnica de València.
- **Fernando Las-Heras Andrés**, Catedrático de Universidad en el área de conocimiento de “Teoría de la Señal y Comunicaciones” del Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica de Comunicaciones y Sistemas en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Oviedo.
- **José Ignacio Alonso Montes**, Catedrático de Universidad en el área de “Teoría de la señal y comunicaciones” en el Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones de la Universidad Politécnica de Madrid.
- **Miguel Ángel García García-Tuñón**, investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Aunque el CCARS asume la responsabilidad colectiva del contenido de este informe, la redacción de sus diferentes capítulos es responsabilidad de su autor o autores y no representan, necesariamente, la posición de la institución para la que trabajan.



Resumen Ejecutivo

Executive summary



El presente informe CCARS realiza una revisión exhaustiva de la evidencia científica referente a los posibles efectos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) sobre la salud humana en el periodo 2020 a 2022. Este trabajo actualiza los informes anteriores, y vuelve a constatar la ausencia de pruebas concluyentes de riesgo para la salud dentro de los límites establecidos por normativas y directrices, como las de la ICNIRP.

En esta edición, se ha adoptado un enfoque metodológico diverso a lo largo de los diferentes capítulos. Por primera vez, se ha incluido la evaluación de bibliografía mediante una revisión sistemática siguiendo el protocolo Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) en los capítulos relativos a estudios de exposición personal y de percepción del riesgo. En los capítulos de estudios in vivo e in vitro, así como los estudios clínicos y epidemiológicos, se ha optado, dada su amplitud y complejidad, por utilizar metodologías similares a revisiones de alcance.

En el campo de la exposición personal a CEM-RF y los entornos 5G, el informe destaca la heterogeneidad de metodologías y mediciones. Se han analizado estudios que abarcan desde áreas urbanas hasta hospitales, utilizando herramientas como analizadores de espectro y exposímetros personales. A pesar de que **los niveles de exposición se mantienen por debajo de los límites recomendados, respetando la normativa en cada caso**, se evidencia una notable variabilidad en cuanto a metodologías y registros, lo que pone de manifiesto la necesidad de un enfoque más homogéneo para una evaluación más precisa.

En el ámbito de los estudios experimentales in vivo e in vitro, se ha progresado significativamente en la comprensión de los posibles efectos de los CEM-RF, incluyendo aspectos como la carcinogénesis y la genotoxicidad. Los resultados de estos estudios son variados y algunos no concluyentes, indicando que la mayoría no muestra efectos negativos significativos en la salud humana a los niveles de exposición habituales.

Los estudios clínicos y epidemiológicos no han reportado cambios significativos en los efectos sobre la salud humana en comparación con informes anteriores. Aunque se han observado variaciones en la incidencia de ciertos tumores (sistema nervioso, tiroides, etc.) hasta el momento no se ha establecido una relación directa con el uso de la telefonía móvil y podrían deberse a otros factores como la mejora del diagnóstico, seguimiento, envejecimiento de la población, otros factores ambientales, etc. La hipersensibilidad electromagnética sigue siendo un tema de interés, pero carece de evidencia clara de una relación causal con la exposición a CEM-RF y no está reconocida, así, como enfermedad por las autoridades sanitarias.

Las agencias y comités internacionales mantienen que, según el conocimiento actual, no existe un vínculo demostrado entre la exposición a CEM-RF y riesgos significativos para la salud, siempre que se respeten las normativas y recomendaciones de las instituciones con competencia en la materia (OMS, UE, ICNIRP...). No obstante, como en cualquier otro ámbito de la actividad humana, es relevante continuar investigando, especialmente en lo que respecta a tecnologías emergentes y de amplia utilización como la 5G.

El informe también resalta la relevancia de estudios a largo plazo y proyectos internacionales en curso, como el Estudio COSMOS y proyectos de la OMS, que son fundamentales para alcanzar un consenso científico internacional. Además, se abordan las actualizaciones en las directrices de la ICNIRP 2020 y se analizan las regulaciones y normativas aplicables en diversos contextos.

Finalmente, se ha examinado la percepción del riesgo asociado a los CEM-RF, destacando la influencia de factores subjetivos y psicológicos. Se enfatiza la necesidad de estrategias de comunicación efectivas y basadas en evidencia científica para abordar las preocupaciones del público.

En conclusión, este informe CCARS proporciona una visión exhaustiva y actualizada sobre los estudios de CEM-RF y sus posibles efectos sobre la salud humana, resaltando la importancia de la investigación continua y rigurosa. De la evaluación del estado de la ciencia y valorando todos los estudios analizados, cabe deducir que no se identifican efectos adversos significativos sobre la salud humana y se enfatiza la necesidad de mantener un monitoreo y evaluación constantes de todas las tecnologías de telecomunicaciones móviles, incluido la 5G. La colaboración internacional y el consenso científico serán esenciales para informar futuras políticas de salud pública y recomendaciones de seguridad.

Executive summary

The present CCARS report conducts a comprehensive review of the scientific evidence regarding the potential effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF) on human health during the period from 2020 to 2022. This work updates previous reports and reaffirms the absence of conclusive evidence of health risks within the limits established by regulations and guidelines, such as those of the ICNIRP.

In this edition, a diverse methodological approach has been adopted across different chapters. For the first time, the evaluation of literature through a systematic review following the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) protocol has been included in chapters related to personal exposure and risk perception studies. In the chapters on in vivo and in vitro studies, as well as clinical and epidemiological studies, methodologies similar to scope reviews have been used, given their breadth and complexity.

In the field of personal exposure to RF-EMF and 5G environments, the report highlights the heterogeneity of methodologies and measurements. Studies ranging from urban areas to hospitals have been analysed, using tools such as spectrum analysers and personal exposimeters. Although exposure levels remain below the recommended limits, complying with the regulations in each case, there is notable variability in methodologies and records, highlighting the need for a more homogeneous approach for more accurate assessment.

In the area of experimental in vivo and in vitro studies, significant progress has been made in understanding the potential effects of RF-EMF, including aspects such as carcinogenesis and genotoxicity. The results of these studies are varied, and some are inconclusive, indicating that most do not show significant negative effects on human health at usual exposure levels.

Clinical and epidemiological studies have not reported significant changes in health effects compared to previous reports. Although variations in the incidence of certain tumours (nervous system, thyroid, etc.) have been observed, to date a direct relationship with the use of mobile telephony has not been established and could be due to other factors such as improved diagnosis, follow-up, aging of the population, other environmental factors, etc. Electromagnetic hypersensitivity continues to be a topic of interest but lacks clear evidence of a causal relationship with RF-EMF exposure and is not recognized as a disease by health authorities.

International agencies and committees maintain that, according to current knowledge, there is no proven link between RF-EMF exposure and significant health risks, as long as the regulations and recommendations of competent institutions (WHO, EU, ICNIRP, etc.) are respected. However, as in any other area of human activity, it is relevant to continue researching, especially with regard to emerging and widely used technologies such as 5G.

The report also highlights the relevance of long-term studies and ongoing international projects, such as the COSMOS Study and WHO projects, which are fundamental to achieving international scientific consensus. In addition, updates to the ICNIRP 2020 guidelines are addressed, and the regulations and norms applicable in various contexts are analysed.

Finally, the report examines the perception of risk associated with RF-EMF, highlighting the influence of subjective and psychological factors. The need for effective communication strategies based on scientific evidence to address public concerns is emphasized.

In conclusion, this CCARS report provides a comprehensive and updated overview of RF-EMF studies and their potential effects on human health, highlighting the importance of ongoing and rigorous research. From the evaluation of the state of science and considering all the studies analysed, it can be deduced that no significant adverse effects on human health are identified, and the need to maintain constant monitoring and evaluation of all mobile telecommunications technologies, including 5G, is emphasized. International collaboration and scientific consensus will be essential to inform future public health policies and safety recommendations.”

2

Metodología



Informes previos realizados por el Comité, han seguido una metodología de "revisión de alcance" o "scope review", tal como lo describen Manchado Garabito et al. (2009). La característica clave de esta metodología es su enfoque en la calidad de los estudios evaluados. Solo aquellos estudios que cumplen con un alto estándar de calidad metodológica, según los criterios aceptados por la comunidad científica, eran incluidos. Esto significaba que los estudios de baja calidad encontrados en la búsqueda inicial eran descartados.

Esta metodología se ha aplicado en los capítulos 4 y 5 del presente informe. Para la selección de publicaciones, se ha dado prioridad a artículos científicos sometidos a revisión previa y a informes de revisiones de entidades científicas y de estandarización. También se han tenido en cuenta informes técnicos de comités técnicos de prestigio. Las bases de datos consultadas incluyen IEEE Xplore, EMF Portal, Scopus, Pubmed, Web of Science y ResearchGate, utilizando una variedad de palabras clave relevantes para cada sección del informe. En cada capítulo se indica la metodología y los términos de búsqueda utilizados.

El informe destaca el alto número de referencias sobre la exposición a campos electromagnéticos en tecnologías como la 5G y la creciente cantidad de literatura sobre exposición acumulativa de diferentes fuentes. La selección de las referencias bibliográficas se ha basado en publicaciones de revistas con revisión por pares. Además, se han considerado referencias de organizaciones y organismos internacionales de renombre en el campo científico, técnico y de estandarización, tales como ICNIRP, IEEE, OMS, ITU, FCC, ARPANSA y SCENIHR, especialmente en el capítulo 5.

Los capítulos 3 y 7 se han realizado aplicando la metodología PRISMA para revisiones sistemáticas, lo que facilita la reproducibilidad de los hallazgos aportados. En ambos, se recoge un apartado específico con las cadenas de búsqueda y bases de datos bibliográficas utilizadas.

En resumen, el informe se centra en evidencias científicas de alta calidad obtenidas de diferentes estudios, observacionales, medidas de exposición personal, percepción del riesgo, clínicos y epidemiológicos.

3

Estudios Experimentales de Exposición Personal a CEM-RF



3.1. Introducción

En las últimas décadas, el gran desarrollo y expansión de las tecnologías inalámbricas de telecomunicación, ha generado preocupación pública y debate científico sobre los posibles efectos de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) sobre la salud humana.

El Consejo de la Unión Europea, basándose en las directrices de la Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), publicó en 1999 la Recomendación 1999/519/CE (CE, 1999) relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos. En España, el Real Decreto 1066/2001 (2001) establece condiciones de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas, centrándose en las ondas electromagnéticas utilizadas en telecomunicaciones. En 2021, el Ministerio de Sanidad publicó el Plan Estratégico de Salud y Medioambiente (PESMA) (Ministerio de Sanidad, 2021) en el que se incluyen los campos CEM-RF (radio, telefonía móvil 5G, Wi-Fi, etc.) entre los factores a identificar, evaluar y controlar sus efectos sobre la salud humana.

La ICNIRP, organización no gubernamental reconocida por la Organización Mundial de la Salud (OMS), evalúa continuamente los estudios científicos globales para establecer límites de exposición recomendados. En 2020, publicó una guía actualizada que incorpora los estudios más recientes, tanto experimentales como clínicos y epidemiológicos y actualizó las recomendaciones con respecto a los niveles máximos de exposición personal (ICNIRP, 2020). Además, la OMS concluyó que las exposiciones a niveles de CEM inferiores a los límites recomendados no producen ninguna consecuencia conocida sobre la salud (OMS, 2016).

No obstante, en agosto de 2022, el Comité Científico de Salud, Medio Ambiente y Riesgos Emergentes (SCHEER), comité consultivo que evalúa cuestiones relacionadas con la salud y el medio ambiente para la Comisión Europea, publicó un dictamen (SCHEER, 2022) en el que ofrece una opinión detallada sobre la necesidad de revisar las directrices y recomendaciones existentes en relación con la exposición a CEM-RF, especialmente en el contexto de tecnologías emergentes como la 5G. El documento examina las últimas evidencias científicas disponibles, incluidas las directrices actualizadas de la ICNIRP, y aborda cuestiones como los niveles de exposición en diferentes entornos y poblaciones, así como la necesidad de estudios adicionales para garantizar la seguridad pública.

Por este motivo, muchos estudios evalúan los niveles de exposición personal a CEM-RF, sobre todo al tiempo que tiene lugar el despliegue de la quinta generación de telefonía móvil (5G), que utilizará las bandas de frecuencia de 700 MHz, 3,5 GHz y 26 GHz. Para estas bandas de frecuencia se han fijado niveles de referencia establecidos para el público general en 3,5 W/m², 10 W/m² y 10 W/m², respectivamente. Estos niveles de referencia son comparables a los que ya existen para otras frecuencias y, aunque no se espera que las tecnologías emergentes incrementen los niveles de emisión, será necesario llevar a cabo estudios adicionales para asegurar su cumplimiento. Estas nuevas frecuencias requieren de nuevas metodologías y protocolos de medida y evaluación (Bechta et al., 2022; Bonato, Dossi, Chiaramello, Fiocchi, Gallucci, et al., 2021; Brzozek et al., 2021; Gallucci et al., 2022; Velghe et al., 2021).

El último informe anual sobre la exposición del público en general a las emisiones radioeléctricas de estaciones de radiocomunicación realizado durante el año 2022 recoge un valor medio de exposición personal en España inferior a 1 µW/cm² (Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, 2022).

Este capítulo tiene como objetivo revisar sistemáticamente las publicaciones científicas en el periodo 2020-2022 sobre exposición personal a CEM-RF en el contexto de estas directrices y legislaciones y despliegue de la tecnología 5G.

3.1.1. Revisiones sistemáticas en los últimos 5 años sobre exposición personal

El protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Moher et al., 2015) es un conjunto de pautas diseñadas para mejorar la claridad, transparencia y calidad de la información presentada en revisiones sistemáticas y metaanálisis. Este protocolo proporciona un marco estructurado que ayuda a los investigadores a planificar y reportar los métodos y resultados de su revisión de manera coherente y completa. El uso del protocolo PRISMA en revisiones sistemáticas ofrece múltiples ventajas que contribuyen a la integridad y calidad de la investigación científica. Al seguir un conjunto estandarizado de pautas, se asegura una uniformidad y consistencia en el abordaje de todos los aspectos relevantes de la revisión, lo que a su vez facilita la comparación y el contraste entre diferentes estudios. Además, PRISMA promueve una transparencia rigurosa tanto en la metodología como en los resultados, permitiendo a otros investigadores, profesionales y responsables políticos evaluar de manera efectiva la calidad y fiabilidad de la revisión. Esta transparencia también mejora la credibilidad y el rigor del estudio, demostrando que se ha llevado a cabo con un alto grado de rigor científico. Al adherirse a PRISMA, los investigadores tienen la capacidad de minimizar el sesgo en la selección y análisis de estudios, lo que resulta en conclusiones más robustas y fiables. Finalmente, para los revisores y editores de revistas científicas, el cumplimiento de las pautas de PRISMA facilita el proceso de revisión por pares, proporcionando un marco claro y estructurado para evaluar la calidad del estudio. En los últimos 5 años, se han publicado tres revisiones sistemáticas de estudios sobre niveles de exposición a CEM-RF en diferentes entornos, lo que permite comparar sus resultados con las recomendaciones o límites establecidos por organizaciones como la ICNIRP.

Sagar et al., 2018

El estudio de Sagar et al. (2018) revisó 21 estudios publicados entre 2005 y 2013, encontrando que los niveles de exposición a CEM-RF en hogares y espacios exteriores en Europa oscilaban entre 0,16 y 1,96 V/m. Una fuente de radiación destacada en este estudio fue el enlace ascendente (uplink) en comunicaciones móviles en trenes de Bélgica, que contribuyó con más del 95% de la exposición y registró el nivel más alto de 1,96 V/m. Aunque el estudio concluye que los niveles de exposición están muy por debajo de los límites regulatorios, señala una debilidad significativa: la falta de una metodología de medición estandarizada entre los estudios, lo que dificulta las comparaciones entre países y la evaluación de tendencias temporales.

Jaililian et al., 2019

Jaililian et al. (2019) examinaron 26 estudios publicados entre mayo de 2015 y julio de 2018, encontrando niveles de exposición que varían entre 0,04 y 1,97 V/m. Las estaciones de transporte público registraron los niveles más altos, con hasta 1,97 V/m, siendo, en este caso, el enlace descendente (downlink) en comunicaciones móviles la fuente de radiación más relevante. Aunque el estudio no indica un aumento notable en la exposición a CEM-RF a pesar del aumento en el uso de dispositivos inalámbricos, comparte una debilidad con el estudio de Sagar: la falta de consenso en la metodología utilizada entre los estudios revisados.

Ramírez Vázquez et al., 2023

El estudio más reciente de Ramírez Vázquez et al. (2023) revisó 56 publicaciones entre 1998 y 2021. Los niveles de exposición variaron drásticamente, desde 1,00 nW/m² (0,6 mV/m) en Egipto en 2007 hasta 0,285 W/m² (10,4 V/m) en Bélgica en 2019. Aunque el estudio no especifica fuentes de radiación destacadas, concluye que los niveles de exposición están muy por debajo de los límites de la ICNIRP. Al igual que los estudios anteriores, este también señala la variabilidad en las metodologías de medición como una limitación significativa.

3.1.2. Metodología y determinación de la exposición

Uno de los problemas más recurrentes en la experimentación para la determinación y caracterización de la exposición personal a CEM-RF es la heterogeneidad metodológica, tanto del equipamiento utilizado como el diseño experimental, tiempos de medida, ubicaciones, etc. Roosli et al. (2010) propusieron un protocolo de medidas para replicar estudios. Una de las metodologías más extendidas es mediante el uso de exposímetros personales (Knafl et al., 2008) que se han demostrado herramientas útiles y precisas, pero no exentas de incertidumbres (Bolte et al., 2011) y la experiencia de los últimos años nos ha proporcionado información para minimizar posibles problemas asociados a su uso (Bolte, 2016).

Bhatt et al. (2022) han revisado recientemente los diferentes instrumentos utilizados para medir la exposición a CEM-RF en estudios epidemiológicos. Se realizaron búsquedas en bases de datos y se incluyeron artículos publicados desde 2015, así como información de agencias gubernamentales y fabricantes de exposímetros. Se encontraron diferentes tipos de instrumentos utilizados para medir la exposición a CEM-RF, incluyendo exposímetros personales y herramientas basadas en teléfonos móviles. Entre los instrumentos basados en aplicaciones móviles se encuentran el XMobiSense™, Quanta Monitor™, QualiPoc Android™ y ElectroSmart™. Estas herramientas permiten medir parámetros como la potencia recibida, la intensidad de la señal y la calidad de la señal. También se mencionan exposímetros personales como la serie ExpoM-RF y la serie EME Spy. Sin embargo, destacan que ninguno de los instrumentos disponibles actualmente puede medir las frecuencias de las ondas milimétricas utilizadas en la tecnología de comunicación de ondas milimétricas (mmW) de 5G. En cuanto a las diferencias y debilidades de los instrumentos, se menciona que las mediciones realizadas con un solo exposímetro personal pueden proporcionar datos inexactos debido al efecto del cuerpo humano y del entorno físico en el haz. Se han desarrollado dispositivos de exposición personal distribuida (PDE) o medidores de densidad de potencia de banda ancha (BWDM) para superar este efecto, pero actualmente son herramientas poco prácticas para evaluar la exposición en la población general debido a su tamaño y necesidad de calibración individual.

3.1.3. Medida de la exposición en redes 5G

La implementación de la tecnología 5G presenta varios desafíos en la medición de la exposición a CEM-RF. Los métodos tradicionales para medir la exposición CEM-RF, que han sido efectivos para tecnologías anteriores (2G-4G), enfrentan desafíos significativos en el contexto de 5G. A continuación, se detallan algunos de los principales problemas y consideraciones (Velghe et al., 2021):

Tecnología de formación de haces (mMIMO)

A diferencia de las generaciones anteriores de redes móviles, donde la energía de RF se irradiaba de manera más o menos uniforme en todas las direcciones, la tecnología 5G utiliza la tecnología de múltiples entradas y múltiples salidas masivas (mMIMO) para crear haces direccionales estrechos. Esto significa que la energía de RF se enfoca en direcciones específicas hacia los usuarios. Este enfoque direccional hace que la exposición a RF-EMF sea más difícil de medir y evaluar, ya que ya no se considera determinista sino estadística o estocástica.

Incertidumbre en la medición

La ubicación del dispositivo de medición (PEM) en relación con el cuerpo humano y el dispositivo del usuario puede introducir incertidumbres significativas en la medición de la exposición autoinducida. En 5G, la exposición no solo es ambiental sino también autoinducida. Por ejemplo, cuando un usuario inicia una descarga de datos,

la estación base podría dirigir un haz de alta energía hacia el dispositivo del usuario. Estos eventos pueden ser breves pero significativos, y un tiempo de medida más largo podría subestimar su impacto. Existe cierta controversia en cuanto a los tiempos de medida de exposición y diversas aproximaciones indican que no habría diferencias importantes entre medidas de 6 y de 30 minutos.

Frecuencias y ondas milimétricas

Las bandas de frecuencia más altas utilizadas en 5G (como 3,5 GHz, 26 GHz y 60 GHz), especialmente las ondas milimétricas, presentan desafíos adicionales para la medición de la exposición debido a su alta frecuencia y baja penetración en el cuerpo humano. Estas características pueden requerir nuevos métodos de medición y evaluación.

Normativas y límites de exposición

Las directrices y regulaciones actuales sobre los niveles seguros de exposición a CEM-RF, como las proporcionadas por la ICNIRP, pueden necesitar ser revisadas o adaptadas para tener en cuenta la naturaleza única de la exposición en las redes 5G. Algunos países ya tienen límites de exposición más estrictos que los recomendados por la ICNIRP, lo que podría complicar aún más la implementación de la tecnología 5G.

Metrología y modelos estadísticos

Dado que la exposición en 5G es de naturaleza estadística, se están desarrollando nuevos modelos teóricos y prácticos para evaluar la exposición a CEM-RF en estas redes. Estos modelos buscan capturar el comportamiento estocástico de la exposición.

Variabilidad en los resultados de medición

Los estudios y campañas de medición realizados en diferentes lugares del mundo han mostrado resultados bastante dispares en términos de niveles de exposición, lo que indica que la elección de la metrología y los valores de los parámetros en el modelo de extrapolación son clave para obtener resultados de exposición consistentes.

Enfoque de “Caja Blanca” vs “Caja Negra”

Los estudios teóricos y las mediciones basadas en estaciones base comerciales (enfoque de “caja negra”) a menudo carecen de detalles sobre los patrones de haz o la implementación de la capa física. Los enfoques de “caja blanca”, que utilizan plataformas de prueba mMIMO completamente reconfigurables, pueden ofrecer una evaluación más flexible y precisa de la exposición a CEM-RF.

En resumen, la tecnología 5G introduce una serie de complejidades y variables que hacen que la medición y evaluación de la exposición a CEM-RF sea más compleja en comparación con las generaciones anteriores de tecnología móvil. Estos desafíos requieren un enfoque multidisciplinario que incluya avances en la metrología, la modelización estadística y la regulación para garantizar una implementación segura y efectiva de la tecnología 5G. Por tanto, las directrices y protocolos para la medición de la exposición a CEM-RF a menudo se basan en promedios de tiempo, como 6 minutos o 30 minutos. Estos promedios de tiempo se establecen generalmente para asegurar que las mediciones sean representativas y para minimizar los efectos de las fluctuaciones temporales en los niveles de exposición. Sin embargo, en el contexto de la tecnología 5G, hay varias razones por las que estas directrices de tiempo pueden no ser adecuadas.

3.1.4. Repercusión de los nuevos límites de ICNIRP en la exposición personal

Como se ha indicado anteriormente, en marzo de 2020, ICNIRP actualizó sus recomendaciones con respecto a los niveles máximos de exposición personal a CEM-RF en la gama de frecuencias de 100 kHz-300 GHz (ICNIRP, 2020). La mayoría de los países del mundo aplican en la actualidad los límites de exposición a CEM-RF establecidos en las directrices de 1998 de la ICNIRP (1998) y se espera que adapten sus normativas a los límites revisados próximamente. En el capítulo 7 del presente informe, se realiza una revisión exhaustiva de los cambios establecidos en esta nueva publicación de ICNIRP.

Colombi et al. (2022) han evaluado si los cambios introducidos supondrían un problema en lo que respecta a la conformidad de las estaciones base. Las nuevas directrices de la ICNIRP de 2020 tienen un impacto marginal en la conformidad de las estaciones base existentes en comparación con las directrices de 1998. Aunque se introducen algunos cambios, como límites separados para la exposición localizada y la exposición corporal total, y la extensión de los límites de Tasa de Absorción Específica (SAR) hasta 300 GHz, estos cambios no resultan en diferencias significativas en la evaluación de la conformidad. Las metodologías de evaluación existentes siguen siendo aplicables, y no se espera un cambio significativo en las zonas de exclusión o conformidad. Por tanto, no se espera que las nuevas directrices representen un problema significativo o un cambio drástico en la forma en que se evalúa la conformidad de las estaciones base con los límites de exposición. Desde un punto de vista más práctico, Galán-Jiménez y Chiaraviglio (2021) han comparado el impacto de las nuevas recomendaciones ICNIRP y otras restricciones que son más estrictas, en la Calidad del Servicio (QoS) y los niveles de exposición a CEM-RF, incluidas las de 5G. Para ello, llevaron a cabo una campaña de mediciones a gran escala en dos escenarios: uno en España, que sigue las regulaciones de la ICNIRP, y otro en Italia, que tiene límites de CEM-RF más estrictos. Ambos escenarios con condiciones de exposición similares, densidad de usuarios comparable y objetivos de rendimiento 4G comunes establecidos por los operadores. El estudio encontró que la calidad del servicio en el escenario con límites de exposición más estrictos se ve significativamente afectada en comparación con el escenario que sigue las directrices de la ICNIRP. Como era de esperar, el escenario con límites más estrictos presentó niveles de exposición más bajos. Así, concluyeron que límites más estrictos pueden llevar a niveles de exposición más bajos, pero también tienen un impacto negativo en la calidad del servicio de la red móvil.

Varias publicaciones de opinión (comment y editorial) han cuestionado las nuevas recomendaciones ICNIRP. En primer lugar, la autoproclamada “International Commission on the Biological Effects of Electromagnetic Fields (ICBE-EMF)” (2020) ha cuestionado las directrices de exposición indicando que están basadas en suposiciones erróneas y estudios anticuados, y que no protegen adecuadamente la salud pública ni el medio ambiente. Para ello, enumeran 14 suposiciones que, según los autores asume ICNIRP como ciertas y que cuestionarían el método para la determinación de los límites recomendados. No obstante, estas suposiciones criticadas en el artículo no reflejan completamente cómo la ICNIRP establece sus directrices. Por ejemplo, critican los umbrales de exposición y los efectos térmicos, pero ICNIRP establece límites basados en efectos térmicos porque son los únicos efectos adversos para la salud respaldados por un consenso científico sólido. Además, ICNIRP también revisa regularmente la literatura científica para actualizar sus directrices. Otra suposición que critican es con respecto a no considerar un posible daño en el ADN de los CEM-RF, pero la mayoría de los estudios que sugieren daño al ADN por exposición a RF no son térmicos y carecen de consenso científico. Algo similar ocurre con la relación con tumores de cerebro o la sensibilidad individual, que si bien ICNIRP revisa no incluye ya que la evidencia científica disponible no es concluyente o fuerte. Por tanto, las suposiciones criticadas en el artículo no reflejan completamente cómo la ICNIRP establece sus directrices, se obvia que las recomendaciones se elaboran basándose en la evidencia, la cual se revisa regularmente.

En una línea similar, López et al. (2022) plantean preocupaciones sobre la metodología de medición de CEM-RF y sugieren que los límites de exposición actuales son insuficientes porque no consideran efectos no térmicos y otros parámetros como la modulación y la frecuencia. Sin embargo, la crítica parece pasar por alto que las directrices de la ICNIRP se basan en un consenso científico riguroso y se revisan regularmente para reflejar los avances en la investigación. Una vez más, la ICNIRP se centra en efectos térmicos porque son los únicos efectos adversos para la salud respaldados por un consenso científico sólido. Además, el artículo sugiere que los protocolos de medición son inadecuados para capturar la “realidad” de la exposición a CEM-RF, pero no aborda cómo la ICNIRP y otras organizaciones toman medidas para asegurar que sus protocolos sean tanto precisos como prácticos. En resumen, aunque el artículo plantea cuestiones que podrían ser objeto de futuras investigaciones, no proporciona una base sólida para cuestionar las directrices actuales de la ICNIRP.

3.2. Objetivos

Hasta la fecha, los límites de exposición fijados por ICNIRP se han mostrado seguros y son los que sirven de referencia en numerosos países. La OMS asume estos niveles como seguros y, por tanto, se debe garantizar que la exposición personal no los supera. De ahí, que los estudios de exposición personal en diferentes situaciones y ambientes, también microambientes, sean esenciales para monitorear la situación real, en condiciones reales, que permitan transmitir un mensaje de tranquilidad a la sociedad.

Por este motivo, en este capítulo, se propone la realización de una revisión sistemática de los estudios de exposición personal en condiciones reales publicados entre los años 2020 y 2022. Además, el despliegue de la quinta generación de telefonía móvil 5G, presenta un nuevo escenario con incertidumbres a la hora de caracterizar la exposición personal. Por este motivo, se han incluido en la revisión, nuevas metodologías y experiencias piloto, así como simulaciones y análisis de los datos de exposición personal, en el marco actual de despliegue de la 5G de telefonía móvil, a partir de los resultados de la búsqueda específica de estudios de evaluación de la exposición a CEM-RF.

3.3. Metodología

3.3.1 Estrategia de búsqueda bibliográfica

Para ello, se realizó una revisión bibliográfica sistemática de acuerdo con los criterios establecidos para este tipo de revisiones PRISMA (Moher et al., 2015). Así, se realizaron búsquedas de registros en tres bases de datos (PubMed, Web of Science y EMF-Portal) incluyendo artículos publicados entre el 1 de enero de 2020 y el 31 de diciembre de 2022.

Las cadenas de búsqueda utilizadas en cada base de datos fueron:

- EMF-Portal: (title=EMF OR title=EMF-RF OR title= RF-EMF OR title="RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD" OR title=MOBILE OR title=CELLULAR OR title="MOBILE PHONE BASE STATION") AND (title="PERSONAL EXPOSURE" OR title=DOSIMETRY OR title=EXPOSIMETER OR title=EXPOSURE) AND (year=2020 OR year=2021 OR year=2022), proporcionando 323 resultados.

3.3.2. Criterios de inclusión y exclusión

En una primera fase (fase de cribado e identificación), se excluyeron los trabajos duplicados y no escritos en inglés, así como comentarios, editoriales o comunicaciones o abstracts de congresos. También se excluyeron revisiones y revisiones sistemáticas. A continuación (fase de admisibilidad), se eliminaron los estudios no experimentales de caracterización de la exposición personal a CEM-RF en humanos, estudios que no evalúan o presentan nuevos métodos de análisis o determinación o simulación de exposición personal a CEM-RF de 5G, y artículos que no realizan simulaciones de exposición personal a CEM-RF, o de temáticas no relacionadas con el objetivo de este capítulo. En la última fase (fase de inclusión), se realizó una lectura completa de los artículos, resultando la inclusión de 41 trabajos: 22 sobre evaluación de la exposición personal a CEM-RF y 19 relativos a nuevas metodologías, experiencias y estimaciones para la determinación de la exposición personal a CEM-RF en redes 5G.

■ **Tabla 3.1. Estudios de evaluación de la exposición a CEM-RF incluidos en la revisión sistemática (ordenados por año de publicación).**

Año	Publicación	País
2020	Aris et al., 2020	Grecia
2020	Colombi et al., 2020	Australia
2020	Kurnaz y Aygun, 2020	Turquía
2020	Lee & Choi, 2020	Corea
2020	Paniagua et al., 2020	España
2020	Ramirez-Vazquez et al., 2020a	Jordania
2020	Ramirez-Vazquez et al., 2020b	España
2020	Šuka et al., 2020	Bosnia y Herzegovina y Serbia
2021	Besset et al., 2021	Francia
2021	De Giudici et al., 2021	Francia
2021	Iyare et al., 2021	Bélgica
2021	Olorunsola et al., 2021	Nigeria
2021	Onishi et al., 2021	Japón
2021	Ramirez-Vazquez et al., 2021	México
2021	Selmaoui et al., 2021	Corea
2022	Hamiti et al., 2022	Kosovo
2022	Iakovidis et al., 2022	Grecia, España, Rumania, Francia, Bélgica y Serbia
2022	Markussen et al., 2022	Noruega
2022	Mohammed et al., 2022	Sudán
2022	Salem et al., 2022	EE. UU.
2022	Schmutz et al., 2022	Reino Unido
2022	Wali et al., 2022	Malasia

3.3.3. Extracción de datos

La gestión bibliográfica de los registros, la búsqueda de duplicados, su clasificación, etc. se realizó mediante Zotero 6.0.27 (<http://www.zotero.org>). Los datos relevantes se obtuvieron de cada estudio elegible mediante una extracción estructurada, que fue preparada y aprobada tras el cribado de los estudios incluidos. Para la selección de los trabajos se contó con la ayuda de Jesús González Rubio, profesor de la Universidad de Castilla-La Mancha. El cribado se realizó de forma independiente por dos investigadores y, en caso de duda, se consensuó su inclusión o exclusión.

3.4. Resultados

La suma total de artículos que cumplían los criterios de búsqueda en las tres bases de datos utilizadas fue de 989 que, tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión quedaron en 22 trabajos relativos a estudios de exposición personal y 19 estudios de protocolos, simulaciones o nuevas metodologías para la determinación de la exposición personal.

3.4.1. Estudios de exposición personal

Finalmente se incluyeron 22 estudios (Tabla 3.1) que se detallan y discuten a continuación.

Aris et al., (2020) abordaron la preocupación sobre los posibles efectos negativos de la exposición a CEM-RF en niños, dada la creciente popularidad de los teléfonos móviles en Grecia. El estudio tuvo como objetivo estimar los niveles promedio de exposición a CEM-RF en escuelas de educación primaria y secundaria en el municipio de Korydallos, Atenas. Utilizando mediciones en 62 unidades escolares y cubriendo un rango de frecuencia de 27 MHz-3 GHz, los investigadores encontraron que el 97,5% de las escuelas en la región tenían niveles de exposición al menos 2200 veces inferiores a los límites griegos. Además, estos niveles estaban por debajo del 60% del límite más restrictivo establecido por la ICNIRP. Aunque el estudio es exhaustivo, se centra en una región específica, lo que podría considerarse una limitación.

Colombi et al. (2020) analizaron la exposición a CEM-RF y la potencia transmitida por estaciones base en una red 5G en vivo de Telstra, Australia. Utilizando una metodología basada en la recopilación de datos experimentales directamente de la red, los autores recolectaron más de 13 millones de muestras durante 24 horas. Los resultados mostraron que la potencia promedio en tiempo real por dirección de haz estaba muy por debajo del máximo teórico, y era mucho menor de lo que predecían los modelos estadísticos existentes. En términos de bandas de frecuencia, las estaciones base operaban dentro de la banda NR 78 (3300-3800 MHz). Una de las debilidades del estudio es que se basa en una red específica y en un tipo de tecnología de formación de haces, lo que podría no ser generalizable. La conclusión es que asumir una transmisión de potencia máxima constante en una dirección de haz fija conduce a una evaluación poco realista de la exposición a CEM-RF.

Kurnaz y Aygun (2020) determinaron los niveles de CEM-RF en 21 hospitales estatales en la provincia de Samsun, Turquía, con el objetivo de evaluar los riesgos potenciales para pacientes y personal. Utilizaron tres tipos de mediciones: a corto plazo, a largo plazo y selectivas por banda, en un rango de frecuencia de 100 kHz a 3 GHz. Los resultados mostraron que el nivel más alto de exposición a CEM-RF a corto plazo fue de 2,52 V/m, mientras que, para las mediciones a largo plazo, el nivel más alto fue de 3,11 V/m. Aunque estos niveles están por debajo de los límites establecidos por la Autoridad de Tecnologías de la Información y la Comunicación (ICTA) y la ICNIRP, se

observó que los niveles de CEM-RF eran más altos durante el día que durante la noche. Las principales fuentes de CEM-RF resultaron ser estaciones base ubicadas fuera de los hospitales, contribuyendo en un 92,6% al total. Las bandas de frecuencia que más contribuyeron fueron LTE 800, GSM 900, GSM 1800, LTE 1800 y UMTS 2100, siendo UMTS 2100 la que más contribuyó con un 40,4%.

Lee y Choi (2020) midieron los niveles de potencia transmitida (Tx) de teléfonos móviles en redes de comunicación inalámbrica en Seúl durante los años 2015 y 2017, así como en el cálculo la tasa de absorción específica (SAR) en el cerebro durante las llamadas de voz. Utilizando un método de medición basado en vehículos y ocho dispositivos bajo prueba (DUTs), los autores compararon los niveles de Tx en redes CDMA2000, WCDMA y LTE de los tres principales operadores móviles de Corea del Sur. Los resultados mostraron que el nivel de Tx medio era inferior al 0,5% de la potencia máxima en las redes CDMA2000 y WCDMA, mientras que en las redes LTE se observó una variabilidad significativa entre operadores, con niveles medios de potencia que oscilaban entre menos del 0,1% y hasta el 20% de la potencia máxima. La SAR máxima en el cerebro fue de 4,8 mW/kg para un modelo de cabeza infantil en una red LTE. Se observó una brecha máxima de 25 dB en la SAR entre todas las redes consideradas. La principal conclusión fue que la exposición en el cerebro variaba significativamente según el año, el operador de telefonía móvil suscrito y la tecnología de red utilizada, lo que sugiere la necesidad de mediciones más frecuentes y protocolos de medición comunes para futuros estudios epidemiológicos.

Paniagua et al. (2020) evaluaron la exposición humana a CEM-RF en una ciudad de aproximadamente 100,000 habitantes (Cáceres, España), tanto dentro como fuera de las viviendas. Para ello, se empleó un medidor de exposición personal que recopiló datos en diferentes bandas de frecuencia, incluyendo radio FM, televisión y telefonía móvil. Los resultados mostraron que el campo eléctrico mediano era de 0,200 V/m al aire libre y de 0,102 V/m en interiores. Los cocientes de exposición según las pautas de la ICNIRP fueron de $25 \cdot 10^{-6}$ en exteriores y de $16 \cdot 10^{-6}$ en interiores. Se observó que la proximidad del cuerpo del operador podía causar una sobreestimación de las lecturas en la banda de FM en un factor de 1,35. La principal contribución a la exposición fue la radio FM seguida de las bandas de “downlink” de telefonía móvil. La exposición a CEM-RF en la ciudad estudiada estuvo muy por debajo de los límites recomendados por la ICNIRP, siendo la radio FM y la telefonía móvil las principales fuentes de exposición.

Ramirez-Vazquez et al. (2020) midieron la exposición personal a CEM-RF provenientes de redes Wi-Fi en el área universitaria de la Universidad Germano-Jordana (GJU) en Jordania. Utilizando dos exposímetros personales Satimo EME SPY 140, el estudio se llevó a cabo en diferentes momentos del día y en diferentes días de la semana, tanto en días laborables como en fines de semana. Las mediciones se realizaron en tres áreas de estudio: en todo el campus universitario, y alrededor de dos edificios específicos. Los resultados mostraron que la exposición promedio total de la banda Wi-Fi en las tres áreas de estudio fue de $28,82 \mu\text{W}/\text{m}^2$, muy por debajo de las pautas internacionales establecidas por la ICNIRP.

Ramirez-Vazquez et al., (2020) examinaron la exposición personal en un colegio en Albacete, España, tanto en espacios interiores como exteriores. Utilizando un exposímetro Satimo EME SPY 140, se llevaron a cabo mediciones en diferentes puntos alrededor y dentro del colegio durante la semana y el fin de semana. Los resultados mostraron que la exposición era mayor durante el fin de semana en las áreas exteriores, con un valor máximo de $121 \mu\text{W}/\text{m}^2$, atribuido al uso de Wi-Fi en las áreas residenciales cercanas. Durante la semana, la exposición en el interior del colegio era más alta, con un valor máximo de $300 \mu\text{W}/\text{m}^2$ en la banda GSM downlink, probablemente debido al uso intensivo de dispositivos electrónicos y smartphones por parte de estudiantes y empleados. Todos los niveles de exposición estuvieron por debajo de los límites establecidos por las directrices internacionales. Aunque el estudio ofrece un análisis detallado y metodológicamente sólido, una de sus limitaciones podría ser el enfoque en una única institución educativa, lo que podría no ser representativo de las escuelas en general.

Šuka et al. (2020) caracterizaron la exposición a emisiones electromagnéticas de sistemas móviles públicos y plantea dudas sobre la confiabilidad de las mediciones a corto plazo para evaluar la exposición a largo plazo a CEM. Para abordar este desafío, los investigadores llevaron a cabo un estudio riguroso que abarcó nueve meses de mediciones en 14 ubicaciones urbanas diferentes en Bosnia y Herzegovina y Serbia. Durante este extenso período de observación, se aplicaron medidas promediadas en tiempo e integrales para reducir la variabilidad en los datos de exposición. Los resultados revelaron que la variabilidad en la exposición diaria podría mantenerse dentro de un margen del $\pm 20\%$ con respecto al valor medio semanal cuando se utilizan estas medidas. Además, se identificaron dos períodos de aumento de tráfico durante el día, de 8 a.m. a 11 a.m. y de 5 p.m. a 9 p.m., lo que sugiere una dinámica de exposición a CEM relacionada con el tráfico móvil. Es importante destacar que, aunque el estudio presenta una incertidumbre de medición estimada en ± 3 dB, sus resultados indican que las mediciones a largo plazo y la aplicación de métodos de promediado en tiempo o integrales son esenciales para obtener resultados confiables y reproducibles en la evaluación de la exposición a campos electromagnéticos. Por último, es relevante mencionar que todos los valores de exposición medidos estuvieron al menos 35 dB por debajo del nivel de referencia más bajo para la exposición GSM prescrito por la ICNIRP.

Besset et al. (2021) midieron los niveles de exposición a CEM-RF en neonatos prematuros en una Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales (NICU) en el Centro Médico Universitario de Amiens, Francia. Utilizando exposímetros de tres ejes, se realizaron mediciones individuales cada 2 minutos en 30 neonatos prematuros durante las primeras tres semanas después del nacimiento, abarcando un total de 15.120 puntos de medición por infante. Los niveles se determinaron en seis bandas de frecuencia principales: FM/TV, TETRA, señales descendentes (uplink) y ascendentes (downlink) de teléfonos móviles, DECT y Wi-Fi. Los resultados mostraron que la exposición total ($0,03 \pm 0,01$ V/m) provenía principalmente de las bandas FM/TV, teléfonos móviles (uplink) y DECT. Además, se observó una gran heterogeneidad entre y dentro de los sujetos en la exposición total, con fluctuaciones frecuentes y exposiciones transitorias a niveles superiores a 1 V/m. Aunque los niveles de exposición estuvieron muy por debajo del umbral recomendado por la ICNIRP de 50 V/m, fueron más altos que los encontrados en el entorno general de la unidad. Una limitación del estudio es el pequeño tamaño de la muestra y la especificidad del entorno hospitalario.

El estudio de De Giudici et al. (2021) fue realizado por la Agencia Nacional de Frecuencias de Francia (ANFR), para evaluar la exposición a CEM-RF en personas que vivían cerca de estaciones base de teléfonos móviles (MPBS) en áreas urbanas. Utilizando dos métodos, mediciones puntuales en el hogar y medidores de exposición personal (PEM) durante 48 horas o siete días, el estudio incluyó a 354 participantes en cinco ciudades grandes de Francia. Las mediciones puntuales mostraron una intensidad de campo medio/mediana de 0,58/0,44 V/m para CEM-RF total y 0,43/0,27 V/m proveniente de las MPBS. Las mediciones con PEM revelaron que la exposición era más alta durante las salidas que en el hogar y durante el día que durante la noche. Se encontró una fuerte correlación entre las mediciones puntuales y las de PEM, aunque las primeras eran aproximadamente tres veces más altas. A pesar de la robustez metodológica, el estudio tiene limitaciones, como la falta de mediciones de valores pico y la posible subestimación de la exposición por el efecto de blindaje del cuerpo. En resumen, aunque los niveles de exposición están muy por debajo de los límites recomendados por la ICNIRP, el estudio sugiere que las mediciones puntuales pueden ser un método fiable para estimar el impacto de la evolución de las redes y tecnologías de teléfonos móviles en la exposición de la población.

Iyare et al. (2021) llevaron a cabo este estudio en la ciudad de Lovaina, Bélgica, para comparar la exposición máxima a CEM de teléfonos inteligentes durante la transmisión de datos y las llamadas de voz. Se realizaron mediciones en interiores durante los días laborables de junio y julio de 2020, utilizando un Samsung Galaxy S20 y una configuración de analizador de espectro altamente precisa. Se examinaron las bandas de frecuencia para

2G (880-915, 1710-1785 MHz), 3G (880-915, 1920-1980 MHz) y 4G (832-862, 1710-1785, 1920-1980, 2500-2570 MHz). Los resultados mostraron grandes diferencias en la exposición máxima entre las diferentes generaciones de redes: la exposición máxima para 3G fue más de 20 veces menor que para 2G y entre 5 y 10 veces menor que para 4G. Además, se observaron diferencias sistemáticas entre los modos de datos y voz, siendo la exposición en 2G mucho más alta en modo de voz que en modo de datos. A pesar de algunas limitaciones, como la imposibilidad de forzar estrictamente 4G y la variabilidad en la posición del teléfono, el estudio concluye que las tecnologías de red más nuevas podrían reducir significativamente los niveles de exposición máxima, lo cual es relevante para el debate en curso sobre 5G.

Olorunsola et al. (2021) examinaron la variación temporal de la exposición a CEM-RF en torno a estaciones base de comunicación móvil en el área de Kuje, Nigeria. Utilizando un analizador espectral selectivo de radiación HF-2025E, se midieron las densidades de potencia máxima en las bandas de frecuencia GSM 900 MHz, GSM 1800 MHz y Wi-Fi 2400 MHz. Las mediciones se llevaron a cabo en cinco áreas sensibles durante diferentes bloques de tiempo entre las 7 h y las 19 h. Los resultados mostraron variaciones temporales y espaciales en las densidades de potencia, con picos que variaron desde 278 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ en la banda de 900 MHz hasta 420 $\mu\text{W}/\text{m}^2$. Sin embargo, todas las mediciones estuvieron por debajo de los límites recomendados por la ICNIRP.

Onishi et al. (2021), en Japón en 2019 y 2020, buscaron obtener una imagen completa de la exposición a CEM-RF en la vida diaria, centrándose en las estaciones base de teléfonos móviles en entornos exteriores y un centro comercial subterráneo. Utilizando un analizador de espectro con una sonda isotrópica de campo eléctrico de tres ejes (SRM-3006, Narda S.T.S. GmbH), se midieron las intensidades del campo eléctrico (E-field) en diversas bandas de frecuencia que fueron desde 700 MHz hasta 3500 MHz. El estudio se llevó a cabo en dos áreas urbanas y dos suburbanas, así como en un centro comercial subterráneo, utilizando una cuadrícula de 10x10 en un área de 1 km x 1 km. Los resultados mostraron que las intensidades del campo eléctrico tendían a ser más altas en 2019 y 2020 en comparación con mediciones anteriores realizadas en 2006 y 2007, especialmente en el centro comercial. Sin embargo, las mediciones estuvieron muy por debajo de las pautas de protección contra ondas de radio de Japón, con valores medianos inferiores a -40 dB con respecto a los límites. Una limitación del estudio es que no se incluyeron mediciones para 5G, ya que el servicio aún no estaba disponible en Japón en el momento de las mediciones. El estudio concluyó que, aunque los niveles de CEM habían aumentado con el tiempo, especialmente en áreas urbanas y centros comerciales, estos niveles siguen estando muy por debajo de las pautas de seguridad.

Ramirez-Vazquez et al. (2021), en Tamazunchale, San Luis Potosí, México, buscaron medir la exposición personal a CEM-RF proveniente de bandas de frecuencia Wi-Fi. Se utilizó un exposímetro personal Satimo EME SPY 140 para medir 14 bandas de frecuencia, aunque el estudio se centró en las bandas Wi-Fi 2G (2400-2500 MHz) y Wi-Fi 5G (5150-5850 MHz). Se reclutaron 63 voluntarios a través de diversos medios y se les pidió que llevaran el exposímetro durante 24 horas en diferentes microambientes como el hogar, el lugar de trabajo y áreas al aire libre. Los resultados mostraron que los niveles más bajos de exposición fueron de 116,8 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ en el hogar para la banda Wi-Fi 5G y 146,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ en viajes para la banda Wi-Fi 2G. Los niveles más altos se registraron en el lugar de trabajo, con 499,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ para la banda Wi-Fi 2G y 264,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ para la banda Wi-Fi 5G. Ninguno de los valores excedió los límites establecidos por la ICNIRP. Además, se realizó una encuesta para evaluar la percepción del riesgo antes y después del estudio, mostrando que la preocupación disminuyó una vez que los participantes fueron informados.

Selmaoui et al. (2021) examinaron la exposición a CEM de la población de Corea del Sur debido a la implementación de redes 5G, comparándola con las generaciones anteriores de tecnología móvil (2G, 3G, 4G). Se llevaron a cabo mediciones en diversas zonas urbanas y rurales de Seúl y Naju utilizando dos tipos de dosímetros

(ExpoM-RF y EME SPY 200) y un analizador de espectro. Los dosímetros se programaron para adquirir datos en bandas de frecuencia que van desde 3,4 a 3,8 GHz. Los resultados mostraron que la contribución de 5G a la exposición total fue de aproximadamente el 15%, y los niveles más altos se observaron cerca de las antenas 5G. Sin embargo, estos niveles se mantuvieron por debajo de los límites establecidos por la ICNIRP. Una debilidad del estudio es que se realizó solo seis meses después de la implementación de la red 5G en Corea del Sur, lo que significa que la red probablemente no se estaba utilizando a su máxima capacidad. En resumen, el estudio concluye que la exposición a 5G en Corea del Sur es relativamente baja y está dentro de los límites seguros establecidos por las directrices internacionales.

Hamiti et al. (2022) investigaron la exposición a CEM-RF en una escuela primaria en Pristina, Kosovo, tanto dentro como fuera del edificio escolar. Utilizando un exposímetro EME SPY 140, los investigadores realizaron más de 14.400 mediciones durante días laborables y aproximadamente 6.120 durante los fines de semana, en diferentes puntos dentro y fuera de la escuela. Los resultados mostraron que los sistemas de teléfonos móviles contribuyeron con aproximadamente el 94% de la exposición total dentro del edificio escolar durante los días laborables, con una densidad de potencia promedio de $213 \mu\text{W}/\text{m}^2$, y un $109 \mu\text{W}/\text{m}^2$ durante los fines de semana. En el exterior, las densidades de potencia eran considerablemente más altas. Aunque los niveles de exposición estaban por debajo de los límites internacionales, el estudio reveló un uso intensivo de teléfonos móviles por parte de los estudiantes durante las horas de clase. Una limitación del estudio es que las metodologías variaron, lo que podría afectar la precisión de las mediciones.

Iakovidis et al. (2022) evaluaron la exposición a CEM-RF en varios países europeos (Grecia, España, Rumania, Francia, Bélgica y Serbia) utilizando datos públicos disponibles. El objetivo principal fue analizar los niveles de CEM y sus variaciones en diferentes microentornos y regiones europeas. Se recopilaron y procesaron datos de cinco de las redes de monitoreo continuo más grandes y dos campañas extensas de medición in situ en diferentes países europeos. Los valores medianos del campo eléctrico en las redes de monitoreo oscilaron entre 0,67 y 1,51 V/m en diferentes países, mientras que en diferentes microentornos evaluados a través de mediciones in situ, variaron de 0,10 V/m a 1,42 V/m. No se observaron tendencias significativas en la evolución temporal de los niveles de CEM-RF. Se investigaron las influencias de parámetros como la densidad de población, el tipo de microentorno y la altura de la medición en los niveles de CEM-RF. Se encontró que la densidad de población y la altura de la medición estaban correlacionadas con los niveles de exposición. El estudio destaca la importancia de informar correctamente los parámetros relevantes en las mediciones para evitar problemas de interpretación. A pesar de las diferencias en el diseño y despliegue de las redes de monitoreo y campañas de medición, este estudio resalta la utilidad de los datos públicos disponibles para evaluar la exposición a CEM-RF en Europa y sugiere la necesidad de un marco común para homogeneizar los resultados entre diferentes países y facilitar conclusiones útiles en el futuro.

Markussen et al. (2022) evaluaron los cambios en la exposición a CEM-RF cuando se introducen nuevas tecnologías en Kristiansand, Noruega. Se realizaron mediciones desde junio de 2013 hasta octubre de 2019 en 16 puntos de medición en Kristiansand y sus alrededores. Las mediciones se realizaron entre las 9 a.m. y las 3 p.m. en días laborables. Se utilizaron equipos de medición de Rohde & Schwarz, incluida una antena de medición y un analizador de espectro que cubría el rango de frecuencia de 30 MHz a 3 GHz. Las mediciones se realizaron en las bandas de frecuencia de 390, 450, 800, 900, 1800, 2100, 2400 y 2600 MHz. Los resultados mostraron que la exposición al aire libre en la mayoría de los casos era inferior al 1% del valor límite. En 2017, se registró un aumento temporal en la mayoría de los puntos de medición, pero en 2018 los niveles volvieron a los registrados antes de 2017. Los valores se mantuvieron bajos, alrededor del 3% del valor límite, incluso durante el aumento. Las mediciones indicaron una tendencia a la disminución de la exposición a lo largo del tiempo, especialmente

después de la introducción de LTE (4G) en la banda de 800 MHz en 2014. A pesar de la introducción de nuevas tecnologías, los niveles de exposición se mantuvieron bajos y constantes a lo largo de los años. El estudio concluye que la exposición de la población a CEM-RF era baja y constante, en línea con los límites de seguridad, a pesar de la introducción de nuevas tecnologías. Como se ha indicado, el estudio se llevó a cabo en Kristiansand, considerada representativa de las ciudades noruegas en términos de desarrollo tecnológico en telecomunicaciones. La ubicación de los 16 puntos de medición se fijó en áreas donde las personas suelen estar, como parques, áreas verdes, escuelas, estacionamientos y áreas residenciales. El estudio señala algunas posibles limitaciones, como las variaciones en la exposición debido a factores ambientales y de tráfico, así como posibles errores de medición. Sin embargo, a pesar de estas limitaciones, los resultados indican una exposición baja y constante en comparación con los límites de seguridad.

Mohammed et al. (2022) clasificaron y caracterizaron la exposición a la radiación de RF de las estaciones base de telefonía móvil en Khartoum, Sudán. Se llevaron a cabo mediciones de distribución espacial en la ciudad durante dos períodos, primero en 2012 (encuesta piloto) y nuevamente durante septiembre de 2019 a enero de 2020. Se evaluaron un total de 282 antenas operando con GSM900, GSM1800 y UMTS2100 de tres compañías de comunicación móvil. Los resultados mostraron que las medias de las mediciones de GSM900, GSM1800 y UMTS fueron de 0,01933 W/m², 0,0067 W/m² y 0,0046 W/m², respectivamente. Se registraron niveles más altos de densidad de potencia para cada antena a distancias de 90 m, 110 m, 130 m y 150 m de las antenas en la mayoría de los casos, con valores máximos en 110 m. Las mediciones de GSM900 mostraron diferencias significativas entre las compañías de telefonía. Las mediciones de GSM1800 también difirieron significativamente entre las compañías. La interpolación espacial mostró una distribución heterogénea de la exposición a RF en diferentes áreas de la ciudad, con áreas cercanas a mercados y áreas residenciales urbanas densas mostrando los niveles más altos de exposición. En general, se encontró que la exposición a GSM900 era la más alta, seguida de GSM1800 y UMTS2100. Se informaron algunos valores extremos que excedieron los límites de ICNIRP. Se recomienda realizar estudios adicionales para evaluar el efecto de la cantidad de antenas montadas en una sola torre en la exposición total, redistribuir las estaciones base para reducir la emisión de RF y realizar evaluaciones periódicas de exposición ambiental en colaboración con las autoridades de salud, el Ministerio de Telecomunicaciones y la Agencia Sudanesa de Energía Atómica. Las principales debilidades del estudio incluyen la incapacidad para medir más allá de 190 m de las antenas debido a barreras físicas, la falta de datos sobre la altura de algunas antenas y la falta de cálculo de la exposición de múltiples antenas montadas en una sola torre debido a la naturaleza de las mediciones selectivas por frecuencia.

Salem et al. (2022) investigaron el nivel de exposición a CEM-RF para la red 5G en un entorno urbano en EE. UU. denso utilizando un enfoque de trazado de rayos. El objetivo principal fue comprender cómo la infraestructura de red 5G, con su despliegue de antenas masivas que emiten haces en el espectro de ondas milimétricas, afecta el nivel de exposición a CEM-RF. Se utilizó un enfoque de trazado de rayos para analizar tanto la transmisión ascendente (uplink) como la transmisión descendente (downlink). Se consideró una estación base 5G masiva con capacidad de formación de haces para múltiples usuarios. Para el enlace de bajada, se utilizó la técnica de transmisión de máxima tasa (MRT) para dirigir los haces hacia todos los usuarios activos, y se utiliza la densidad total de potencia (PD) para evaluar el nivel de exposición a CEM. Por otro lado, para el enlace de subida, se investigó la exposición a EMF utilizando la intensidad del campo eléctrico y la tasa de absorción específica (SAR). El estudio se basó en datos detallados de escenarios, incluyendo geometría de edificios 3D, características electromagnéticas, propagación multipath, ubicaciones de usuarios y patrones de radiación de formación de haces. Los resultados muestran que, para el enlace de bajada, la PD máxima aumentaba de 6,65 a 24,92 dBm/m² cuando el número de usuarios activos en el área aumenta del 1% al 100%. En el peor de los casos, la exposición a PD alcanzaba el 62% del límite establecido por la ICNIRP. La saturación de la distribución espacial de CEM-RF ocurría cuando el número de haces de bajada activos superaba el 25%. Para el enlace de subida, dentro de un

radio de 5 metros desde la ubicación del usuario, la intensidad promedio del campo eléctrico puede aumentar de 2,40 a 3,98 V/m (incremento del 66%) si el número de usuarios activos en el área aumenta del 25% al 100%. Además, cuando el 100% de los usuarios transmitían activamente, solo había un 10% de probabilidad de que el SAR pudiera exceder los 0,06 W/kg (o el 3% del límite de la ICNIRP). El estudio utilizó un enfoque de trazado de rayos detallado y ofrece una visión de cómo la densidad y la distribución de usuarios afectan la exposición a CEM-RF en una red 5G en un entorno urbano denso. Aunque ninguno de los resultados superó los límites de seguridad establecidos por la ICNIRP, se destaca que la exposición puede aumentar significativamente con una mayor densificación de usuarios y dispositivos emisores.

Schmutz et al. (2022) llevaron a cabo mediciones personales de la exposición a CEM-RF en adolescentes en el área metropolitana de Londres, Reino Unido, en el contexto de la cohorte SCAMP. El objetivo principal fue caracterizar la exposición personal en adolescentes y estudiar la asociación entre la exposición y las reglas aplicadas en la escuela y en el hogar para restringir el uso de tecnologías de comunicación móvil inalámbrica, posiblemente implementadas para reducir otros efectos de la tecnología móvil. Para llevar a cabo el estudio, se midió la exposición a CEM-RF en 16 bandas de frecuencia comunes (87,5 MHz - 3,5 GHz) utilizando dispositivos de medición portátiles (ExpoM-RF) en una muestra de adolescentes en Greater London, Reino Unido. Se recopilaban datos sobre las reglas escolares y en el hogar mediante cuestionarios, y los adolescentes registraron sus actividades en tiempo real utilizando una aplicación de diario en un teléfono inteligente de estudio. Los resultados mostraron que la exposición mediana total a CEM-RF fue de 40 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ en el hogar, 94 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ en la escuela y 100 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ en general. Se observó que, en general, las restricciones en la escuela o en el hogar tenían poco impacto en la exposición medida de los adolescentes, excepto para la exposición ascendente (uplink) de teléfonos móviles en la escuela, que fue significativamente más baja para los adolescentes que asistían a escuelas que no permitían el uso de teléfonos móviles en absoluto, en comparación con los que asistían a escuelas que permitían el uso de teléfonos móviles durante los descansos. Sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa para la exposición personal total. En resumen, el estudio encontró que la exposición total a CEM-RF en adolescentes tendió a ser más alta en comparación con los niveles de exposición informados en otros países europeos. Además, las políticas escolares y las restricciones parentales no estuvieron consistentemente asociadas con una exposición más baja. Las mediciones ambientales realizadas en las aulas estuvieron moderadamente correlacionadas con las mediciones personales de exposición. Es importante tener en cuenta que la población del estudio no representaba completamente la diversidad socioeconómica y étnica de la población general del Reino Unido, lo que podría haber afectado los resultados.

Wali et al. (2022) midieron la exposición máxima producida por una estación base 5G de ondas milimétricas por encima de los 6 GHz. Para llevar a cabo la medición, se utilizaron un escáner R&S® TSMA6, software R&S® ROMES4 y un convertidor descendente R&S® TSME30DC, junto con un dispositivo de usuario (UE), GPS y una antena omnidireccional polarizada verticalmente de 26-40 GHz. Se llevaron a cabo seis pruebas basadas en diferentes momentos, direcciones de antena y conexiones de UE. La exposición máxima y promedio de la estación base 5G se comparó con el estándar ICNIRP. La exposición máxima de la estación base de 29,5 GHz fue de 5,71 V/m, y la exposición promedio más alta fue de 2,02 V/m. Se encontró que tanto la exposición máxima como la exposición promedio de CEM-RF de una sola estación base 5G estuvieron dentro de los límites estándar permitidos. Se realizaron mediciones en un estacionamiento en Cyberjaya, Malasia, a 22 metros de distancia entre el transmisor y el receptor. Se seleccionaron tres marcos de tiempo diferentes (1 minuto, 6 minutos y 30 minutos) para medir la exposición CEM-RF. El estudio encontró que la exposición máxima y promedio de CEM-RF de la estación base 5G estuvieron dentro de los límites estándar aceptados. Sin embargo, se señala la necesidad de investigaciones adicionales sobre la exposición CEM-RF en áreas con múltiples estaciones base 5G y durante períodos de medición más largos.

Tabla 3.2. Resumen de hallazgos generales y características de los estudios incluidos en la revisión sistemática.

Publicación	Resumen de hallazgos
(Aris et al., 2020)	Bandas analizadas: 27 MHz-3 GHz. Aparato utilizado: No especificado. Tipo de medida: Mediciones en casas de escuelas. Valores determinados de exposición: 97,5% por debajo de los límites griegos, por debajo del 60% del límite ICNIRP.
(Colombi et al., 2020)	Bandas analizadas: Banda NR 78 (3300-3800 MHz). Aparato utilizado: No especificado. Tipo de medida: Mediciones en una red 5G en vivo. Valores determinados de exposición: Potencia promedio por debajo del máximo teórico.
(Kurnaz y Aygun, 2020)	Bandas analizadas: 100 kHz a 3 GHz. Aparato utilizado: No especificado. Tipo de medida: Corto plazo, largo plazo y selectivas por banda. Valores determinados de exposición: Hasta 3,11 V/m, más altos durante el día.
(Lee & Choi, 2020)	Bandas analizadas: CDMA2000, WCDMA y LTE. Aparato utilizado: Dispositivos bajo prueba (DUTs). Tipo de medida: Mediciones en redes de comunicación inalámbrica. Valores determinados de exposición: Variabilidad significativa entre redes.
(Paniagua et al., 2020)	Bandas analizadas: Radio FM, televisión y telefonía móvil. Aparato utilizado: Medidor de exposición personal. Tipo de medida: Mediciones dentro y fuera de viviendas. Valores determinados de exposición: Por debajo de los límites ICNIRP.
(Ramirez-Vazquez et al., 2020a)	Bandas analizadas: Redes Wi-Fi en el área universitaria. Aparato utilizado: Expositores personales Satimo EME SPY 140. Tipo de medida: Mediciones de exposición personal a CEM-RF. Valores determinados de exposición: Exposición promedio total de 28,82 $\mu\text{W}/\text{m}^2$. Comparación con ICNIRP: Muy por debajo de las pautas establecidas por ICNIRP.
(Ramirez-Vazquez et al., 2020b)	Bandas analizadas: Diversas bandas de CEM-RF. Aparato utilizado: Expositores EME Spy 140. Tipo de medida: Mediciones de exposición personal a CEM-RF. Valores determinados de exposición: Máximo de 121 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ en exteriores y 300 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ en interiores. Comparación con ICNIRP: Todos los niveles de exposición estuvieron por debajo de los límites establecidos por las directrices internacionales.
(Šuka et al., 2020)	Bandas analizadas: Diversas bandas de sistemas móviles públicos. Aparato utilizado: No especificado. Tipo de medida: Mediciones de 24 horas durante nueve meses. Valores determinados de exposición: Variabilidad diaria dentro del $\pm 20\%$ del valor medio semanal.

Publicación	Resumen de hallazgos
(Besset et al., 2021)	<p>Bandas analizadas: FM/TV, TETRA, señales descendentes y ascendentes de teléfonos móviles, DECT y Wi-Fi.</p> <p>Aparato utilizado: Exposímetros de tres ejes.</p> <p>Tipo de medida: Mediciones individuales en neonatos prematuros.</p> <p>Valores determinados de exposición: Por debajo del umbral recomendado de 50 V/m.</p>
(De Giudici et al., 2021)	<p>Bandas analizadas: Bandas de frecuencia GSM y Wi-Fi.</p> <p>Aparato utilizado: Mediciones puntuales en el hogar y medidores de exposición personal (PEM).</p> <p>Tipo de medida: Mediciones en personas que viven cerca de estaciones base de teléfonos móviles.</p> <p>Valores determinados de exposición: Por debajo de los límites ICNIRP.</p>
(Iyare et al., 2021)	<p>Bandas analizadas: Bandas de frecuencia 2G, 3G y 4G.</p> <p>Aparato utilizado: Samsung Galaxy S20 y analizador de espectro.</p> <p>Tipo de medida: Mediciones en interiores.</p> <p>Valores determinados de exposición: Grandes diferencias entre generaciones de redes.</p>
(Olorunsola et al., 2021)	<p>Bandas analizadas: Bandas GSM 900 MHz, GSM 1800 MHz y Wi-Fi 2400 MHz.</p> <p>Aparato utilizado: Analizador espectral selectivo de radiación HF-2025E.</p> <p>Tipo de medida: Mediciones temporales en áreas sensibles.</p> <p>Valores determinados de exposición: Por debajo de los límites ICNIRP.</p>
(Onishi et al., 2021)	<p>Bandas analizadas: Desde 700 MHz hasta 3500 MHz.</p> <p>Aparato utilizado: Analizador de espectro con sonda isotrópica.</p> <p>Tipo de medida: Mediciones en áreas urbanas y suburbanas, incluyendo centro comercial subterráneo.</p> <p>Valores determinados de exposición: Muy por debajo de las pautas de protección.</p>
(Ramirez-Vazquez et al., 2021)	<p>Bandas analizadas: Bandas Wi-Fi 2G (2400-2500 MHz) y Wi-Fi 5G (5150-5850 MHz).</p> <p>Aparato utilizado: Exposímetro personal Satimo EME SPY 140.</p> <p>Tipo de medida: Mediciones personales en diferentes microambientes.</p> <p>Valores determinados de exposición: Por debajo de los límites ICNIRP, preocupación pública disminuyó.</p>
(Selmaoui et al., 2021)	<p>Bandas analizadas: Bandas de frecuencia 5G (3,4-3,8 GHz).</p> <p>Aparato utilizado: Dosímetros (ExpoM-RF y EME Spy 200) y analizador de espectro.</p> <p>Tipo de medida: Mediciones en diversas zonas urbanas y rurales.</p> <p>Valores determinados de exposición: 5G contribuye al 15%, por debajo de los límites ICNIRP.</p>
(Hamiti et al., 2022)	<p>Bandas analizadas: Radiofrecuencia (CEM-RF).</p> <p>Aparato utilizado: Exposímetro EME Spy 140.</p> <p>Tipo de medida: Mediciones tipo spot.</p> <p>Dónde midieron: Escuela primaria en Pristina, Kosovo, dentro y fuera del edificio escolar.</p> <p>Valores determinados de exposición: Dentro del edificio escolar, densidad de potencia promedio de 213 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (días laborables) y 109 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (fines de semana).</p> <p>Por encima o por debajo de ICNIRP: Por debajo de los límites ICNIRP.</p>

Publicación	Resumen de hallazgos
(Iakovidis et al., 2022)	<p>Bandas analizadas: Radiofrecuencia (CEM-RF). Aparato utilizado: Datos públicos de redes de monitoreo continuo y mediciones in situ. Tipo de medida: Mediciones continuas y mediciones in situ. Dónde midieron: Diferentes microentornos y regiones europeas. Valores determinados de exposición: Valores medianos del campo eléctrico en redes de monitoreo y mediciones in situ. Por encima o por debajo de ICNIRP: Dentro de los límites ICNIRP.</p>
(Markussen et al., 2022)	<p>Bandas analizadas: Diversas bandas de frecuencia, incluyendo 4G y 5G. Aparato utilizado: Equipos de medición de Rohde & Schwarz. Tipo de medida: Mediciones tipo spot. Dónde midieron: Kristiansand, Noruega, en áreas públicas. Valores determinados de exposición: En su mayoría por debajo del 1‰ del valor límite. Por encima o por debajo de ICNIRP: Por debajo de los límites ICNIRP.</p>
(Mohammed et al., 2022)first in 2012 (pilot survey)	<p>Bandas analizadas: GSM900, GSM1800, UMTS2100. Aparato utilizado: No especificado. Tipo de medida: Mediciones tipo spot. Dónde midieron: Ciudad de Khartoum, Sudán. Valores determinados de exposición: Medias de exposición en diferentes distancias de antenas. Por encima o por debajo de ICNIRP: Algunos valores superaron los límites de ICNIRP.</p>
(Salem et al., 2022)	<p>Bandas analizadas: 5G (mm-Wave). Aparato utilizado: Escáner R&S® TSMA6 y otros equipos. Tipo de medida: Mediciones tipo spot. Dónde midieron: Entorno urbano denso no especificado. Valores determinados de exposición: Exposición máxima y promedio de la estación base 5G mm-Wave. Por encima o por debajo de ICNIRP: Dentro de los límites ICNIRP.</p>
(Schmutz et al., 2022)	<p>Bandas analizadas: 87,5 MHz - 3,5 GHz. Aparato utilizado: ExpoM-RF y dispositivos portátiles de medición. Tipo de medida: Mediciones personales. Dónde midieron: Greater London, Reino Unido. Valores determinados de exposición: Exposición mediana total en diferentes ubicaciones. Por encima o por debajo de ICNIRP: Algunos niveles de exposición fueron más altos en comparación con otros países europeos, pero no se menciona si excedieron los límites ICNIRP.</p>
(Wali et al., 2022)	<p>Bandas analizadas: Frecuencias por encima de los 6 GHz en el espectro de ondas milimétricas (mm-Wave). Aparato utilizado: Escáner R&S® TSMA6, software R&S® ROMES4, convertidor descendente R&S® TSME30DC, dispositivo de usuario (UE), GPS y antena omnidireccional. Tipo de medida: Mediciones de exposición CEM-RF. Valores determinados de exposición: Exposición máxima de 5,71 V/m y exposición promedio más alta de 2,02 V/m. Comparación con ICNIRP: Ambos valores de exposición máxima y promedio estaban dentro de los límites estándar permitidos por ICNIRP.</p>

3.4.2. Nuevas metodologías y dificultades a la hora de medir exposición a 5G

En la Tabla 3.3 se presentan los 19 trabajos sobre modelos, aproximaciones y estimaciones de la exposición personal a CEM-RF en redes 5G. Se excluyeron aquellos trabajos que introducían nuevos dispositivos o que no aportaban estimaciones o metodologías para la caracterización de la exposición en 5G.

Los trabajos se han clasificado en las siguientes categorías, aunque algunos de ellos podrían estar en varias de estas categorías ya que abordan diferentes temáticas:

Modelado y Simulación de Exposición EMF en Entornos 5G

Estos estudios se centran en el modelado y la simulación para evaluar la exposición a campos electromagnéticos en entornos 5G. Las investigaciones abarcan desde escenarios de transporte público hasta entornos urbanos y rurales, utilizando técnicas avanzadas como la formación de haz 3D y la geometría estocástica. Aunque las metodologías varían, todos los estudios buscan proporcionar una comprensión más precisa y detallada de la exposición EMF en la era 5G.

Celaya-Echarri et al. (2020) se centraron en modelar la exposición a CEMen tranvías urbanos desde 2G hasta 5G. Presentan un enfoque de simulación para evaluar la exposición en diferentes densidades de usuarios y frecuencias. El artículo valida su metodología con mediciones experimentales y concluye que los niveles de exposición están por debajo de los límites establecidos por las directrices de la ICNIRP.

Bonato et al. (2021) introducen un nuevo enfoque basado en la dosimetría estocástica para estudiar la variabilidad de la exposición a campos electromagnéticos en redes 5G interiores. Utiliza una combinación de métodos computacionales tradicionales y técnicas estocásticas para evaluar la exposición en diferentes patrones de formación de haces de antena.

Morelli et al. (2021) utilizan el método de diferencias finitas en el dominio del tiempo para estimar la absorción de energía de radiofrecuencia en diferentes modelos humanos en escenarios de uso real de dispositivos 5G. Concluye que todos los escenarios de exposición cumplen con los límites de seguridad, pero sugiere la necesidad de análisis más detallados.

Muhammad et al. (2021) utilizan un enfoque de geometría estocástica para investigar la exposición a campos electromagnéticos en una red celular con estaciones base sub-6 GHz y de onda milimétrica. El artículo ofrece perspectivas sobre cómo varios parámetros del sistema, como la densidad de la estación base y el número de elementos de antena, afectan los niveles de exposición.

Schiavoni et al. (2022) proponen una metodología para cuantificar un factor de reducción de potencia espacial en la evaluación de la exposición a CEM de antenas maMIMO 5G. Utilizan contadores de monitoreo de potencia por regiones angulares para adaptar la evaluación de la exposición a la variabilidad del patrón de radiación de la antena.

Medición y Evaluación Experimental de Exposición EMF en 5G

Estos estudios se centran en la medición y evaluación experimental de la exposición a campos electromagnéticos en entornos 5G. Se utilizan técnicas avanzadas, como el análisis de Monte Carlo y las redes generativas adversarias, para obtener una comprensión más precisa de la exposición real en diferentes escenarios y condiciones.

Franci et al. (2020) proponen un procedimiento para una estimación precisa de la potencia máxima recibida de una fuente 5G. Aborda las complejidades introducidas por las nuevas técnicas de multiplexación espacial y de tiempo en 5G y valida su enfoque con investigaciones experimentales preliminares.

Joshi et al. (2020) presentan resultados sobre los niveles de potencia de salida reales del equipo de usuario 5G en redes comerciales. Utiliza una plataforma de gestión de red para recopilar datos y concluye que los niveles de potencia de salida están muy por debajo del máximo, lo que es relevante para la evaluación de la exposición a CEM.

Lundgren et al. (2021) presentan una técnica de medición de campo cercano para la evaluación de la exposición a campos electromagnéticos de dispositivos 5G que operan en frecuencias superiores a 6 GHz. La técnica se basa en la reconstrucción de la fuente en una superficie predefinida que representa la apertura radiante de la antena.

Susnjara et al. (2022) investigan la exposición a CEM en entornos interiores, específicamente en un entorno de oficina, utilizando un enfoque de medición experimental. El estudio es relevante para entender cómo las condiciones específicas del entorno interior afectan los niveles de exposición.

Xu et al. (2021a) desarrollan un modelo analítico para evaluar la exposición máxima real a campos electromagnéticos de antenas de estación base de radio 5G multicolumna. El estudio muestra que los métodos tradicionales de evaluación de la conformidad son altamente conservadores para este tipo de antenas.

Xu et al. (2021b) realizan un análisis de Monte Carlo para calcular la exposición máxima real a campos electromagnéticos de una antena de estación base de radio de onda milimétrica. El artículo concluye que la exposición real está muy por debajo del máximo teórico.

Bechta et al. (2022) presentan un análisis comparativo de métodos de extrapolación para evaluar la exposición a campos electromagnéticos en entornos de dispersión. Sugiere que el uso del patrón de antena efectivo puede reducir la sobreestimación de la exposición máxima en entornos de no línea de vista.

Chiaraviglio et al. (2022) se centran en la evaluación de la exposición a campos electromagnéticos en estaciones base 5G que operan en frecuencias de onda milimétrica. Utiliza un marco de medición innovador para evaluar el impacto del tráfico de enlace descendente en los niveles de exposición.

Elbasheir et al. (2022) presentan una evaluación de la exposición a CEM en diferentes escenarios urbanos y rurales para una estación base de red móvil de tecnología múltiple, incluido la 5G. Utiliza simulaciones y mediciones de campo para validar los resultados, que muestran que la exposición total está muy por debajo de los límites internacionales.

Mallik et al. (2022): Este artículo propone una red generativa adversaria condicional para reconstruir mapas de exposición a campos electromagnéticos en entornos urbanos exteriores. El modelo se entrena para aprender y estimar las características de propagación del campo electromagnético según la topología de un entorno dado.

Impacto y Seguridad de la Exposición EMF en 5G

Estos estudios se centran en el impacto y la seguridad de la exposición a campos electromagnéticos en entornos 5G. Se investiga la exposición real en diferentes escenarios y se evalúa su conformidad con las directrices y estándares internacionales.

Gallucci et al. (2022) evalúan la exposición humana a campos electromagnéticos debido a antenas portátiles sintonizadas a bandas de frecuencia 5G. Utiliza simulaciones numéricas electromagnéticas para cuantificar la tasa de absorción específica y la densidad de potencia absorbida, concluyendo que los niveles de exposición cumplen con las pautas de la ICNIRP cuando se considera una potencia de entrada realista.

Héliot et al. (2022) utilizan una plataforma de pruebas mMIMO totalmente reconfigurable para recopilar evidencia experimental de la exposición a campos electromagnéticos de estaciones base 5G en un entorno exterior real. El artículo indica que la exposición varía significativamente según las direcciones del haz y el entorno, lo que confirma la naturaleza estocástica de la exposición en sistemas 5G.

Tecnologías y Protocolos de Medición para 5G

Estos estudios se centran en el desarrollo y la adaptación de tecnologías y protocolos de medición para evaluar la exposición en entornos 5G. Se busca mejorar la precisión y la relevancia de las mediciones para garantizar una evaluación adecuada de la exposición.

Velghe et al. (2021) presentan una metodología para medir la exposición personal a los CEM-RF en redes 5G. Los autores resaltan los desafíos de evaluar con precisión la exposición en las tecnologías 5G debido a las altas variaciones espaciotemporales y la inclusión de la exposición autoinducida de las estaciones base. El protocolo propuesto incluye un enfoque basado en la actividad para estudios de encuestas y mediciones microambientales. El artículo enfatiza la necesidad de actualizar los métodos actuales de medición de exposición para tener en cuenta los cambios introducidos por las tecnologías 5G NR. Además, discute las implicaciones de la tecnología 5G en la evaluación de la exposición personal a CEM-RF, ya que la tecnología 5G, con su uso de multiplexación espacial y haces estrechos, resultará en una mayor exposición para los usuarios. También destaca la mayor incertidumbre en la medición de la exposición debido a la naturaleza dinámica de 5G y el uso de frecuencias más altas. El artículo sugiere la necesidad de un nuevo protocolo de medición y equipos para evaluar con precisión la exposición en la era 5G.

Colombi et al. (2022) presentan una metodología para medir in situ la exposición a CEM-RF provenientes de estaciones base de 5G que operan en frecuencias de mmW. Las mediciones se realizaron en proximidad a dos estaciones base de 5G que operan a 28 y 39 GHz. La densidad de potencia medida de las estaciones base fue inferior a 30 mW/m² a una distancia de aproximadamente 10 m. El estudio es importante para los comités de estandarización que abordan técnicas de medición para evaluar la exposición de las redes móviles, puesto que discute los métodos y prácticas para las mediciones in situ de la exposición proveniente de estaciones base de 5G. Los autores realizaron varios casos de prueba para medir la densidad de potencia y extrapolar la densidad de potencia máxima en un punto de interés. Utilizaron una antena direccional para medir la densidad de potencia y compararon los valores medidos con los valores extrapolados. También utilizaron un contador de red para monitorear la potencia promedio transmitida por las estaciones base. Los resultados mostraron que la densidad de potencia medida estaba por debajo del 1% de los niveles de referencia de ICNIRP y que los valores extrapolados coincidían bien con los valores medidos. Los autores también discutieron el efecto de la desalineación de la polarización en la evaluación de la exposición. En general, el estudio proporciona información sobre los métodos y prácticas de medición para la exposición a CEM-RF en entornos 5G.

Tabla 3.3. Estudios de metodologías, nuevas experiencias, estimaciones, etc. de la exposición personal en redes 5G.

Publicación	Aportación
Modelado y Simulación de Exposición EMF en Entornos 5G	
(Celaya-Echarri et al., 2020)	Presenta un estudio detallado de la caracterización del campo eléctrico en comunicaciones móviles personales dentro de tranvías urbanos, considerando tecnologías desde 2G hasta 5G.
(Bonato et al., 2021)	Aborda la variabilidad de la exposición en presencia de un punto de acceso con capacidad de formación de haz 3D.
(Morelli et al., 2021)	Analiza diferentes escenarios de exposición simulando el uso común de smartphones/tablets por diferentes individuos.
(Muhammad et al., 2021)	Proporciona un marco analítico para investigar la exposición EMF en una red celular con coexistencia de sub-6 GHz y estaciones base mmW usando geometría estocástica.
(Schiavoni et al., 2022)	Propone una metodología para cuantificar un factor de reducción de potencia espacial estadística en la evaluación de exposición RF EMF.
Medición y Evaluación Experimental de Exposición EMF en 5G	
(Franci et al., 2020)	Propone un procedimiento para una estimación precisa del poder máximo instantáneo recibido de una fuente 5G.
(Joshi et al., 2020)	Presenta resultados sobre los niveles de potencia de salida reales de equipos de usuario 5G operando en redes comerciales 5G.
(Lundgren et al., 2021)	Introduce una técnica de medición de campo cercano de vanguardia adecuada para la evaluación de la exposición de dispositivos 5G portátiles.
(Šušnjara et al., 2021)	Investiga la exposición a campos electromagnéticos en entornos interiores, específicamente en un entorno de oficina, utilizando un enfoque de medición experimental.
(Xu et al., 2021a)	Analiza la exposición máxima real de antenas de estación base de radio 5G.
(Xu et al., 2021b)	Realiza un análisis de Monte Carlo para evaluar la exposición máxima real de una antena de estación base 5G mm-Wave.
(Bechta et al., 2022)	Realiza un análisis comparativo de métodos de extrapolación basados en patrones de antena nominales y efectivos.
(Chiaraviglio et al., 2022)	Se centra en la evaluación de la exposición a campos electromagnéticos en estaciones base 5G que operan en frecuencias de onda milimétrica (mm-Wave). Utiliza un marco de medición innovador para evaluar el impacto del tráfico de enlace descendente en los niveles de exposición.
(Elbasheir et al., 2022)	Presenta una evaluación de la exposición a la radiación de campos electromagnéticos en humanos desde una única estación base de una red móvil en diferentes escenarios.
(Mallik et al., 2022)	Propone una red generativa adversaria condicional para reconstruir el mapa de exposición electromagnética según la topología del entorno.

Publicación	Aportación
Impacto y Seguridad de la Exposición EMF en 5G	
(Gallucci et al., 2022)	Evalúa la exposición humana a EMF debido a dos diferentes antenas portables sintonizadas a dos bandas 5G.
(Héliot et al., 2022)	Utiliza un testbed mMIMO totalmente reconfigurable para recopilar evidencia basada en experimentos de la exposición EMF de una estación base 5G en un entorno real.
Tecnologías y Protocolos de Medición para 5G	
(Velghe et al., 2021)	Desarrolla un protocolo general de estudio para futuras investigaciones de exposición personal CEM-RF adaptadas a las tecnologías 5G.
(Colombi et al., 2022)	Presenta una metodología para mediciones in situ de la exposición a campos electromagnéticos de estaciones base 5G que operan en frecuencias mmW.

3.5. Discusión y conclusiones

3.5.1. Exposición personal a CEM-RF

Los 22 estudios incluidos en la revisión abarcan una amplia gama de metodologías y contextos, desde mediciones en áreas urbanas y suburbanas hasta entornos más específicos como escuelas, hospitales y hogares. En términos de instrumentación, se observa una diversidad de herramientas utilizadas para medir la exposición a CEM-RF, incluyendo analizadores de espectro y exposímetros personales. Algunos estudios incluso emplearon técnicas de trazado de rayos para estimar la exposición en entornos urbanos densos. Esta variedad en las herramientas y métodos sugiere una riqueza en los enfoques, pero también plantea preguntas sobre la comparabilidad directa de los resultados entre diferentes estudios.

Hay cierta heterogeneidad entre las mediciones realizadas con exposímetros personales y las mediciones de tipo “spot”, posiblemente debido a la presencia de fuentes locales como teléfonos móviles. Estas mediciones personales ofrecen una visión más completa de la exposición durante diversas actividades cotidianas, pero pueden verse afectadas por factores como el apantallamiento corporal (López et al., 2015) y la incapacidad para medir la exposición pico en áreas específicas del cuerpo. Por otro lado, las mediciones de tipo “spot” ofrecen un punto de referencia más controlado y son menos susceptibles a fuentes locales de CEM-RF, pero no capturan la variabilidad de la exposición en diferentes entornos y actividades. Además, estos métodos tienen limitaciones técnicas, como la incapacidad para corregir completamente el “cross-talk” (interferencia entre bandas de frecuencia) y otros factores que pueden afectar la precisión de las mediciones.

Otro aspecto destacable es que los estudios no proporcionan el número de valores por debajo del umbral del aparato y no se especifica completamente el tratamiento que se realiza con estos valores, lo cual podría condicionar el resultado final de la medida de exposición (Najera et al., 2020).

En cuanto a los resultados, una constante en la mayoría de los estudios es que los niveles de exposición a CEM-RF generalmente se encuentran por debajo de los límites recomendados por la ICNIRP o las pautas nacionales correspondientes. Sin embargo, es notable que el estudio realizado en Sudán por Mohammed et al. (2022) informó de algunos valores que excedieron los límites de la ICNIRP. Además, varios estudios mostraron que hay una variabilidad tanto temporal como espacial en los niveles de exposición, lo que podría tener implicaciones para la evaluación del riesgo a largo plazo.

En el ámbito de la salud pública, el estudio de Ramirez-Vazquez et al. (2021) en México mostró que la preocupación pública sobre la exposición a CEM-RF disminuyó una vez que los participantes fueron informados de los resultados. Esto sugiere que la educación y la comunicación efectiva podrían ser herramientas valiosas para mitigar la preocupación pública. Por otro lado, el estudio de Schmutz et al. (2022) en el Reino Unido encontró que las políticas escolares y las restricciones parentales no estaban consistentemente asociadas con niveles más bajos de exposición entre los adolescentes, lo que plantea preguntas sobre la eficacia de las medidas de mitigación basadas en políticas.

En cuanto a las limitaciones, varios estudios se llevaron a cabo durante períodos de tiempo relativamente cortos, lo que podría no capturar la exposición a CEM-RF a lo largo del tiempo. Además, algunos estudios, como el de Onishi et al. (2021) en Japón, no pudieron incluir mediciones para la tecnología 5G, ya que aún no estaba disponible en la región en el momento del estudio.

Finalmente, en términos de futuras investigaciones, el estudio de Iakovidis et al. (2022) sugiere la necesidad de un marco común para homogeneizar los resultados entre diferentes países y facilitar conclusiones más útiles en el futuro. Esto podría ser especialmente relevante dado que la exposición a CEM-RF es una preocupación global que trasciende las fronteras nacionales (Röösli et al., 2010).

En resumen, aunque hay una variabilidad considerable en los métodos y contextos de estos estudios, la conclusión general es que los niveles actuales de exposición a CEM-RF están, en la mayoría de los casos, por debajo de los límites de seguridad establecidos. Sin embargo, hay variabilidad en la exposición dependiendo del tiempo y el lugar, por lo que se necesita más investigación para obtener un entendimiento más completo de la exposición a largo plazo y sus posibles efectos en la salud.

3.5.2. Evaluación de la exposición a CEM en entornos 5G

Los 19 estudios presentados abordan una variedad de aspectos relacionados con la exposición a CEM en el contexto de las redes 5G. La relevancia de estos trabajos radica en su contribución a la comprensión y la regulación de la exposición humana a CEM en un entorno tecnológico en rápido desarrollo. Los estudios abarcan desde el modelado y la simulación hasta la medición experimental y la evaluación en diferentes escenarios y tecnologías.

Uno de los problemas más apremiantes que se intentan resolver es la falta de métodos estandarizados para medir y evaluar la exposición a CEM en entornos 5G. Trabajos como los de Colombi et al. (2022) y Velghe et al. (2021) son fundamentales para establecer protocolos de medición confiables. Estos estudios son especialmente relevantes dado que las redes 5G utilizan una variedad de nuevas tecnologías, como la formación de haces y las frecuencias de onda milimétrica, que pueden complicar las mediciones de CEM.

Otro aspecto crucial es la variabilidad en la exposición a CEM, tanto en el tiempo como en el espacio. Estudios como el de Bonato et al. (2021) abordan este problema al introducir métodos que consideran la variabilidad en sus modelos. Esta variabilidad es especialmente relevante en entornos urbanos densos y en situaciones donde la exposición puede variar significativamente en cortos períodos de tiempo o distancias.

La sobreestimación de la exposición es otra preocupación que varios estudios intentan abordar. Por ejemplo, Xu et al. (2021a) y Bechta et al. (2022) se centran en proporcionar métodos más realistas para evaluar la exposición, lo cual es crucial para la regulación precisa y la aceptación pública de las tecnologías 5G.

En cuanto a las debilidades, aunque estos estudios hacen contribuciones significativas, la mayoría se centra en escenarios específicos o tecnologías particulares. Esto podría limitar la aplicabilidad general de sus hallazgos. Además, la rápida evolución de las tecnologías 5G podría hacer que algunos de estos métodos se vuelvan obsoletos rápidamente.

En resumen, estos estudios colectivamente aportan una visión integral de los desafíos y soluciones en la evaluación de la exposición a CEM en el contexto de las redes 5G. Abordan problemas críticos como la falta de métodos de medición estandarizados, la variabilidad en la exposición y la sobreestimación de los niveles de exposición. Sin embargo, aún queda mucho por hacer, especialmente en términos de desarrollar métodos que sean tanto precisos como ampliamente aplicables a diversos entornos y tecnologías.

4

Estudios Experimentales in vivo e in vitro



Desde la primera generación de teléfonos móviles a finales de los 80 del siglo XX hasta la recientemente implementada 5G, con bandas de frecuencia más altas, se han estudiado de manera exhaustiva los posibles efectos adversos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) en los seres humanos, principalmente los posibles efectos cancerígenos, centrándose en los gliomas y neurinomas acústicos.

En el último informe publicado por el CCARS en 2019 (publicaciones del periodo 2016-2019) se concluía que, analizados los estudios epidemiológicos tanto retrospectivos como prospectivos, y estudios in vivo e in vitro, no se podía demostrar que el uso de teléfonos móviles estuviera relacionado con la aparición de tumores malignos. Todos estos tipos de análisis permiten evaluar los posibles riesgos y que los organismos competentes y las autoridades sanitarias establezcan las normas regulatorias pertinentes. Asimismo, deben servir para que los usuarios y la población general tengan acceso en todo momento al estado actual de la ciencia en este tema.

Para la elaboración de este capítulo se ha revisado la literatura científica de los años 2020, 2021 y 2022. Específicamente estudios de experimentación en laboratorio, tanto los que se llevan a cabo en animales (in vivo), como los que se realizan con cultivos celulares (in vitro). Estos trabajos se centran fundamentalmente en los efectos carcinogénicos, aunque también se estudian otros: alteraciones en el sistema reproductivo, genotoxicidad, proliferación celular, expresión génica, señalización celular, función de membrana, cambios en la temperatura, y la supervivencia.

Aunque actualmente la mayoría de las fuentes de telecomunicación funcionan a frecuencias inferiores a 6 GHz, se revisan los artículos que estudian los efectos de los CEM-RF con frecuencias superiores, que afecta en particular a la telefonía móvil 5G. La aparición de la nueva tecnología 5G ha vuelto a suscitar la preocupación en la población general por sus posibles efectos adversos para la salud humana.

Los estudios in vivo se llevan a cabo, por motivos ético y prácticos, con ratones y ratas. Estos tienen una similitud genómica con humanos del 70-90%, lo que permite obtener una información útil de los posibles efectos tras la exposición a CEM-RF. Los estudios in vitro son más rápidos y sencillos, siendo las exposiciones de minutos a días. Estos se llevan a cabo sobre cultivos celulares o sistemas biológicos aislados, incluso a nivel molecular.

Hay que destacar la heterogeneidad de la metodología y el rigor de los artículos revisados sobre el tema de este capítulo. Para la selección de trabajos se debe tener en cuenta la calidad y prestigio de las diferentes revistas. Deben seleccionarse las de un alto índice de impacto, y evitar las de bajo índice y las que publican bajo pago de los autores.

Hay que valorar e interpretar con prudencia los resultados de los estudios in vivo e in vitro ya que datos obtenidos no son extrapolables a humanos

En general, poco se puede añadir desde el último informe. En estos últimos años se ha observado un interés creciente sobre los aspectos reproductivos relacionados con la exposición a CEM-RF. Es destacable el metaanálisis realizado por Yu et al. (2021) sobre los efectos de la radiación de los teléfonos móviles en la calidad del esperma (densidad, motilidad, viabilidad, morfología e índice de fragmentación del DNA (IFD)). Incluyen 39 estudios llevados a cabo tanto en humanos como en modelo animal. Las conclusiones de este metaanálisis indicaron que, en Europa Oriental y Asia Occidental, el uso del teléfono móvil se asocia a una disminución de la densidad y motilidad del esperma humano. Los resultados de los estudios transversales en humanos no demostraron una asociación entre el uso del teléfono móvil y una disminución de la calidad del esperma. Los CEM-RF de los teléfonos móviles puede reducir la motilidad y viabilidad del esperma humano maduro in vitro, también puede

reducir la motilidad y viabilidad del espermatozoides en animales machos y disminuir la densidad espermática de ratas sexualmente maduras. La heterogeneidad de los estudios in vivo se debe a la configuración de los estudios, el dispositivo de radiación, así como la edad y el tiempo de exposición. Este trabajo de Yu et al. es una ampliación de experimentos anteriores y tiene valor científico para futuros estudios sobre los efectos de la RF de teléfonos móviles asociada a la calidad del espermatozoides. Los autores recomiendan que, en el futuro, se apliquen nuevos criterios estandarizados para evaluar los efectos potenciales de la RF de los teléfonos móviles. Deberían evaluarse otros parámetros relacionados con el espermatozoides a nivel funcional y molecular, así como los cambios en las características biológicas de las células germinales.

Liu et al. (2014) confirman que el tiempo de exposición y el dispositivo radiante podían ser una causa de la heterogeneidad entre estudios. El estudio de Yu et al. (2021) mostraba que el tiempo de exposición contribuía a la heterogeneidad en la motilidad del espermatozoides en ratas. Sin embargo, la heterogeneidad era grande en el subgrupo de larga exposición (rango de 168 h -1.095 h).

Sundaram et al. (2022) analizan los efectos de los CEM de frecuencia intermedia de 150 kHz sobre los indicadores de fertilidad en ratas macho, dado que la exposición humana a esta frecuencia ha aumentado en los últimos años. En este estudio se utilizaron catorce ratas Sprague-Dawley macho adultas. Las ratas se dividieron aleatoriamente en un grupo de control y un grupo irradiado (n = 7/grupo). Este último fue irradiado de manera continua con RF de 150 kHz durante 8 semanas. Se evaluaron los indicadores de fertilidad masculina: masa corporal, masa testicular, temperatura rectal, histología testicular, histometría, análisis espermático y los niveles séricos de hormonas gonadotrópicas. Este estudio mostró que no hubo efectos negativos en la masa corporal, en la temperatura rectal y en la histología testicular. Sí se apreciaron reducciones en la masa testicular izquierda y derecha, en el conteo de células intersticiales, en las trayectorias de motilidad espermática y en la gotita citoplasmática distal del espermatozoides. También se observó un incremento significativo en los niveles de la hormona estimulante del folículo (FSH). Sin embargo, la mayoría de los parámetros de fertilidad masculina considerados en este estudio no se vieron afectados.

Ken Karipidis et al. (2021) y Woods et al. (2021) publicaron en 2021 una extensa revisión sobre los posibles efectos de la telefonía 5G de bajo nivel en la salud humana. Se limitaron a estudios experimentales en los que el nivel de exposición de la RF declarado era igual o inferior a los límites ocupacionales especificados por la Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP, 2020). Para los estudios in vitro, en los que los límites son más elevados, incluyeron estudios con densidad de potencia (DP) de hasta 100-200 W/m². La revisión incluyó 106 estudios experimentales (91 in vivo y 15 in vitro). Investigaron diversos efectos biológicos como la genotoxicidad, proliferación celular, expresión génica, señalización celular, función de membrana y otros efectos. Aunque los métodos utilizados para investigar estos indicadores fueron, en general rigurosos, muchos estudios carecían de una serie de criterios de calidad. No se explicaba adecuadamente la dosimetría, la incorporación de controles positivos, las evaluaciones ciegas o la medición y el control preciso de la temperatura del sistema biológico que se estaba analizando.

Las características de exposición variaron considerablemente entre los diferentes estudios y el tamaño del efecto más alto agrupado alrededor de una densidad de potencia (PD) de aproximadamente 1 W/m². El metaanálisis de los estudios experimentales en el artículo complementario de Wood (2021) mostró que no había una relación dosis-respuesta entre la exposición (ya sea PD o SAR) y el tamaño del efecto. De hecho, los estudios con una mayor exposición tendieron a mostrar un tamaño del efecto menor, lo cual parece contradictorio. La mayoría de los estudios que mostraron un efecto grande se realizaron en el rango de frecuencia entre 40 y 55 GHz, lo que representa investigaciones sobre el uso de ondas milimétricas (mmW) con fines terapéuticos, en lugar de consecuencias nocivas para la salud.

Aunque muchos de los estudios experimentales han informado una variedad de efectos biológicos, los resultados han sido contradictorios y generalmente no se reprodujeron de forma independiente. Los autores constataron que la calidad estimada de los trabajos ha aumentado en los últimos años, por lo que debería concederse más importancia a los estudios más recientes. Muchas de las conclusiones de este metaanálisis no se habían comunicado anteriormente y tienen importantes implicaciones para la interpretación general de los datos in vitro e in vivo. Los autores concluyen que la revisión de estos estudios experimentales no proporciona evidencia confirmada de que los niveles bajos de ondas milimétricas (MMF) estén asociados a efectos biológicos relevantes para la salud humana. Hay pocas pruebas consistentes que apoyen la existencia de efectos biológicos de las ondas milimétricas con niveles inferiores a los límites ocupacionales de la ICNIRP.

Para que los estudios sobre los posibles efectos de los CEM-RF sean fiables y reproducibles, se está dando especial importancia a la metodología, aplicando metodologías detalladas, rigurosas, y transparentes. Es necesario que se registren minuciosamente los detalles de los componentes electromagnéticos y biológicos. Las condiciones y los controles biológicos también deben tenerse en cuenta para producir un experimento fiable y reproducible. La descripción de los componentes electromagnéticos y biológicos del estudio deben detallarse con el fin de proporcionar datos suficientes para la reproducibilidad del experimento. Hansen et al. (2020) recalcan que independientemente de la exposición a radiofrecuencia que el investigador desee usar, la señal de radiofrecuencia y su dirección han de estar perfectamente caracterizadas. También apuntan a la importancia de los aspectos de los sistemas biológicos en los estudios. Para los estudios in vitro, los niveles del medio en el contenedor o la geometría de este pueden alterar las condiciones de contorno y afectar el modo en el que el CEM al cultivo. Para los estudios in vivo, apuntan que la decisión de restringir el movimiento del animal puede causar estrés y cambios hormonales que pueden afectar la integridad de los resultados. Se muestran estos como ejemplo de los factores que pueden impactar en la reproducibilidad de los resultados.

Begimbetova et al. (2020) revisan y analizan los estudios existentes que indican diversos efectos negativos de los CEM-RF sobre las células humanas y animales. Aunque apuntan a una posible evidencia de efectos potencialmente dañinos a nivel de ADN y del estrés oxidativo, reconocen que existe una gran cantidad de datos contradictorios sobre el efecto de los CEM en el cuerpo humano. En sus conclusiones apuntan que las radiaciones no ionizantes de baja frecuencia y durante cortos periodos de tiempo no producen efectos adversos, e indican que sólo nuevas investigaciones pueden dar una respuesta a los posibles efectos negativos del uso de teléfonos móviles y redes Wi-Fi.

En cuanto a la función cardíaca, Martinelli et al. (2022) indican que no hay evidencia que sustente que la exposición a radiación electromagnética afecte a dicha función. En su trabajo, examinaron la respuesta antioxidativa y la situación de la apoptosis in vitro e in vivo, no encontrando ninguna diferencia significativa entre los controles y los cardiomiocitos y cardiomioblastos de ratones expuestos a radiación electromagnética.

La apoptosis es un importante “programa de muerte celular” que se encarga de eliminar las células dañadas, células disfuncionales o que ya no son necesarias para promover la homeostasis y la supervivencia de los órganos. Está muy conservado en los organismos pluricelulares y está controlado genéticamente. Varios estudios experimentales in vitro e in vivo han abordado los efectos de sobre el proceso apoptótico como consecuencia de las exposiciones a CEM-RF, a frecuencias y señales típicas de las telecomunicaciones. A este respecto, Romeo et al. (2022), llevaron a cabo una revisión general de los estudios in vitro con células de mamíferos. Se consideraron aptos para su inclusión los estudios in vitro que evaluaran la apoptosis en células de mamíferos expuestas a CEM-RF, que cumplieran los criterios básicos de calidad (control simulado, al menos tres experimentos independientes, análisis dosimétrico adecuado y monitorización de la temperatura). Se realizó una revisión sistemática de la literatura. De los 4.362 artículos analizados, se seleccionaron 121 en un primer filtro y finalmente única-

mente 42 cumplían los criterios básicos de calidad. Se agruparon los datos con respecto a la exposición (frecuencia, nivel de exposición y duración) y a los parámetros biológicos (tipo de célula, criterio de valoración). Se destacaron algunas tendencias cualitativas con respecto a la detección de un efecto significativo de la RF sobre el proceso apoptótico. En su revisión concluyen que la amplia mayoría (84,7%) de los experimentos no encontraron efectos estadísticamente significativos. En aquellos que sí mostraban efectos significativos, mostraban una mayor incidencia los vinculados a un nivel de exposición por encima de los límites (30,1%) y los vinculados a las exposiciones agudas (42,6%). Cabe destacar la disparidad entre los resultados de estudios obtenidos mediante el uso de células humanas y animales, encontrándose efectos estadísticamente significativos en el 13,5% y el 20% respectivamente. Los autores concluyen que la evidencia presentada es una confirmación más de que, a pesar de la gran cantidad de artículos relevantes disponibles en la literatura, es necesario realizar un enorme esfuerzo en la investigación bioelectromagnética hacia la mejora de la calidad experimental, para garantizar la fiabilidad, robustez y reproducibilidad de los resultados.

Cabe destacar el metaanálisis realizado por Halgamuge et al. (2020), en el que evaluaron el impacto de la radiofrecuencia en organismos vivos en estudios in vitro. Este estudio, publicado en 2020, analiza 300 publicaciones realizadas entre los años 1990 y 2015, describiendo 1.127 observaciones experimentales en modelos in vitro con células. En un primer análisis de 746 experimentos con células humanas el 45,3% informaban de cambios celulares, mientras que 54,7% no indicaban ningún cambio. Existiendo una gran heterogeneidad a nivel celular en términos de edad, ritmo de proliferación, apoptosis. También se encontraron diferencias en las características de las señales de radiofrecuencia, tales como la polarización, contenido de información, frecuencia, ritmo específico de absorción (SAR) y potencia. Este metaanálisis intentó determinar si existían algunas propiedades distintivas entre los hallazgos negativos y positivos, asociadas a estas características específicas. Se tuvo en consideración el efecto acumulativo de la absorción de radiación electromagnética (SAR x tiempo de exposición). Cuando se tienen en consideración todas las variables, pueden existir efectos no térmicos en ciertos tipos celulares de gran crecimiento y poca diferenciación, como los espermatozoides y las células epiteliales. En contraste, los experimentos con células de glía, (glioblastoma) y con linfocitos sanguíneos humanos no se observan diferencias estadísticamente significativas. Los autores hacen hincapié en que la validez de este tipo de estudios depende de que se lleven a cabo con métodos y niveles de garantía semejantes y un control de la calidad de los materiales biológicos empleados. Los resultados tan dispares de los que informan los autores podrían reflejar fallos de rigor científico y coherencia que “contaminan” los estudios in vitro, Portelli et al. (2013).

El estudio de Shinh et al. (2020) señalan al cerebro y de este los hipocampos como los primeros candidatos a sufrir algún tipo de daño debido a la radiación electromagnética en la banda de radiofrecuencia generada por teléfonos móviles. Analizan, como parámetros principales, el estrés oxidativo, el nivel de citocinas proinflamatorias (PIC), las hormonas del eje hipotalámico-pituitario-suprarrenal (HPA) y el condicionamiento contextual del miedo. Todo ello está relacionado directa o indirectamente con el hipocampo y con relación a la exposición a la radiación del campo electromagnético de radiofrecuencia de los teléfonos móviles (MP-CEM-RF). La exposición se realizó en ratas Wistar macho adultas jóvenes, durante 16 semanas continuas (2 h/día) con radiación MP-CEM-RF con frecuencia, densidad de potencia y tasa de absorción específica (SAR) de 1966,1 MHz, 4,0 mW/cm² y 0,36 W/kg, respectivamente. Otro grupo de animales mantenidos en condiciones similares sin exposición a la radiación les sirvió como control. Hacia el final del período de exposición, se evaluó la memoria del miedo de los animales y luego se les practicó la eutanasia para medir el estrés oxidativo del hipocampo, el nivel de PIC circulatorios y las hormonas del estrés. Se observó un aumento significativo en el estrés oxidativo del hipocampo ($p < 0,05$) y un nivel elevado de PIC circulatorios, a saber: interleukina (IL) -1beta ($p < 0,01$), IL-6 ($p < 0,05$) y factor de necrosis tumoral (TNF) -alfa ($p < 0,001$) en animales de experimentación tras la exposición a radiación MP-CEM-RF. El peso de la glándula suprarrenal ($p < 0,001$) y nivel de hormonas del estrés, a saber, la hormona adrenocor-

ticotrópica (ACTH) ($p < 0,01$) y la corticosterona (CORT) ($p < 0,05$) aumentaron significativamente en los animales expuestos a la radiación MP-CEM-RF en comparación con el control. Sin embargo, la alteración en la memoria contextual del miedo no fue lo suficientemente significativa. En conclusión, su estudio mostró que la exposición crónica a la radiación MP-CEM-RF emitida por teléfonos móviles puede inducir estrés oxidativo, respuesta inflamatoria y desregulación del eje HPA. Sin embargo, los cambios en la funcionalidad del hipocampo dependen de la compleja interacción de varios factores opuestos que se vieron afectados por la exposición a MP-CEM-RF.

El estudio de Halgamuge et al. (2020) también confirma las observaciones del controvertido estudio o proyecto REFLEX, Belyaev (2005) y otros en el sentido en que las propiedades de la señal inciden en la respuesta celular. Hay que señalar que la reproducibilidad de las observaciones del proyecto REFLEX, o sus conclusiones, han sido puestas en duda por Speit et al. (2013), Speit (2014) y Adlekofer (2014).

En el mismo sentido apunta el estudio de Halašová et al. (2020), en el que células neurales humanas de las líneas celulares SH-SY5Y (línea celular de neuroblastoma humano) y T98G (línea celular de glioblastoma humano) fueron expuestas a CEM de frecuencia intermedia (86 kHz) durante 30 minutos a 3 mT o 1,5 mT respectivamente. Para analizar el impacto de los CEM en la actividad metabólica y mitótica de las células neuronales humanas, se utilizaron varios métodos bioquímicos y biológicos. No se observaron cambios significativos en la viabilidad celular o en su proliferación ni tampoco se observó daño a nivel de ADN. Como conclusión, se sugiere que la posibilidad de exposición aguda a largo plazo en dispositivos de transferencia de potencia inalámbrica con las propiedades de 86 kHz y 3 mT (i.e: 1,5 mT) no es dañina y no causa respuestas de estrés celular.

Nos parece importante mencionar la existencia de líneas de investigación sobre los efectos beneficiosos de los CEM-RF en algunos procesos patológicos en neurología. El trabajo de Tsoy et al. (2019), se estudia la interacción entre el péptido beta amiloide ($A\beta$) y los CEM-RF en el rango de las líneas móviles. Este péptido está implicado en el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer (EA), como el estrés oxidativo, procesos inflamatorios del sistema nervioso y la muerte de las células cerebrales. Investigaron los efectos de los CEM de radiofrecuencia de teléfonos móviles de 918 MHz en la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), el potencial de membrana mitocondrial (MMP), la actividad de NADPH-oxidasa y la fosforilación de p38MAPK y ERK1/2 quinasas en astrocitos humanos y de ratas primarias en presencia de $A\beta_{42}$ y H_2O_2 . Los datos del estudio mostraron que el tratamiento con CEM en células cerebrales con parámetros similares a la irradiación del teléfono móvil ordinario (918 MHz; GSM) era capaz de suprimir el estrés oxidativo desencadenado por $A\beta_{42}$ y H_2O_2 , indicando así su posible beneficio terapéutico. Estos datos concuerdan con informes anteriores sobre el impacto beneficioso de los CEM para el tratamiento de ciertos trastornos neurodegenerativos como la EA. Naturalmente, se necesitan más estudios para validar la eficacia y seguridad de la aplicación de CEM en pacientes con EA.

Kim et al. (2020) se concentraron en los aspectos dermatológicos, apuntando que la variación de la pigmentación es uno de los indicadores más frecuentes de exposición a las diversas radiaciones no ionizantes, incluidas la radiación ultravioleta, la luz azul, la infrarroja y la radiación de frecuencia extremadamente baja (ELF). Investigaron los efectos de los CEM con evolución a largo plazo (LTE, 1,762 GHz) y ancho de banda 5G (28 GHz) en la pigmentación de la piel in vitro. Se expusieron células de melanoma murino y humano (B16F10 y MNT-1) a LTE o 5G durante 4 horas al día, lo que se considera el límite superior del tiempo promedio de uso de teléfonos inteligentes. Se demostró que ni la exposición a LTE ni a 5G indujo efectos significativos sobre la viabilidad celular o la pigmentación. Los efectos de la pigmentación de la piel de los campos electromagnéticos se examinaron más a fondo en el sistema de cultivo conjunto de la línea celular de queratinocitos humanos (MNT-1-HaCaT), lo que confirmó la ausencia de efectos significativos de hiperpigmentación de los campos electromagnéticos LTE y 5G. Por último, MelanoDerm™, un modelo de epidermis humana pigmentada en 3D, se irradió con LTE (1,762 GHz) o 5G (28 GHz), y se realizaron análisis de imágenes y tinciones especiales. No se observaron cambios en el brillo

de los tejidos MelanoDerm™ en tejidos expuestos a LTE o 5G, excepto cambios mínimos en el tamaño de los melanocitos. Estos resultados implican que la exposición a CEM LTE y 5G puede no afectar la síntesis de melanina o la pigmentación de la piel en condiciones normales de uso de teléfonos.

Pinto et al. (2023) hacen una revisión centrándose en el aspecto que probablemente ha causado más inquietud en el público como son los posibles efectos carcinogénicos de la radiación electromagnética de RF. A través de un análisis cuantitativo, evalúan el mayor riesgo de incidencia de tumores en animales de laboratorio (roedores) sin limitaciones de especie, cepa, sexo o genotipo. La revisión se realizó de acuerdo con la guía PRISMA y los estudios se evaluaron de forma individual haciendo referencia a la herramienta de calificación de riesgo de sesgo de la Oficina de Evaluación y Traducción de la Salud (OHAT) para humanos y animales. Se seleccionaron 27 estudios para la evaluación de la incidencia de tumores. Se llevó a cabo un metaanálisis de 23 estudios para evaluar el posible aumento del riesgo de cáncer y tumores benignos de aparición a nivel sistémico o en diferentes órganos/tejidos. Del metaanálisis no se desprende una asociación significativa entre la exposición a RF y el aumento/disminución del riesgo de cáncer en la mayoría de los tejidos considerados. Sólo puede observarse numéricamente un aumento/disminución significativa del riesgo de tumores malignos en el corazón, el Sistema Nervioso Central/cerebro y el intestino. La evaluación del conjunto demuestra que las pruebas son bajas o inadecuadas para una asociación entre la exposición a RF y la aparición de neoplasias en todos los tejidos.

Insistimos en que la revisión de los múltiples estudios in vivo e in vitro de los efectos de los CEM-RF se evidencia una clara heterogeneidad metodológica, lo que conlleva resultados dispares y algunos no concluyentes. Es necesario el uso de metodologías detalladas, rigurosas, reproducibles y transparentes, para obtener resultados reproducibles (Bartosova et al., 2021; Henschenmacher et al., 2022; Pinto et al., 2022). Es necesario registrar minuciosamente tanto los componentes electromagnéticos como los biológicos de estos estudios de exposición, así como caracterizar con la mayor exactitud posible tanto la dosimetría como la radiación en sí. Es más, se llega a proponer una herramienta determinada para cumplir este propósito (Hansen et al., 2020; Kim et al., 2020). Las condiciones y los controles biológicos también deben tenerse en cuenta; no hay que olvidar que este tipo de investigaciones afectan a sistemas adaptativos complejos y muchas veces es difícil determinar si el resultado se debe a la exposición o a la naturaleza del sistema (Hansen et al., 2020).

Como conclusión podemos señalar que, al igual que en el último informe, es difícil, a partir de los últimos estudios in vivo e in vitro, sacar conclusiones definitivas en cuanto los efectos negativos de los CEM-RF sobre la salud humana. En cuanto al posible daño sobre el ADN, como parámetro más importante, de posible efecto carcinogénico, no hay ningún estudio reciente que, tras la exposición a RF, demuestre daños en esa molécula.



Estudios Clínicos y Epidemiológicos



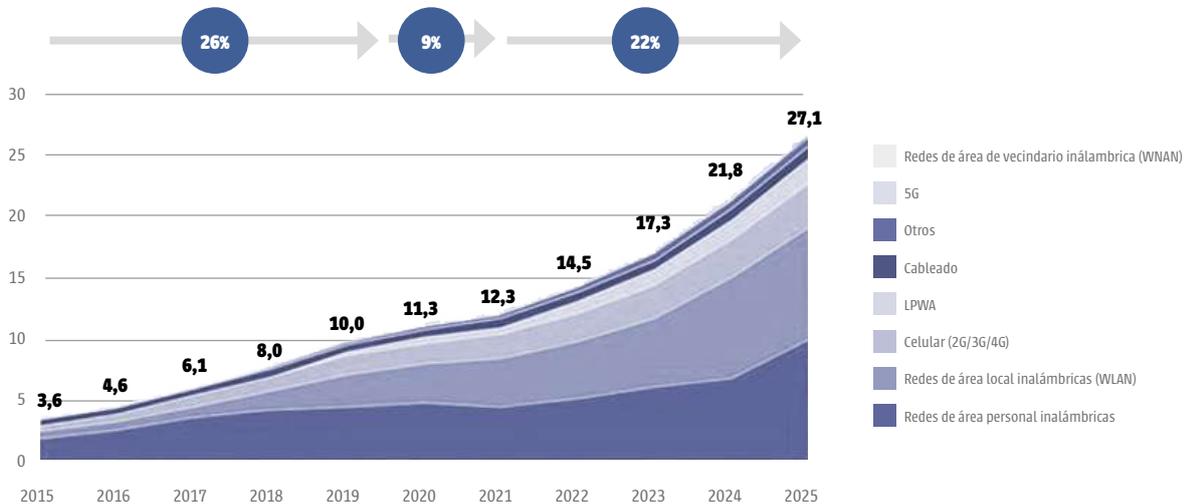
5.1. Introducción

La exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) no es nueva y hemos estado viviendo con fuentes artificiales de una forma u otra desde que Marconi envió los primeros telégrafos inalámbricos en la década de 1890. Pero los cambios en los últimos años se producen con tanta rapidez que dificultan su comprensión y generan temor. La universalización en el uso de todas las nuevas tecnologías de la comunicación es un fantástico avance que permite conectarnos entre individuos en cualquier parte del mundo. Podemos acceder a diversos conocimientos de forma fácil y rápida con lo que conlleva de trascendencia para la investigación científica.

Múltiples aplicaciones nos facilitan el acceso a la sanidad, citas, prescripciones, visibilidad de nuestras pruebas, seguimientos telefónicos...lo que mejora enormemente nuestra vida cotidiana. La pandemia de Covid-19 ha sido una prueba palpable de la importancia que ha supuesto toda la implementación digital. Difícilmente se hubiera organizado un acceso tan eficaz para la vacunación, para la recopilación de datos y posiblemente para el desenlace satisfactorio. Podemos extendernos y no se acabarían sus ventajas. No se concibe en el siglo XXI un mundo exclusivamente analógico.

El internet de las cosas “Internet of Things” (IoT) en inglés es un concepto acuñado por Kevin Ashton en 1999. Este término hace referencia a la agrupación e interconexión de dispositivos y objetos cotidianos a una red. Dicho de otra manera, es la tecnología que permite conectar e interaccionar dispositivos a internet sin la necesidad de la intervención humana. De este modo, la conexión es de máquina a máquina o M2M (machine to machine).

Figura 5.1. Evolución de los dispositivos IoT



Fuente: Gráfico elaborado por ditrendia a partir de datos de IOT Analytics

La evolución y aplicación de esta tecnología ha sufrido un crecimiento exponencial en los últimos años. El IoT no sólo hace referencia a grandes maquinarias o robótica, sino también a pequeños dispositivos conectados con sensores y chips. Cualquier dispositivo IoT incluye un sensor, un procesador, una plataforma para gestionar la información y una red de comunicación entre la red y el dispositivo, ya sea a través de Wi-Fi o redes móviles. La tecnología IoT está muy presente de diferentes formas en nuestra sociedad. Se prevé que en 2050 un 85 % de la población viva en ciudades, por lo que los

núcleos urbanos deben afrontar este crecimiento y por ello apostar por las “smart cities” que es una de las opciones más sostenibles y eficientes para esta evolución. Este modelo de gestión de ciudades inteligentes se basa en la generación eléctrica repartida por el territorio (generación distribuida), redes inteligentes interconectadas que permitan la circulación bidireccional de datos entre centros de control y usuarios (smart grids), mediciones inteligentes de gastos de energía (smart meetings), edificios domóticos (smart buildings), sensores inteligentes que recopilen datos para mantener la ciudad conectada e informada (smart sensors) y vehículos eléctricos con puntos de recarga (e-mobility). En la Figura 5.1 se muestra la curva de crecimiento de IoT.

La 5G es la quinta generación de las tecnologías y estándares de comunicación inalámbrica y no deja de ser un desarrollo-evolución del actual 4G/LTE en sus siglas en inglés (Long Term Evolution). La idea detrás de este desarrollo es la de poder llamar por teléfono, escribir como hasta ahora y navegar por Internet a una velocidad muchísimo más alta que la actual, todo ello mientras se permite que más dispositivos se estén conectando al mismo tiempo. Pero más importante todavía es la disminución de la latencia. La latencia es el tiempo que tarda en transferirse un paquete de datos dentro de la red, el tiempo que dura en llegar una acción desde que la realizas hasta que se consuma. La tecnología 2G y la 3G han desaparecido para dar paso a la 4G LTE, más eficiente en cuanto a espectro, y a las nuevas tecnologías 5G. Se espera que la 4G dure al menos otra década y posiblemente más con la ayuda del uso compartido del espectro dinámico (DSS), que comparte el espectro disponible entre los dispositivos 4G/LTE y 5G. El DSS proporciona una mejor cobertura para los dispositivos 5G y una mayor longevidad para los dispositivos 4G LTE. Los primeros anuncios de extinción de 4G/LTE se esperan para después de 2030. Todos estos cambios son abrumadores y difíciles de gestionar por la población. Contamos con la revisión por parte de los organismos competentes para que los niveles de exposición a los CEM- RF sean compatibles con la ausencia de riesgo para la salud (ICNIRP 2020). De forma constante se analizan los niveles de exposición para que no sobrepasen los valores de tolerancia. Cada país puede adoptar las medidas que considere oportunas y que pueden ser más restrictivas aún que las recomendadas. Las ventajas tecnológicas son evidentes, pero como sociedad crítica requerimos una evaluación constante, seria y fiable, para conocer si las nuevas implementaciones no estén originando trastornos futuros en la salud.

5.2. CEM-RF carcinogénesis

5.2.1. Resumen conclusiones del informe 2016-2019

El informe CCARS 2020 incluía la evidencia de los años 2016 al 2019 que se resumen en los siguientes puntos o apartados:

- La mayoría de los estudios no observaron un efecto carcinógeno derivado de la exposición a CEM-RF a los niveles habituales de la población.
- Se detecta en algunos análisis un ligero aumento con el uso del teléfono móvil de gliomas y meningiomas en usuarios intensivos y a largo plazo. Pero puede deberse a una combinación de azar, sesgos, factores de confusión y el análisis combinado de datos.
- Las revisiones sistemáticas de las Agencias y comités especializados en la evaluación de riesgos apuntan hacia una ausencia de asociación entre el teléfono móvil (TM) y el aumento del riesgo de neoplasias.

5.2.2. Estudios actuales

La investigación epidemiológica sobre la carcinogenicidad de los CEM-RF se ha centrado principalmente en el desarrollo de tumores en la cabeza, en la que los órganos y tejidos están más expuestos que otras partes del cuerpo. Se han llevado a cabo varios tipos de estudios poblacionales para investigar la posibilidad de una relación entre el uso de TM y el riesgo de tumores tanto malignos como benignos, utilizando estudios de cohortes y de casos- controles para examinar las asociaciones entre el uso de TM y el riesgo de cáncer. En un estudio de casos - controles, se compara el uso de TM entre personas que tienen tumores y personas que no los tienen. En un estudio de cohorte, se hace un seguimiento a lo largo del tiempo de un gran grupo de personas que no tenían cáncer al comienzo del estudio y se compara el desarrollo del tumor en personas que usaron y no usaron TM. Por proximidad anatómica el posible riesgo carcinogénico de los CEM-RF incluye los tumores cerebrales malignos (gliomas) así como tumores no malignos, (meningioma, schwannoma acústico). Otros más infrecuentes son los de la glándula parótida (tumores en las glándulas salivales), neoplasias tiroideas y cáncer de piel.

En mayo de 2011, la Organización Mundial de la Salud (OMS) a través de la IARC (Agencia Internacional para la Investigación contra el Cáncer) clasificó **la radiación electromagnética emitida por los dispositivos móviles como un posible cancerígeno humano dentro del Grupo 2B.**

Han pasado más de 10 años desde entonces sin un estudio que demuestre de manera clara el incremento de tumores cerebrales relacionado con los CEM-RF. En la actualidad la OMS mantiene como riesgo 2B a las radiaciones no ionizantes electromagnéticas.

Aunque las conclusiones previas del anterior informe de CCARS no evidencian que los CEM-RF incrementen el riesgo de tumores, es necesaria la revisión continua evaluando los cambios que pueden sucederse en el tiempo. Los resultados de algunos estudios ofrecieron ciertas pruebas de una relación estadística entre el uso de los móviles y el riesgo de tumores de encéfalo en seres humanos, pero en la mayoría no se encontró ninguna relación. Las razones de estas discrepancias son múltiples:

- **Sesgo de memoria:** esto ocurre cuando los datos sobre los hábitos y exposiciones se recopilan mediante cuestionarios a los participantes del estudio después de que se diagnosticó la enfermedad. Por ejemplo, es posible que los participantes del estudio con tumores de encéfalo recuerden que usaban los móviles de forma diferente que las personas sin estos tumores.
- **Notificaciones inexactas:** esto se produce cuando las personas indican que algo pasó con mayor o menor frecuencia que en la realidad. Por ejemplo, las personas tal vez no recuerden cuánto usaron los teléfonos en un tiempo determinado.
- **Morbilidad y mortalidad:** enfermedad o muerte en los participantes del estudio que tienen cáncer de encéfalo. Los gliomas que son los tumores más frecuentes son muy difíciles para los estudios, porque las personas con estas neoplasias mueren con frecuencia y sobreviven poco tiempo. Y los que sobreviven a menudo quedan incapacitados, lo que puede afectar a las respuestas de los cuestionarios.
- **Sesgo de participación:** esto ocurre a veces porque es más probable que las personas con tumores de encéfalo participen en un estudio de investigación que las personas sanas (“controles”).

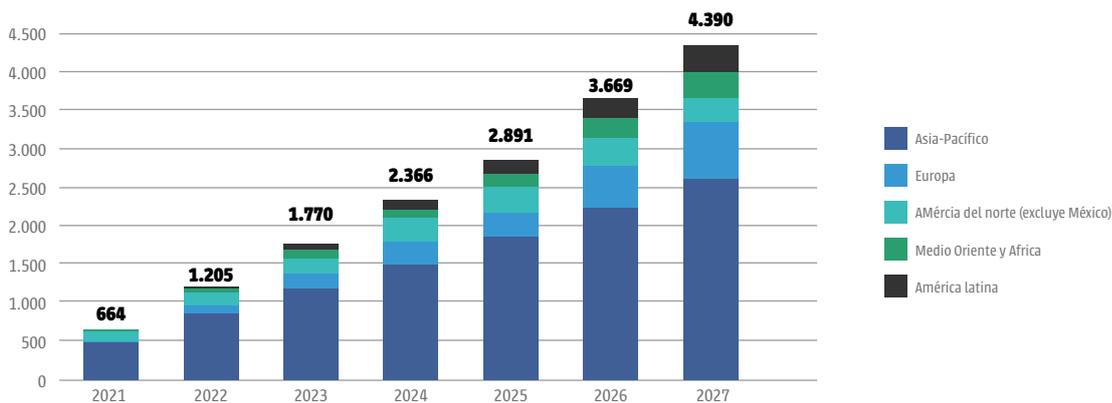
- **Cambio tecnológico constante:** en los estudios más antiguos se evaluó la exposición a los móviles analógicos. Hoy en día se usa tecnología digital que opera en una frecuencia diferente y con un nivel de electricidad menor que el de los teléfonos analógicos y la tecnología continúa cambiando.
- **Limitaciones de la evaluación a la exposición:** los distintos estudios miden la exposición de forma diferente, lo que dificulta comparar los resultados entre un estudio y otro.
- **Seguimiento insuficiente de las poblaciones con un grado alto de exposición:** quizás se tarde mucho en presentar síntomas tras la exposición a los CEM y es posible que los estudios actuales no hayan seguido a los participantes por suficiente tiempo.
- **Potencia y métodos estadísticos inadecuados:** a veces se detectan riesgos muy pequeños o riesgos que solo afectan a pequeños subgrupos.
- **Casualidad:** elemento que podría explicar efectos evidentes que tal vez no se tuvieron en cuenta.

5.2.3. Variables que han variado en el tiempo y pueden influir en los estudios

No hay evidencia científica hasta el momento que demuestre que los CEM-RF supongan un riesgo en la aparición de neoplasias, pero la palabra “radiación” da lugar a un temor en la población que exige un seguimiento permanente y estudios bien diseñados que aporten resultados fiables.

Es importante conocer la implicación en la vida cotidiana de los CEM-RF y los cambios desarrollados en las diversas tecnologías con un incremento de su uso. Para la valoración en la incidencia de tumores cerebrales hay que reseñar también la evolución de los métodos diagnósticos y de la expectativa de vida, variables que pueden modificar los datos con el paso de los años.

■ **Figura 5.2. El futuro de la 5G.** Número estimado de suscripciones móviles a redes 5G, por región (en millones)



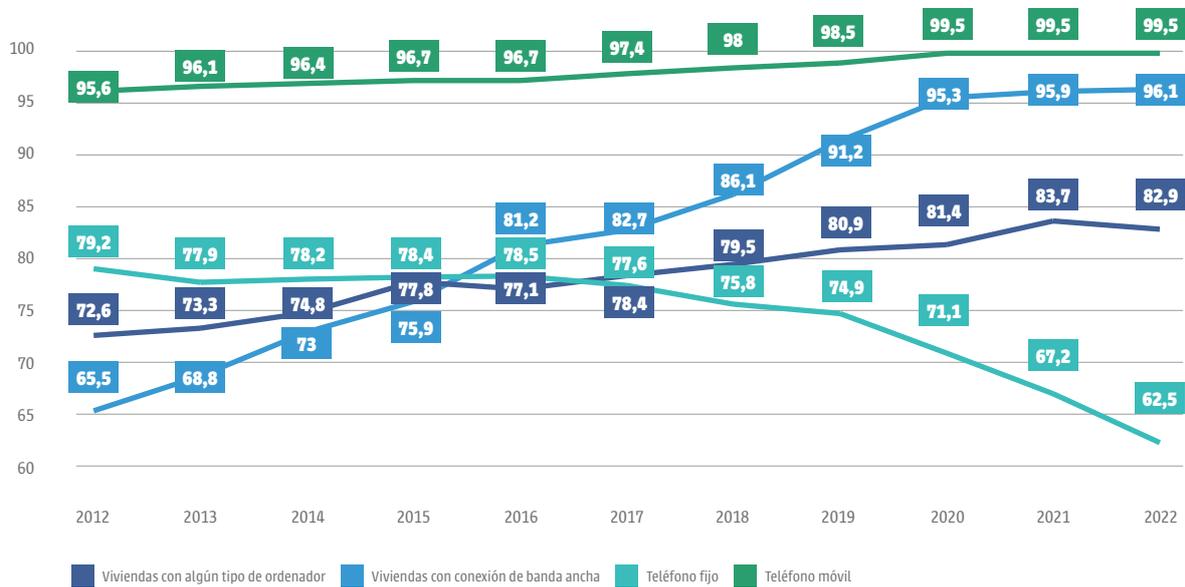
Fuente: Ericsson Mobility Report

Evolución de la telefonía móvil y la tecnología de Información y Comunicación

El número de usuarios de TM se ha incrementado a lo largo de los años de tal forma que es difícil encontrar adultos de países desarrollados que no lo utilicen. Según los datos de GSMA, (Global System for Mobile Communications) el número de suscriptores ha aumentado desde 2012. El mayor incremento se dio en el año 2015, en el que el número de suscriptores pasó de 3.600 a 4.700 millones. Europa, Norteamérica y China son las regiones del mundo donde hubo mayor penetración de la telefonía móvil en 2022. Las conexiones de teléfonos inteligentes (smartphones) representaron más del 80% del total. Según las estimaciones de este organismo, también se producirá un salto en el África Subsahariana, que pasará del 51% actual al 87% (Figura 5.2). Si los datos de la GSMA, que representa a la industria mundial de telefonía móvil son correctos, ya hay más TM en el mundo que personas. En este momento según GSMA está a punto de llegarse a los 8.092 millones de conexiones móviles, mientras que el total de población en todo el mundo es de 7.888 millones en 2021 (Banco Mundial). La contribución de la telefonía móvil al Producto Interior Bruto (PIB) mundial ha aumentado más del doble desde 2012, en concreto ha pasado de aportar 1 a 5,2 billones de dólares en 2022.

En España el Instituto Nacional de Estadística (INE) en una encuesta sobre equipamiento y uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en los Hogares (2022) refiere que el 82,9% de los hogares con al menos un miembro de 16 a 74 años dispone de algún tipo de ordenador (de sobremesa, portátil, “tablet”, etc.). Por tipo de dispositivo, el 77,9% cuenta con ordenadores de sobremesa o portátiles y el 55,4% con alguna “tablet” (Figura 5.3).

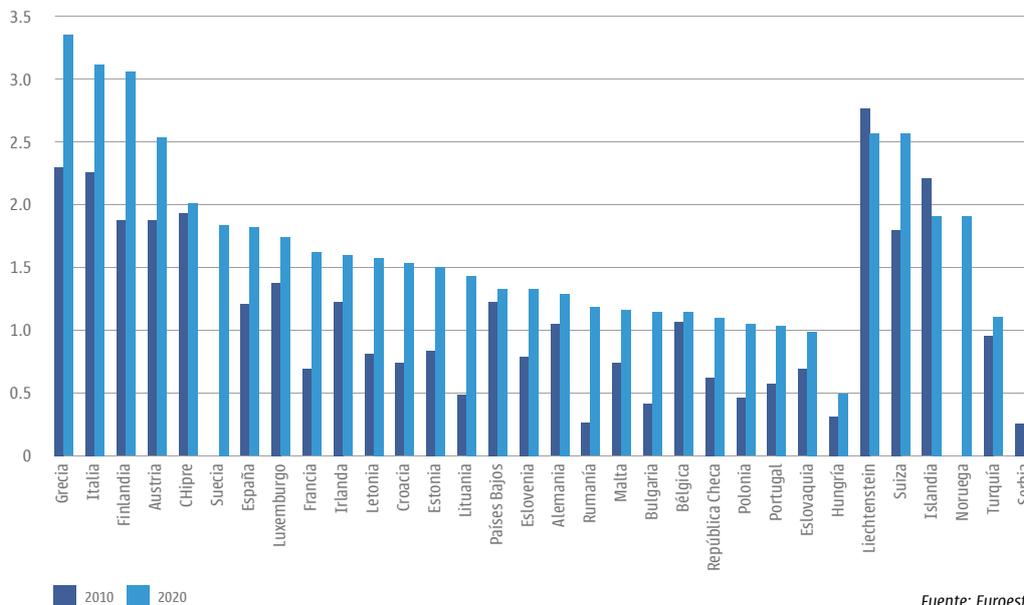
Figura 5.3. Evolución del equipamiento TIC (Tecnología de información y comunicación) en los hogares. Porcentaje de hogares con algún miembro de 16 a 74 años y equipamiento.



Fuente: INE (Instituto Nacional de Estadística) 29 de noviembre de 2022.

Estos datos dificultan la realización de estudios epidemiológicos, aunque permitan valorar el tiempo de exposición, complica la dificultad de encontrar un grupo que no utilice TM, Wi-Fi, ordenador, etc.

Figura 5.4. Incremento de las unidades de Resonancia Magnética en Europa 2010-2020.



Fuente: Eurostat.

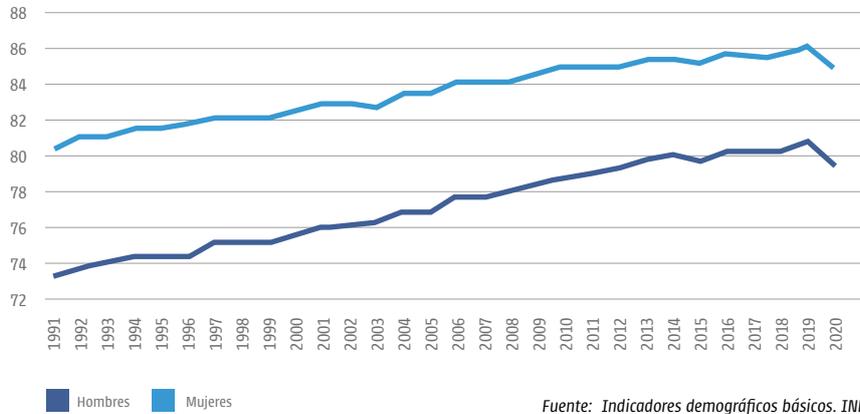
Evolución de Métodos diagnósticos en tumores del SNC

Otro factor relevante es el incremento de unidades diagnósticas en estas dos últimas décadas. La resonancia magnética (RM) es el método de elección para la valoración de los tumores cerebrales. La rutina en su utilización también puede modificar los datos de registro. Los tumores benignos del sistema nerviosos central (SNC) no tienen diagnóstico anatómico-patológico en porcentaje elevado, siendo este exclusivamente radiológico. Además, por su comportamiento indolente, con un crecimiento muy lento, tardan en diagnosticarse, pudiéndose subestimarse la incidencia real en los años en que el uso de RM era mucho menor (Figura 5.4).

Expectativa de vida

La expectativa de vida se ha modificado a lo largo de los años y puesto que la incidencia de estos tumores del SNC se incrementa con la edad, este es otro factor de ajuste (Figura 5.5).

Figura 5.5. Evolución de la esperanza de vida al nacimiento. España Datos del INE Serie 1991-2020 (publicada en agosto 2022).



Además, por la proximidad anatómica debiera aumentar la aparición de tumores en el lado derecho (más del 85% de la población es diestra) y en el lóbulo temporal o fronto-temporal.

Acceso a la medicina de calidad

A lo largo de las últimas décadas el incremento del nivel de vida, el estado del bienestar se ha reflejado en múltiples mejoras: vivienda, escolarización obligatoria, gestión del ocio...y una de los logros más importantes ha sido el acceso a la sanidad. En **Europa** la medicina es universal, lo que implica que la población más desfavorecida por nivel socioeconómico tenga una cobertura diagnóstica y terapéutica de elevada calidad. La protección de la salud en **España** es un derecho, por lo que toda la población dispone de una cobertura sanitaria financiada con fondos públicos. El Sistema Nacional de Salud (SNS), que atiende al 96,5% de la población, es el principal proveedor de atención sanitaria. Atención primaria realiza en torno a 367 millones de consultas al año. Fuente: Informe del SNS 2020-2021. Y esto es similar en muchos países de otros continentes. La cobertura sanitaria en **Canadá** incluye, salvo raras excepciones, a todos los ciudadanos independientemente de su clase social. El sistema de salud de **Australia** es mixto ya que está subsidiado a través de una asociación público-privada, también conocido como Medicare, pero es universal y garante de la cobertura para todos los ciudadanos australianos. El Sistema de Seguro de Salud Estatutario (SHIS) de **Japón** cubre al 98,3% de la población. Otros países asiáticos, Corea del Sur, Singapur, Taiwán, Hong-Kong tienen cobertura universal y con servicios de gran calidad. Indudablemente los países en vías de desarrollo especialmente en **África** no disponen de esos recursos, aunque hayan mejorado. Pero cuando valoramos las estadísticas de los CEM-RF como factor etiológico de tumores y otras alteraciones de la salud, los estudios se fundamentan en poblaciones de países desarrollados. La posibilidad de realizar consultas médicas ante cualquier síntoma, aunque sea leve, puede también influir en un incremento en el diagnóstico y en la precocidad de este.

5.2.4. CEM-RF y tumores del sistema nervioso central

Son un grupo heterogéneo de neoplasias que comprende más de 100 tipos incluyendo los encefálicos y de médula espinal. Las sucesivas clasificaciones de la OMS para los tumores del SNC han ido modificando muchos conceptos, incluyendo no sólo las características celulares de mayor o menor agresividad, sino también los nuevos descubrimientos en biología molecular. En la más reciente clasificación de la OMS (*The fifth edition of the WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System*) (Louis DN et al., 2021) para la definición de los diferentes tipos de tumores cerebrales y espinales, se han introducido importantes cambios. Estos avances en las prácticas de diagnóstico también han permitido que los estudios de epidemiología descriptiva analicen un conjunto de bases de datos clasificado con mayor definición y estratifiquen por subtipo de tumor con mayor precisión

Gliomas

Los gliomas se originan en las células de soporte que son los astrocitos, oligodendrocitos, microglia y células endoteliales (los ependimomas son tumores pediátricos e infrecuentes en adultos). Los tumores primarios malignos y benignos del cerebro y otros tumores del sistema nervioso central son neoplasias relativamente raras, que representan solo el 4 % de todos los nuevos cánceres primarios diagnosticados cada año en los Estados Unidos.

Se desconoce la etiología en su mayoría son esporádicos. El 80% - 85% de los tumores agresivos en adultos son gliomas y de estos el 48,6% son glioblastomas (GB). Suponen el 14,5% de todos los tumores primarios del SNC. El pronóstico del GB es pésimo con una mediana de supervivencia de 12-14 meses. La incidencia anual ajustada a edad es de 3,23 por 100,000 habitantes y se incrementa con los años, con un pico de 75 a 84 años. Los gliomas de “bajo grado” de comportamiento más indolente, se diagnostican a edades más tempranas que el GB, entre 40 a 50 años. La evolución de estos es muy variable y depende de factores “clásicos” como el tamaño, la localización silente o elocuente, la resección completa, pero también de múltiples factores moleculares que modifican el pronóstico y “subclasifican” este grupo en diversas entidades.

Algunos síndromes hereditarios (síndrome de Lynch, esclerosis tuberosa, neurofibromatosis) suponen menos del 5% de los casos.

Otros factores: ambientales, virus, y traumatismos han sido considerados como posiblemente implicados en el desarrollo de estos, pero es muy probable que sean mecanismos múltiples que actúan sobre bases genéticas.

Con la publicación del Genoma Humano y los continuos avances derivados de ello es posible que pueda encontrarse algún gen asociado al desarrollo de los tumores cerebrales. Cada célula del cuerpo humano tiene 23 pares de cromosomas y se ha visto que algunos tipos de tumores cerebrales pueden perder o ganar alguna pieza (brazo) de los mismos. Los cambios más conocidos y frecuentes descritos en algunos tumores cerebrales como en los oligodendrogliomas ocurren en los cromosomas 1 y 19. Un proyecto denominado Atlas del Genoma del cáncer está también catalogando los cambios genéticos en múltiples tumores, entre ellos en el GB y se han descrito diferentes vías que pueden ayudar a explicar cómo se desarrollan.

Meningiomas

El meningioma (MEN) es el tumor más frecuente en el SNC, el 38,3% del total y el 54,5% de los tumores benignos. Más del 85% son de comportamiento benigno y un pequeño porcentaje se clasifica como atípico (grado 2) o anaplásico (grado 3). Es más frecuente en mujeres y se incrementa con la edad por encima de los 65 años. La mayoría son esporádicos. La neurofibromatosis tipo 2 (NF2) es la condición genética más común asociada con el MEN. Este grupo tiene más incidencia de

MEN grado 2 y 3 y de meningiomas múltiples. La pérdida del cromosoma 22q es la alteración citogenética más frecuente. La frecuencia de esta alteración aumenta con el grado tumoral, con una incidencia del 50%, en meningiomas benignos y del 75-85%, en atípicos o anaplásicos (Young Suk Lee et al.; 2020). Varios estudios han tratado de relacionar la exposición a hormonas endógenas y exógenas con los MEN debido a la mayor incidencia de estos en mujeres en edad reproductiva, a la presencia de receptores hormonales en el tumor, a la asociación con el cáncer de mama y a los cambios en el tamaño durante el embarazo, el ciclo menstrual y la menopausia (Goldbrunner R, EANO 2022).

Schwannomas o neurinomas

Los schwannomas (también conocidos como neuromas) son tumores de la vaina nerviosa, benignos, bien encapsulados y de crecimiento lento, compuestos exclusivamente por células de Schwann derivadas de la cresta neural. El tumor puede originarse a partir de cualquier nervio central o periférico mielinizado con células de Schwann. La OMS lo clasifica como un tumor benigno grado I. Son solitarios y esporádicos en el 90% de los casos. Es el tercer tumor cerebral primario no maligno más frecuente (12,3 %), después del MEN y de los tumores hipofisarios. El schwannoma vestibular (SV), del octavo par craneal (acústico) es el más frecuente. La mayoría son unilaterales y de etiología desconocida. Múltiples tumores en el mismo paciente deben llamar la atención sobre asociaciones sindrómicas (NF2, schwannomatosis y complejo de Carney). Suelen afectar a personas de 50 a 60 años. No se reconoce predilección por sexo o raza.

Radiaciones ionizantes como causa de neoplasias del SNC

El riesgo de carcinogénesis debido a **radiaciones ionizantes** es evidente (efecto sobre el ADN / mutaciones) estando en relación fundamentalmente con los tratamientos radioterápicos en niños, sobre todo por leucemias y meduloblastomas. **Los gliomas y meningiomas son los tumores radioinducidos** más frecuentes en el SNC. Este riesgo se incrementa con los tratamientos realizados en edades tempranas, con grandes volúmenes de irradiación empleados (la mayoría incluyen radioterapia extensa holocraneal) y con la dosis recibida.

Los gliomas radioinducidos son la mayoría de alto grado de malignidad y presentan características biológicas diferentes a los de aparición esporádica. Es necesario determinar si son molecularmente distintos con el desarrollo de un registro específico y global para facilitar la recopilación centralizada de datos clínicos, patológicos y moleculares relevantes que definen estos tumores raros. La identificación de las características moleculares de estos tumores nos ayudará a comprender los mecanismos que impulsan el inicio y la progresión de estos. (Whitehouse JP et al 2021; John DeSisto et al.; 2021)

Los MEN radioinducidos tienden también a un comportamiento más agresivo que los esporádicos. El aumento de la dosis de radiación se asoció con un mayor riesgo. Los niños irradiados evaluados, en comparación con los supervivientes que no estuvieron expuestos a la radioterapia, presentaban un riesgo de desarrollar un MEN claramente superior. Además, los que recibieron dosis de 24 Gy o superiores, tenían una probabilidad 30 veces mayor de desarrollar un MEN. La relación dosis-respuesta a la radiación fue significativamente menor entre los pacientes tratados mayores de 10 años en comparación con los tratados menores de 10 años. El riesgo asociado se mantuvo significativamente elevado 30 años después de la exposición. Estos hallazgos sugieren que las meninges son altamente radiosensibles, especialmente en niños. La persistencia de riesgos elevados de meningiomas durante décadas después de la radioterapia craneal obliga **a una vigilancia indefinida** (Withrow DR et al.; 2022). El periodo de latencia varía, menor para los gliomas, mediana de 9-10 años, mayor para los MEN, mediana de 12-15 años, aunque pueden aparecer pasados más de 20 años no habiendo una clara meseta.

Por los datos conocidos de tumores inducidos por radiaciones ionizantes se deriva la posibilidad de que las radiaciones no ionizantes tengan también un efecto similar. Dado el incremento en el uso del TM, que se considera la fuente de mayor relevancia, si existiera una causa-efecto, el aumento en la incidencia de tumores cerebrales es de esperar que sea muy relevante. Una de las fuentes más fiables para valorar esa tendencia son los registros tumorales.

Registro de tumores y estudios de revisión

Los registros de tumores son una fuente fundamental para valorar las tasas de incidencia y la tendencia en largos periodos de tiempo.

Red Española de Registros de Cáncer (REDECAN), 2022.

Se realiza un análisis de las tendencias en la incidencia de los cánceres del encéfalo en España de 1985 a 2015 (ambos inclusive) y su posible relación con el uso de TM. Los datos se obtuvieron de varias fuentes: 12 registros poblacionales generales de cáncer en España que cubren un total de 11 provincias y tres islas, de un registro poblacional de tumores infantiles (Registro de Tumores Infantiles de la Comunitat Valenciana) que cubre tres provincias, del Registro Español de Tumores Infantiles (RETI) y de un registro multiinstitucional que cubre toda la población española y que aportó información de seis provincias no cubiertas por registros poblacionales y cuya exhaustividad se considera equivalente a un registro poblacional -Barcelona, Huesca, Lleida, Madrid, Teruel y Zaragoza.

El estudio incluye un análisis general para todos los tumores del SNC y un análisis específico por sublocalización y por tipo histológico. Las tasas de incidencia (TI) anuales estandarizadas por edad por 100.000 personas-año para adultos y por 1.000.000 personas-año para la infancia, se calcularon tanto para ambos sexos conjuntamente como por separado para hombres y mujeres utilizando la población europea estándar de 2013. Los cambios de tendencia en las Tasas de Incidencia (TI) ajustadas por edad y por registro a lo largo del periodo de estudio se evaluaron mediante modelos de Poisson de punto de cambio. Esto proporcionan una prueba asintótica para la existencia de un punto de cambio, el intervalo de confianza del 95% (IC 95%) para la ubicación del punto de cambio, y las estimaciones y los intervalos de confianza (IC) del 95% para los cambios porcentuales anuales (APC) en las TI de todo el periodo 1985-2015 y en las TI anteriores y posteriores al punto de cambio.

En España el despliegue masivo del TM se produjo en la segunda mitad de los años 90 y primera mitad de los años 2000. En 2005 ya se contaba con casi 43 millones de líneas.

El estudio se divide así en 3 periodos: de **1985-1995** como un periodo anterior al uso masivo de los TM, de **1995-2005** como el periodo de despliegue masivo de la telefonía móvil y de **2005-2015** como la **primera década completa de uso masivo de TM**.

En adultos el incremento de la incidencia tanto de los tumores del SNC como de los del encéfalo en particular, que se observa en los primeros 10 años del periodo de estudio hasta 1996, es compatible con el periodo de mejoras en las técnicas diagnósticas en los años 90. El descenso estadístico de sólo un 0,1% anual durante los 20 años posteriores puede interpretarse como un periodo de estabilidad de la incidencia. Este patrón global de unos primeros años de incremento seguidos de un largo periodo de estabilidad está marcado, sobre todo, por la evolución fuertemente ascendente de las tasas en las mujeres durante los primeros años, seguidos de 15 años de estabilidad y de un incremento muy ligero, casi de estabilidad, en los hombres durante casi todo el periodo. Las TI de los gliomas **aumentaron hasta 1999 por encima del 4%** anual, para seguir con un incremento mucho menor (inferior al 1% anual) a partir de entonces tanto en hombres como en mujeres. El

GB, el glioma más frecuente, también aumentó más en ambos sexos en los primeros años del período que en los últimos. Paralelamente, se produjo una fuerte tendencia decreciente de la incidencia en los tumores *cerebrales con histología no especificada* durante todo el período global y con más intensidad a partir del año 1990 en los hombres y del año 2000 en las mujeres.

Respecto a la sublocalización, las tasas aumentaron en el lóbulo frontal, en el lóbulo temporal (el que recibe mayor dosis de RF con el uso de teléfonos móviles) y en las localizaciones contiguas (las que afectan a más de una sublocalización a la vez) a lo largo del periodo de estudio, sin observarse puntos de cambio de tendencia significativos.

Para que una relación fuera causal entre el uso de teléfonos móviles y el cáncer de encéfalo, **se esperaría una tendencia creciente en el período posterior al despliegue masivo de la telefonía móvil y ninguna tendencia en los períodos anteriores**. Sin embargo, se observa todo lo contrario. **La tendencia de los gliomas asciende con cierta intensidad hasta 1998-1999 y, a partir de este momento, la tendencia es prácticamente estable hasta el final del periodo**. Esto coincide con un descenso en las TI de los tumores con histología inespecífica, cuya intensidad de disminución es máxima a partir de 1991 en los hombres y del 2000 en las mujeres. Esto se debe a que durante los años 90 y principios de los 2000, se produjeron mejoras tecnológicas en los métodos diagnósticos por imagen, tomografía computarizada (TC) y especialmente RM. También los estudios anatomopatológicos incluyeron métodos nuevos de análisis. Esto permitió mejorar significativamente la discriminación de los tipos y subtipos de los tumores encefálicos. Como consecuencia de estas mejoras, los aumentos en ciertos subtipos van acompañados de disminuciones de otros en especial de los inespecíficos.

Respecto a los tumores infantiles y para el conjunto del periodo, no se aprecia ninguna tendencia estadísticamente significativa en ninguno de los tipos tumorales estudiados. Sin embargo, sí se observa un incremento de las tasas de los gliomas y tumores embrionarios durante los primeros años solamente hasta 1991-1992 probablemente también como consecuencia de las mejoras diagnósticas asociadas a estos años.

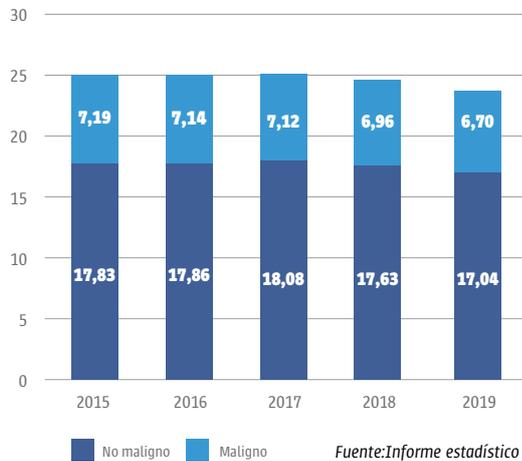
El presente estudio tiene algunas limitaciones. En primer lugar, el bajo nivel de cobertura nacional de los registros de cáncer, que en los adultos llega solamente al 24% en los años con más cobertura. En los niños es superior y llega al 62,5%. En segundo lugar y relacionado también con la cobertura poblacional, la representatividad a lo largo del tiempo es variable, con un número inferior de registros en los primeros años, lo que hace que los datos no sean totalmente comparables a lo largo del periodo de estudio. Sin embargo, cabe resaltar que todos los registros poblacionales de cáncer que han participado siguen los criterios internacionales definidos por la IARC para los registros de cáncer.

Otra limitación es no haber podido incluir en el estudio los tumores benignos y los de comportamiento incierto (por ejemplo, los meningiomas) debido a la heterogeneidad en el registro de estos tumores. Por otro lado, y aunque todos los registros siguen los criterios de la IARC, la calidad (exhaustividad y precisión) de los métodos en los primeros períodos (sobre todo en los años 80 y 90) es desconocida y posiblemente fuera inferior a la de periodos más recientes. Asimismo, existe un conocimiento muy débil tanto de la biología de los cánceres del encéfalo como de su etiología y por consiguiente sobre los periodos de latencia hasta su aparición y el uso del TM. La utilización de la información del número de líneas de estos teléfonos a lo largo del tiempo puede no ser un indicador del uso real. Además, es probable que los patrones de uso de los TM hayan cambiado con el tiempo. La cuantificación de la exposición es todavía poco clara y se han producido cambios en la tecnología y en los patrones de uso individual.

Este es un **estudio observacional** apropiado para definir tendencias globales. En los resultados es posible que una tendencia estable de la incidencia de tumores cerebrales pueda haber ocultado un verdadero riesgo creciente relacionado con el uso de TM si es que hubiera algún otro factor de riesgo que fuera la causa de un riesgo decreciente.

Figura 5.6. Tasas de incidencia anuales ajustadas por edad de todos los tumores cerebrales primarios y otros tumores del sistema nervioso central por año y comportamiento

Annual Age-adjusted incidence Rate per 100,000 Population



Fuente: Informe estadístico CBTRUS: Estadísticas de cáncer de EE. UU. - NPCR y SEER, 2015-2019.

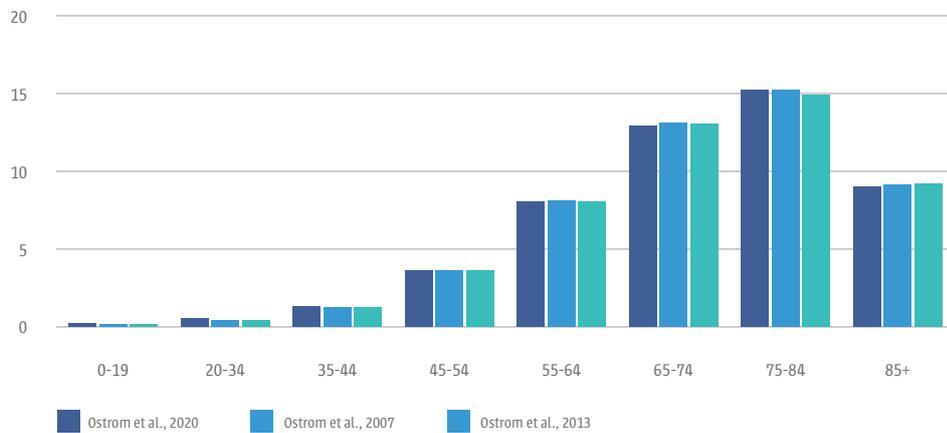
En conclusión, los resultados muestran una tendencia ascendente de la incidencia de los tumores de encéfalo en los años 80 y posteriormente una estabilización, **y no apoyan la hipótesis de una posible correlación entre el uso de teléfonos móviles y los tumores encefálicos malignos**, aunque no se puede descartar la posibilidad de que existiera una correlación débil o que se necesite un período de latencia más prolongado para poder hipotetizar una posible correlación ecológica. Aunque este tipo de estudio no puede validar la existencia de esta asociación, es importante continuar con la investigación futura analizando las tendencias de estos tumores encefálicos globalmente y según tipo histológico y ubicación anatómica con la finalidad de detectar un posible aumento de la incidencia que pudiera hacer sospechar su relación con posibles factores ambientales incluyendo entre ellos el mayor uso de la telefonía móvil a lo largo de las últimas décadas.

Registro Central de Tumores Cerebrales de los Estados Unidos (CBTRUS)

Es una corporación sin fines de lucro, reconocida por la comunidad internacional de investigadores como el principal recurso de información estadística anual específica de histología para todos los tumores cerebrales primarios y otros tumores del SNC en los EE. UU. La base de datos CBTRUS se ha desarrollado recopilando datos de los registros de cáncer centrales. Los registros de cáncer que contribuyen a la base de datos CBTRUS pertenecen **al Programa Nacional de Registros de Cáncer (NPCR) y a los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC)**. CBTRUS combina datos de 48 de estos registros centrales de cáncer con datos de registros centrales de cáncer del **Programa de Vigilancia, Epidemiología y Resultados Finales (SEER) del Instituto Nacional del Cáncer (NCI)**, que forma parte de los Institutos Nacionales de Salud (NIH). Los informes producidos por CBTRUS se publican como suplementos de la revista Neuro-Oncology de la Sociedad de Neuro-Oncología. Además de sus informes estadísticos anuales, CBTRUS realiza informes específicos que investigan la incidencia basada en la población y las tasas de supervivencia de grupos de edad específicos por histología, comportamiento, sitio, sexo, raza y origen hispano. CBTRUS proporciona un estándar de informes que sirve como guía a nivel mundial. El informe más reciente, de 2015-2019 ha incluido grupos histopatológicos con mayor relevancia clínica. Este informe contiene los datos poblacionales más actualizados disponibles sobre tumores cerebrales primarios y reemplaza a todos los informes anteriores en términos de integridad y precisión. CBTRUS utiliza agrupaciones de histopatología de acuerdo con la clasificación de tumores del sistema nervioso central de la **OMS de 2016**. Todas las tasas están ajustadas por edad utilizando la población estándar de EE. UU. del año 2000 y se presentan como casos por 100.000 habitantes.

Figura 5.7. Las variaciones son mínimas a lo largo de los años, pero entre 65 y 84 años se produce la mayor incidencia. Ostrom QT et al., 2020, 2021, 2022.

USA, 2006-2017. Incidence per year per 100,000



Se hicieron cambios significativos en la nomenclatura y en los criterios de clasificación en la última edición de 2021 de la OMS, que *aún no se reflejan* en la caracterización de los tumores incluidos en este informe. (Ostrom QT et al.; 2022). La TI media anual ajustada por edad (AAAIR) de todos los tumores cerebrales y otros tumores del SNC malignos y no malignos fue de 24,71 por 100 000 habitantes (AAAIR maligno = 7,02 y AAAIR no maligno = 17,69). Esta tasa general fue superior en las mujeres que en los hombres (27,62 frente a 21,60 por 100.000) y en las personas no hispanas en comparación con las hispanas (25,09 frente a 22,95 por 100.000). **El tumor maligno más frecuente fue el GB** (14,2 % de todos los tumores y el 50,1 % de todos los tumores malignos), y **benigno fue el MEN** (39,7 % de todos los tumores y 55,4 % de todos los tumores no malignos). **El GB fue más común en los hombres y los MEN fueron más comunes en las mujeres**. En niños y adolescentes (de 0 a 19 años), la TI de todos los tumores cerebrales primarios y otros tumores del SNC fue de 6,20 por 100 000 habitantes. Para la **estimación de las tendencias en el tiempo**, se ha utilizado el programa "Joinpoint Regression" para estimar el tiempo de incidencia, tendencias y generar APC y con un IC del 95% (Figura 5.6).

En general, los cambios en las TI entre 2000 y 2019 han sido pequeños. Según los informes de 2013, 2017 y 2020 se observó que la incidencia del **GB aumenta con la edad, con un pico a los 75-84 años** y disminuye después de los 85 años (Figura 5.7) (Ostrom QT et al., 2020, 2021, 2022).

En las conclusiones del informe se indica que de 2007 a 2016 hubo una ligera disminución en la incidencia general (APC= -0,5% [95%IC: -0,7%, -0,3]). Hubo **un pequeño incremento**, pero estadísticamente significativo en la incidencia en **niños** (edades 0-14 años) APC=0,9 % [IC 95 %: 0,6 %, 1,2 %] **y una disminución pequeña pero estadísticamente significativa en jóvenes adultos** (edades 15-39 años, APC= -0,3% [IC 95%: -0,5%, -0,2%] de 2000-2016 y también una **disminución pequeña pero estadísticamente significativa en adultos mayores entre 2005 y 2016** (mayores de 40 años, APC= -0,7 % [IC del 95 %: -0,8 %, -0,5 %]).

Factores que pueden influir en los registros

Muchos factores pueden conducir a fluctuaciones en las TI a lo largo del tiempo y estos deben ser considerados al interpretar los resultados de la tendencia temporal. Al evaluar las tendencias es fundamental utilizar la más reciente de los datos disponibles, ya que la demora en la notificación puede causar pequeñas fluctuaciones. Los métodos de análisis de tendencias temporales se utilizan para estimar si el APC es significativamente diferente de 0% (lo que significa que no hay cambios en la incidencia de un año a otro).

Además de evaluar los cambios, el tamaño de estos cambios también debe ser considerado, porque en un conjunto de datos tan grandes como CBTRUS, minúsculas fluctuaciones pueden ser estadísticamente significativas, pero realmente no representan un cambio importante. Hay muchas cosas que pueden afectar las TI a lo largo del tiempo y que no están relacionadas con un “verdadera” modificación en la tendencia, como la demografía, la alteración en la clasificación histopatológica y los criterios en los procedimientos de registro de cáncer. Los próximos registros basados en la clasificación histológica más reciente de 2021, serán cada vez más complejos pues deberán incluir un análisis molecular exhaustivo no disponible por el momento en todos los centros.

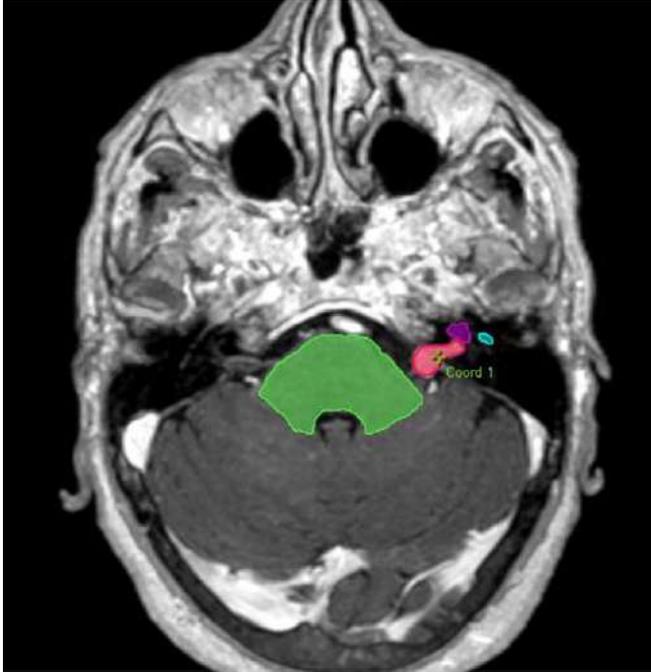
Los tumores del SNC en niños de 0-14 años son muy específicos de esa edad y tienen unas causas diferentes a los adultos.

En una **recodificación histológica actualizada (2000-2017)** por el programa **SEER** observaron que las tendencias temporales **fueron estables o decrecientes, excepto para el MEN no maligno** (0,7 % por año durante 2004–2017). Varios subtipos presentaron descensos en las tendencias en el período más reciente (2013-2017): astrocitoma difuso/anaplásico (-1,3% anual), oligodendroglioma (-2,6%), astrocitoma pilocítico (-3,8%) y meningioma maligno (-5,9%) (Forjaz G et al., 2020). Los autores justifican que las tendencias decrecientes observadas en ese estudio pueden atribuirse a cambios en la clasificación diagnóstica y a las prácticas de codificación derivadas de esos cambios.

Gino Cioffi et al., (2020) estudiaron la incidencia de SV utilizando los datos que obtuvieron de CBTRUS de 2004 a 2016. Se analizaron las TI ajustadas por edad (AAIR), las razones de tasa (AAIRR) y las razones de prevalencia (AAPR) por 100 000 habitantes por edad, sexo, raza y etnia, y lateralidad. Se realizaron análisis adicionales para evaluar las diferencias en el tratamiento, la lateralidad y la confirmación del diagnóstico.

La incidencia y la prevalencia de SV son más elevadas entre los adultos y los blancos no hispanos. Los SV bilaterales fueron más comunes entre los niños (están asociados a NF2). La incidencia de SV fue relativamente estable desde 2004 hasta 2016, sin mostrar cambios generales a lo largo del tiempo (APC: -0,07, IC del 95 %: -1,02 a 0,88, P = 0,87) o entre los factores demográficos. Encontraron una disminución de la incidencia de SV diagnosticada mediante confirmación microscópica (cirugía) a lo largo del tiempo (APC: -2,08, IC del 95 %: -2,78 a -1,38, P < 0,001) y una mayor incidencia de SV diagnosticada mediante confirmación radiológica por RM (APC: 1,64, IC 95 %: 0,15–3,16, P = 0,03;) (Figura 5.8).

■ **Figura 5.8. RM T1 axial con gadolinio. Diagnóstico precoz de un schwannoma vestibular izdo intracanalicular y mínimo componente cisternal: tumor (rosa), cóclea (malva), nervio facial (azul), protuberancia (verde). La mayoría de estos casos se mantienen en observación.**



Marinelli JP et al., (2021) realizan un análisis de los pacientes diagnosticados con SV desde el 1 de enero de 2004 hasta el 31 de diciembre de 2016 utilizando los datos del **Registro de Cáncer de la Clínica Mayo y de la base de datos del Proyecto de Epidemiología de Rochester**. Durante la última década, la incidencia entre los casos identificados el tumor cerebral y el registro de cáncer nacional se mantuvo estable en gran medida. Por el contrario, la incidencia entre la **población base de esta cohorte aumentó de 3,3 por 100.000 años-persona a 5,2 durante el mismo período**. Los pacientes dentro de la cohorte basada en esta población tenían significativamente más probabilidades de tener tumores **más pequeños en el momento del diagnóstico** (78 % intracanalicular versus 45 %; $p = 0,004$) y en consecuencia más probabilidades de someterse a tratamiento consistente en observación con imágenes seriadas, en contraposición al tratamiento con microcirugía o radiocirugía (71% versus 28%; $p = 0,001$). La dependencia de muestras de patología y datos de tratamiento relacionados con el cáncer para el registro nacional de nuevos diagnósticos de cáncer y tumor cerebral pueden introducir un sesgo de selección y **un subregistro de tumores cerebrales benignos que con frecuencia implican la observación como modalidad de tratamiento primario**. Es probable que este sesgo de selección explique las tasas de incidencia discrepantes de SV notificadas entre Estados Unidos y otros países. Estos datos coinciden con los referidos por otros países que han observado un incremento en SV con los años.

La causa más probable del incremento en SV es el diagnóstico ya que se realizan RM con gran frecuencia ante la aparición de una hipoacusia unilateral. Más y más hallazgos incidentales debido a la realización de un mayor número de RM realizadas por múltiples causas es probable que sea parte de la explicación. Sobre esta base es razonable suponer que la TI aumentará.

Utilizando los datos **del Servicio Nacional de Registro y Análisis del Cáncer (NCRAS) de Inglaterra**, Wanis HA et al.; (2021) describen la incidencia de tumores cerebrales primarios en adultos por subtipos principales. Se incluyen todos los pacientes ingleses adultos diagnosticados con tumor cerebral primario entre 1995 y 2017, excluyendo espinales, endocrinos y otros tumores del SNC. Las tasas de incidencia se normalizaron a la población estándar europea de 2013. Los resultados se presentan por sexo, edad y subtipo morfológico. Entre 1995 y 2017, se registraron en Inglaterra un total de 133.669 casos de tumor cerebral primario en adultos. El GB fue el subtipo tumoral más frecuente (31,8 %), seguido del meningioma (27,3 %). **La incidencia de GM aumentó en hombres de 3,27 por 100.000 habitantes/año en 1995 a 7,34 en 2013 y de 2,00 a 4,45 en mujeres. La incidencia de MEN también aumentó de 1,89 a 3,41 por 100.000 en hombres y de 3,40 a 7,46 en mujeres.** La frecuencia de otros tumores cerebrales astrocíticos y no clasificados disminuyó entre 1995 y 2007 y se mantuvo estable a partir de entonces.

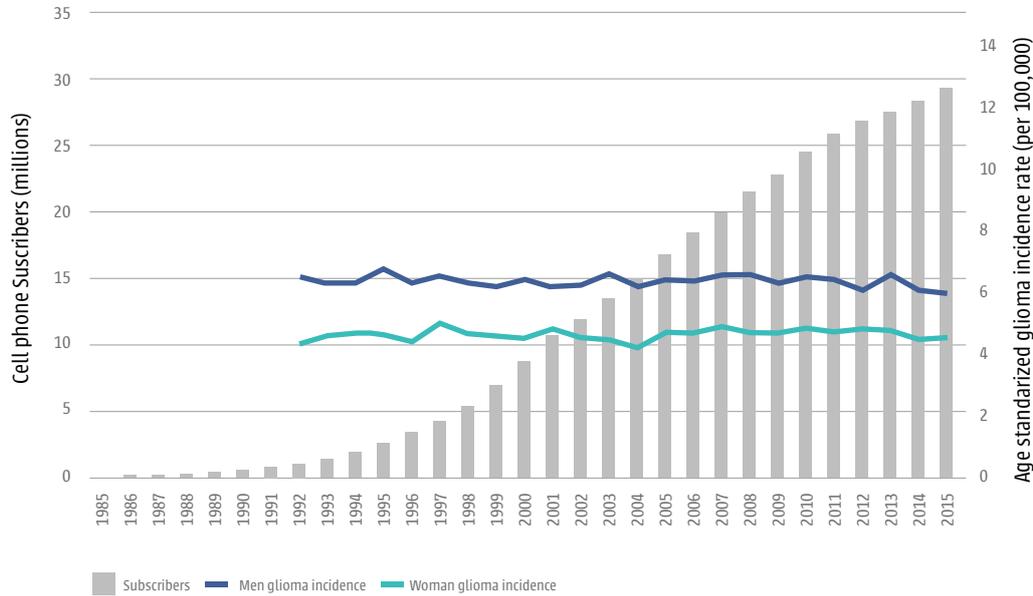
Consideran que parte del aumento de los principales subtipos de tumores cerebrales en Inglaterra podría explicarse por los avances en la práctica clínica, incluida la adopción de nuevas herramientas de diagnóstico, y en los mejores registros de cáncer. Incluir el envejecimiento de la población, mayor acceso a la atención neuroquirúrgica, métodos diagnósticos, análisis más completos y detallados incluidos los tumores benignos, y actualizaciones periódicas en la codificación de la clasificación de la OMS para los tumores del SNC, pueden desempeñen un papel en los cambios futuros.

En un análisis realizado por Deltour I et al. (2022) se valora la incidencia de gliomas en **Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suecia entre hombres de 40 a 69 años** utilizando datos de registros nacionales de cáncer y estadísticas de población de 1979 a 2016. Asumiendo que el uso de TM podía incrementar el riesgo de glioma de acuerdo con los resultados de algunos estudios de casos y controles en hombres de edad avanzada de 40 a 69 años en Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suecia. Bajo esa hipótesis, calcularon el número esperado de casos, durante los años 1979-2016 según tamaños de efecto hipotéticos. Valoraron si los números esperados fueron estadísticamente compatibles con el número de casos observados en estos grupos de población durante este período, para evaluar la consistencia de los resultados publicados de esos estudios epidemiológicos con las observaciones de tendencias en el tiempo.

La información sobre el uso regular del TM y la cantidad de tiempo de llamada se obtuvo de importantes estudios de TM en estos países. Comparan la incidencia anual observada con la esperada bajo varios diversos riesgos y escenarios para evaluar cuál es el tamaño del efecto compatible con la TI observada. Los números esperados de los casos se calcularon teniendo en cuenta el impacto de otros factores además del uso del teléfono móvil, como la mejora en el registro de cáncer. Sobre la base de 18.232 casos de glioma, la TI aumentó leve pero constantemente con un cambio del 0,1 % (IC del 95 %: 0,0 %; 0,3 %) por año, de 1979 a 2016 entre hombres de 40–59 años y en un 0,6 % (95 %IC 0,4; 0,9) de 60–69 años.

Las tendencias en la TI observadas entre hombres de 40 a 59 años fueron incompatibles con los índices de riesgo relativo (RR) de 1,08 o mayor con un desfase de 10 años, $RR \geq 1,2$ con un desfase de 15 años y $RR \geq 1,5$ con un desfase de 20 años. Para el grupo de edad de 60 a 69 años, los tamaños del efecto correspondientes $RR \geq 1,4$, ≥ 2 y $\geq 2,5$ para tiempos de desfase de 10, 15 y 20 años. Este estudio confirma y refuerza las conclusiones **de que no hubo cambios en la incidencia de gliomas en los países nórdicos atribuibles a los teléfonos móviles.** Los resultados fueron consistentes con los resultados de otros estudios de cohortes prospectivos que no muestran asociación entre uso del teléfono móvil y riesgo de glioma. Y es importante porque no coincide con los casos - control publicados con hallazgos positivos.

Figura 5.9. Tasas de incidencia de glioma estandarizadas por edad en Canadá para hombres y mujeres y número estimado de suscriptores de teléfonos celulares entre 1985 y 2015.



En este estudio de Villeneuve PJ et al., (2021) se evaluaron si los cambios temporales en el uso de TM y la incidencia de glioma en **Canadá** eran coherentes con la hipótesis de un aumento del riesgo. Se utilizaron datos del **Registro Canadiense de Cáncer** para calcular las tasas anuales de incidencia de glioma entre 1992 y 2015. El número anual de nuevos abonados a teléfonos móviles se determinó utilizando estadísticas nacionales de la industria. El número de nuevos gliomas diagnosticados se comparó con el número previsto mediante la aplicación de los riesgos de los estudios epidemiológicos a las estimaciones de población por edad. En concreto, se calculó el número “previsto” de gliomas determinando la prevalencia anual de usuarios de TM y los años de uso. Estas estimaciones se multiplicaron por las estimaciones de riesgo correspondientes para determinar el número previsto de gliomas.

El número de suscripciones a móviles en Canadá aumentó de cero a principios de la década de 1980 a aproximadamente 29,5 millones en 2015. En total, se diagnosticaron aproximadamente 43.350 casos de glioma entre 1992 y 2015 en Canadá. Las tasas estandarizadas por edad para hombres y mujeres se mantuvieron relativamente estables durante este periodo (Fig 6.9). Por el contrario, el número de abonados a teléfonos móviles aumentó de prácticamente nulo a más de 27 millones entre 1985 y 2015. Las TI de glioma aumentaron con la edad, siendo mayores entre los hombres que entre las mujeres. **Para los menores de 70 años, se mantuvieron estables a lo largo del tiempo.** Por el contrario, la tasa de incidencia de glioma entre los hombres de 70 años o más, aumentó de 15,9 por 100.000 en 1992 a 19,4 por 100.000 en 2015, el cambio correspondiente en las mujeres de este rango de edad fue de 11,6 a 13,8 por 100.000.

Estos resultados revelan que **las TI de gliomas se mantuvieron estables entre 1992 y 2015, aunque se observaron aumentos modestos entre los hombres mayores** (de 70 años o más). El número de casos de gliomas diagnosticados en Canadá ha aumentado con el tiempo debido tanto al incremento en el tamaño general de la población canadiense como a los cambios demográficos asociados con el envejecimiento de la población (Statistics Canadá, 2016). Después de tener en cuenta la mayor prevalencia del uso de TM entre los canadienses, **los patrones temporales en la incidencia de glioma no fueron consistentes con las asociaciones positivas reportadas en tres grandes estudios de casos y controles**. Al aplicar las estimaciones de riesgo se emplearon estudios previos: a) un reciente análisis agrupado de estudios suecos de casos y controles, b) el estudio INTERPHONE de 13 países, y c) los resultados más recientes de los datos recopilados del componente canadiense de INTERPHONE. **Estos riesgos sobrestimaron el número observado de casos de glioma diagnosticados en Canadá en 2015 en un 50%, 86% y 63%, respectivamente**. La interpretación ha sido, que las predicciones de los recuentos de incidencia de glioma utilizando estimaciones del riesgo relativo debido al uso de teléfonos móviles a partir de estudios de casos y controles **sobrestimaron** las TI de glioma en Canadá. La ausencia de un aumento de las TI de gliomas junto con un marcado incremento del uso del TM sugiere **que puede no existir una relación causal entre los TM y el glioma**. Este estudio se limitó a estos tumores, que son el tipo de cáncer cerebral más comúnmente diagnosticado. La mayor parte de la evidencia recopilada hasta la fecha sobre una posible asociación causal con el uso del TM ha sido para este tipo de cáncer. Además, la aplicación de estimaciones de riesgo de estudios previos de casos y controles sobre el uso de TM y el glioma no son consistentes con los datos canadienses a nivel nacional.

En las últimas décadas, ha sido motivo de preocupación la posibilidad de que el uso de dispositivos de comunicación inalámbricos, en particular teléfonos pueda aumentar el riesgo de tumores cerebrales en jóvenes, teniendo en cuenta el considerable aumento de su uso. **MOBI-Kids**, (Castaño-Vinyals G et al.; 2022) un **estudio de casos y controles** en 14 países (Australia, Austria, Canadá, Francia, Alemania, Grecia, India, Israel, Italia, Japón, Corea, Países Bajos, Nueva Zelanda y España) se llevó a cabo para evaluar si la tecnología inalámbrica: el uso del teléfono (y en particular la exposición resultante a CEM-RF y a los de frecuencia extremadamente baja) aumentan el riesgo de tumores cerebrales en los jóvenes. Entre 2010 y 2015, el estudio reclutó a 899 personas con tumores cerebrales de entre 10 y 24 años y 1.910 controles (operados de apendicitis) emparejados con los casos por fecha de diagnóstico, región de estudio y edad. Las tasas de participación fueron del 72% para los casos y del 54% para los controles. La edad media de los casos y los controles fue de 16,5 y 16,6 años, respectivamente; El 57% eran hombres. La gran mayoría de los participantes en el estudio eran usuarios de TM, incluso en el grupo de edad más joven, y el estudio incluyó un número sustancial de usuarios a largo plazo (más de 10 años): 22% en general y 51% en el grupo de 20 a 24 años. La mayoría de los tumores fueron gliomas. Los “odds ratios” (razón de probabilidades) de estos parecieron disminuir con el tiempo transcurrido desde el inicio del uso de TM, el número acumulado de llamadas y el tiempo acumulado de llamadas, particularmente en el grupo de edad de 15 a 19 años. Análisis adicionales sugieren que es poco probable que la gran cantidad de OR por debajo de 1 en este estudio represente un efecto preventivo causal desconocido de la exposición. Esto puede explicarse, al menos parcialmente, por el recuerdo diferencial de los representantes y los síntomas prodrómicos que afectan el uso del teléfono antes del diagnóstico de la enfermedad. Sin embargo, no podemos descartar la confusión residual de fuentes que no medimos. En general, este estudio **no proporciona evidencia de una asociación causal entre el uso de teléfonos inalámbricos y los tumores cerebrales en los jóvenes**. Sin embargo, las fuentes de sesgo resumidas anteriormente impiden descartar un pequeño aumento del riesgo.

Joachim Schuz J et al.; (2022) actualizan el seguimiento de un **estudio prospectivo** en Inglaterra a gran escala, sobre la asociación entre el uso de teléfonos móviles y los tumores cerebrales. De 1996 a 2001 se reclutaron 1,3 millones de mujeres nacidas entre 1935 y 1950. Las preguntas sobre el uso de teléfonos móviles se formularon por primera vez en el año 2001 y nuevamente en el año 2011. Todos los participantes del estudio fueron seguidos mediante un vínculo de registro con los Servicios Nacionales de Salud de bases de datos sobre muertes y registros de cáncer (incluidos tumores cerebrales no malignos). Durante 14 años de seguimiento de 776.156 mujeres que completaron el cuestionario de 2001, se registraron un

total de 3.268 incidentes de tumores cerebrales. Los riesgos relativos (RR) ajustados para el uso de teléfono móvil alguna vez versus nunca fueron 0,97 (intervalo de confianza del 95%: 0,90 a 1,04) para todos los tumores cerebrales, 0,89 (intervalo de confianza del 95%: 0,80 a 0,99) para gliomas y no difiere estadísticamente de forma significativa de 1,0 para meningioma, tumores de hipófisis y neuroma acústico. En comparación con los que nunca utilizaron móviles no se encontraron asociaciones estadísticamente significativas, ni en general ni por subtipo tumoral ni por el uso diario de teléfono móvil o por haber utilizado teléfonos durante al menos 10 años. Como punto de referencia, no hubo asociaciones estadísticamente significativas con hablar durante al menos 20 minutos por semana o con al menos 10 minutos/años de uso. Como conclusión, **estos hallazgos respaldan la evidencia acumulada de que el uso de teléfonos móviles en condiciones habituales no aumenta la incidencia de los tumores cerebrales.**

5.2.5. CEM-RF y otras neoplasias

Carcinoma de tiroides

La incidencia del cáncer de tiroides ha aumentado dramáticamente en los Estados Unidos durante las últimas cuatro décadas, con patrones similares observados internacionalmente. El cáncer de tiroides actualmente ocupa el puesto 13 de cáncer más común en general y el sexto en mujeres. De los principales tipos histológicos, alrededor del 90% son papilares, 4% carcinomas foliculares de tiroides, 2% carcinomas de células de Hürthle, 2% carcinomas medulares de tiroides y 1% carcinomas anaplásicos de tiroides.

Además de la exposición a radiaciones ionizantes en la infancia, la obesidad surgió como otro factor de riesgo importante. Los mecanismos biológicos siguen siendo poco conocidos. El potencial e Influencia de sustancias químicas disruptoras endocrinas y la disfunción tiroidea han sido un foco de atención etiológica sobre el desarrollo del cáncer de tiroides. Avances importantes en la identificación de subtipos moleculares del cáncer de tiroides y los factores de susceptibilidad genética proporcionan información sobre el origen de esta enfermedad. Los cánceres de tiroides también se clasifican según factores genéticos el estudio del Atlas del Genoma del Cáncer de 2014 que condujo a la identificación de mutaciones en más del 95% de casi 500 carcinomas papilares. La incidencia del cáncer de tiroides varía sustancialmente según la zona geográfica especialmente en mujeres. En general, la mayor frecuencia se observa en los países más desarrollados. La incidencia es aproximadamente 3 veces mayor en las mujeres que en los hombres. Aumenta desde adolescencia hasta la edad media, alcanzando su punto máximo alrededor de los 55 años en las mujeres y 65 años en los hombres, y posteriormente disminuye. La mortalidad por cáncer de tiroides es muy baja en relación con la incidencia (aproximadamente 0,5 muertes por 100.000 por año) con menos evidencia de disparidad de sexo.

Desde principios de los años 1980 hasta mediados de los años 2010, la incidencia en los Estados Unidos casi se triplicó, aumentando a un ritmo más rápido que cualquier otro tipo de cáncer, antes de estabilizarse y luego disminuir a mediados de la década de 2010. La tendencia alcista fue impulsada principalmente por el subtipo papilar. El aumento coincidió con la introducción y el uso cada vez más generalizado desde los años 1980 a 1990 de técnicas de imágenes médicas, incluyendo ultrasonografía de tiroides, resultando en la detección y diagnóstico incidental de cánceres que antes no se habrían detectado. Por estas razones, se ha hecho referencia al incremento del cáncer de tiroides como una “epidemia de sobrediagnóstico”. (Kitahara et al.; 2022). El sobrediagnóstico se define como el diagnóstico de una condición que no habría causado daño al individuo a lo largo de su vida si no se detecta. Tendencias similares se ha observado en casi todas las regiones del mundo.

Registros de tumores y estudios de revisión

En el estudio de Miranda-Filho A et al., (2021) patrocinado por varios grupos, (Funding French Institut National du Cancer, Italian Association for Cancer Research, Italian Ministry of Health) se realiza una descripción general de las tendencias internacionales de la incidencia del cáncer de tiroides por los principales subtipos histológicos. Es un estudio poblacional con datos recopilados por la **IARC para el período 1998-2012**. Los datos se extrajeron del compendio Plus Incidencia del cáncer en **los cinco continentes**. Seleccionan los datos de 25 países que tenían una población de más de 2 millones de personas cubiertas por registros de cáncer (87 registros en total). Otros criterios fueron que las áreas de registro seleccionadas debían tener una proporción de cáncer de tiroides no especificado inferior al 10% y los análisis se restringieron a personas de entre 20 y 84 años. Calculan las TI específicas por edad por 100 000 personas-año para personas de 20 a 84 años. También las tendencias por país, sexo y subtipo histológico principal (papilar, folicular, medular o anaplásico) en función de cambios absolutos en las TI estandarizadas por edad entre 1998-2002 y 2008-2012. En los resultados el cáncer papilar de tiroides fue el más frecuente y fue el único subtipo histológico que aumentó sistemáticamente en todos los países, aunque con una *gran variabilidad entre ellos*. En las mujeres, la TI estandarizada por edad de 2008 a 2012 osciló entre 4,3 y 5,3 casos por 100 000 personas-año en los Países Bajos, el Reino Unido y Dinamarca y los 143,3 casos por 100 000 mujeres en Corea del Sur. Para los hombres durante el mismo período, las tasas de incidencia estandarizadas por edad, de cáncer papilar de tiroides por 100.000 personas-año oscilaron entre 1,2 casos por 100.000 en Tailandia y 30,7 casos por 100.000 en Corea del Sur. En muchos países de Asia, el aumento en las mujeres fue particularmente pronunciado después del año 2000; **las tasas se estabilizaron aproximadamente desde 2009 en Estados Unidos, Austria, Croacia, Alemania, Eslovenia, España, Lituania y Bulgaria**. Las tendencias temporales del cáncer de tiroides folicular y medular no mostraron patrones consistentes en todos los países, pero se observaron ligeras disminuciones en el cáncer de tiroides anaplásico en 21 de 25 países entre 1998-2002 y 2008-2012. En 2008-2012, las tasas estandarizadas por edad para el subtipo folicular oscilaron entre 0,5 y 2,5 casos por 100 000 mujeres (y entre 0,3 y 1,5 por 100 000 hombres), mientras que las del subtipo medular fueron siempre menos de 1 caso por 100.000 mujeres u hombres. Para el cáncer anaplásico de tiroides menos de 0,2 casos por 100.000 mujeres u hombres.

La Interpretación que realizan de estos datos es que en el período de 1998 a 2012, los rápidos aumentos en la incidencia del cáncer de tiroides **se observaron solo para el cáncer papilar, el subtipo que es más probable que se encuentre en forma subclínica y por lo tanto, se detecte mediante un escrutinio intenso de la glándula tiroides. Las diferencias entre los distintos países no son aclaradas.**

Carlberg M et al., (2020) analizan la creciente incidencia de cáncer de tiroides en los países nórdicos y si existe alguna relación con el uso de TM. Durante las últimas dos décadas, se ha informado de un sorprendente aumento de este tumor en los países nórdicos. El uso del TC y tomografía por emisión de positrones asociada a TC (PET-TC) para procedimientos de diagnóstico puede haber contribuido al aumento de la incidencia, pero no les parece que se pueda explicar como única causa. En este trabajo se utilizan para el estudio **el registro del cáncer de tiroides del Swedish Cancer Register y Nordic Cancer (NORDCAN) de los países nórdicos**. Se analiza la incidencia ajustada por edad por 100.000 personas-año según la población mundial para el período 1970-2017. La base de datos se actualizó hasta 2018, pero el último año fue excluido debido a un retraso en la notificación de casos que lleva a una subestimación del número de tumores para ese año según el Registro Sueco de Cáncer. Los datos están disponibles en línea. (https://sdb.socialstyrelsen.se/if_can/val.aspx). NORDCAN se utilizó para todos los países nórdicos (Suecia, Dinamarca, Finlandia, Noruega e Islandia) para estudiar la incidencia del cáncer de tiroides en el período 1970-2016 (última actualización). De este modo se hizo un ajuste por edad según la población mundial. Los datos están disponibles en línea. (<http://www.dep.iarc.fr/NORDCAN/english/frame.asp>). El diagnóstico del tumor se basa en el examen clínico, histología/citología, cirugía y/o autopsia. Además, se realizan pruebas de laboratorio, TC y RM.

Durante ese período, la incidencia aumentó de manera estadísticamente significativa en mujeres con un cambio porcentual anual promedio (AAPC) +2,13%, Intervalo de confianza (IC) del 95% +1,43, +2,83%. **El aumento fue especialmente pronunciado durante el período 2010-2017** con cambio porcentual anual (APC) +9,65%, IC del 95% +6,68, +12,71%. En los hombres, la AAPC aumentó durante 1970-2017 con +1,49%, IC 95% +0,71, +2,28%. El mayor aumento se registró en ese período 2001-2017 con APC +5,26%, IC 95% +4,05, +6,49%. Se encontraron resultados similares para todos los países nórdicos según NORDCAN 1970-2016 con APC +5,83%, IC del 95% +4,56, +7,12 en mujeres de 2006 a 2016 y APC +5,48%, IC 95% +3,92, +7,06% en hombres de 2005 a 2016. Según el Registro Sueco de Cáncer, la incidencia creciente fue similar para los tumores de 4 cm como para los tumores de mayor tamaño, lo que indica que el aumento no puede explicarse por un sobrediagnóstico. **Postularon** que la radiación de RF es un factor causante de la creciente incidencia del cáncer de tiroides. En este trabajo tal y como se comenta “postulan” que la telefonía móvil puede ser la causa del aumento de incidencia del cáncer papilar de tiroides. Pero se trata de una hipótesis no de un hecho.

Desde principios de la década de 1980 las TI del cáncer papilar de tiroides y la prevalencia de la obesidad, un factor de riesgo para este tumor, han aumentado sustancialmente en los Estados Unidos. En el estudio de Kitahara CM et al. ,(2020) se estima la incidencia del tumor papilar de tiroides atribuible al sobrepeso y la obesidad durante el período 1995-2015. Analizan los datos de cohorte del Estudio sobre Dieta y Salud del **National Cancer Institute** con 457.331 participantes, de 50 a 71 años, y libres de cáncer al inicio del estudio. Se utilizaron para estimar los índices de riesgo (IR) ajustados a multivariantes de todas las categorías del índice de masa corporal. Las fracciones atribuibles a la población (FAP) se calcularon utilizando IR estimados y sobrepeso anual y estimaciones de prevalencia de obesidad de la Encuesta Nacional de Entrevistas de Salud. Las estimaciones de FAP se combinaron con vigilancia epidemiología y resultados a finales de 2013 para calcular los cambios porcentuales anuales en las TI de este tumor atribuibles (y no relacionadas) al sobrepeso y la obesidad.

En los resultados se observa que el sobrepeso (25,0–29,0 kg/m²) y la obesidad (30,0 kg/m²) se asociaron con 1,26 veces más de riesgo global y más de cinco veces de IR = 5,42 de grandes tumores (>4 cm) en comparación con el peso normal (18,5–24,9 kg/m²). Durante el período 1995-2015, las estimaciones de FAP para el sobrepeso y la obesidad aumentaron del 11,4% al 16,2% para todos los tumores papilares y del 51,4% al 63,2% para los de gran tamaño. El sobrepeso u obesidad supuso el 13,6% y el 57,8% de los cambios porcentuales anuales en las TI total (5,9%/año) y grandes volúmenes tumorales (4,5%/año) respectivamente durante 1995-2015. En las conclusiones, **el sobrepeso y la obesidad pueden haber contribuido de manera importante al rápido aumento de la incidencia del carcinoma papilar de tiroides durante 1995-2015.**

Carcinoma de glándulas salivares

Las patologías de las glándulas salivales son un grupo heterogéneo de enfermedades con diversas características clínicas. Los tumores de las glándulas salivales representan del 3 al 10% de todos los cánceres de cabeza y cuello. En Europa, este porcentaje es más elevado alrededor del 8,5%. La mayoría de las lesiones proliferativas en las glándulas salivales son benignas y sólo menos del 20% son malignas. El aumento mundial del uso de TM en las últimas décadas ha generado preocupación sobre los posibles efectos sobre la salud derivados de la exposición a la radiación no ionizante (RF) especialmente el cáncer. Cuando se utiliza el cerca de la cabeza, las glándulas salivales y especialmente la glándula parótida, que se encuentra delante de la oreja, está entre las zonas del cuerpo más expuestas. El carcinoma de glándulas salivales es una enfermedad rara y los estudios sobre epidemiología y resultados requieren la recopilación de datos durante muchos años.

Un estudio basado en la **cohorte nacional danesa** de pacientes con carcinoma de glándulas salivales (Westergaard-Nielsen M et al.; 2021) tiene como objetivo actualizar las TI, sitios anatómicos, subtipos histológicos y tasas de supervivencia de estas neoplasias. Es un análisis retrospectivo de cohortes. Se incluyeron y analizaron datos de todos los pacientes daneses con carcinoma de glándulas salivales diagnosticados entre 1990 y 2015 (n = 1601) después de la reevaluación y reclasifi-

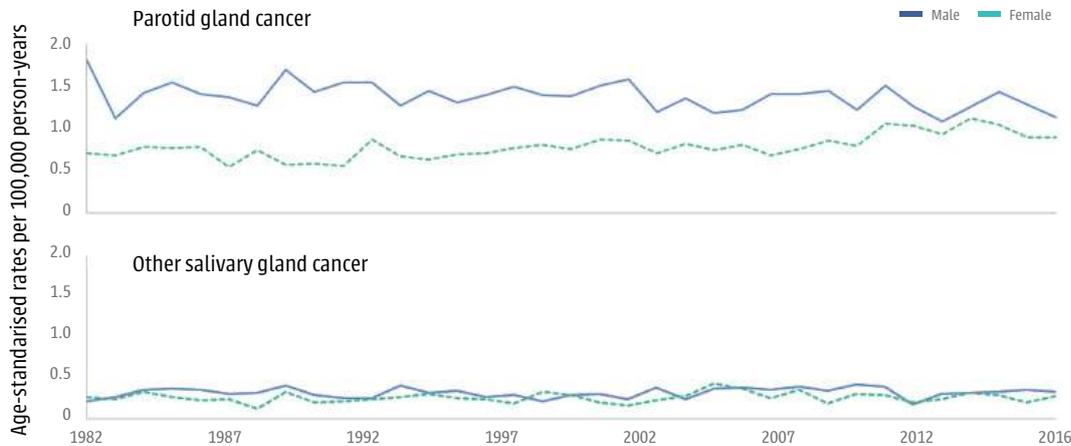
cación histológica. Se evaluó la supervivencia general, la específica de la enfermedad y la libre de recurrencia. Los factores pronósticos se analizaron con regresión multivariante de riesgos de Cox.

La población del estudio estuvo compuesta por 769 hombres y 832 mujeres, con una mediana de edad de 62 años (rango 6-102). La localización anatómica más frecuente fue la glándula parótida (51,8%). El carcinoma adenoide quístico fue el subtipo más común (24,7%). La incidencia bruta media fue de 1,2/100.000/año con un aumento del 1,5% anual. **La incidencia ajustada por edad se ha mantenido estable durante un período de 26 años.** El análisis multivariante confirmó que el grado histológico, el estadio avanzado, los márgenes quirúrgicos afectados y la invasión vascular son factores pronósticos negativos independientes. Las tasas de supervivencia se mantuvieron estacionarias en comparación con informes anteriores.

Karipidis K et al. (2021). realizan un estudio basado en los tumores de las glándulas salivales mayores diagnosticados entre 1982 y 2016 obteniendo los datos **del Instituto Australiano de Salud y Bienestar (AIHW en sus siglas en inglés)**. La notificación de incidentes de cáncer invasivo es obligatoria en todos los estados y territorios australianos y la AIHW ha estado recopilando y notificando datos nacionales sobre la incidencia del cáncer de glándulas salivales desde 1982. Las TI anual estandarizadas por edad, por 100.000 personas-año, se calcularon por separado para hombres y mujeres utilizando la población estándar de la OMS. Los análisis de las tendencias temporales de la incidencia se llevaron a cabo mediante la regresión de Poisson para estimar el APC con sus correspondientes intervalos de confianza del 95 %. El APC se calculó para todo el período de datos de incidencia disponibles (1982-2016), así como para décadas separadas que representan cambios en el uso de TM, teniendo en cuenta que no representaban ningún riesgo específico relacionado con los TM. El intervalo de 1982-1993 representa una pequeña proporción de la población australiana que utiliza TM; 0,02 % en 1987 y 4 % en 1993; Entre 1994-2005 hay un rápido aumento en el uso del 6% en 1994 al 82% en 2005; y entre 2006-2016 la mayoría de la población los utiliza del 87 % en 2006 al 90 % en 2016. En los resultados obtenidos se apreció una disminución en la incidencia de cáncer de glándula parótida en los hombres (1,8 a 1,1 por 100.000 personas-año entre 1982 y 2016; APC: -0,51, 95 IC %: -0,84, -0,17). Durante el mismo período hubo un aumento en la incidencia de cáncer de glándula parótida en las mujeres (0,7 a 0,9 por 100.000 personas-año; APC: 1,3; IC del 95 %: 0,85 a 1,76), que fue mayor en el grupo de edad de 20 a 59 años. (0,4 a 0,8 por 100.000 personas-año; APC: 2,37; IC del 95 %: 1,71, 3,03). La incidencia de otros cánceres de glándulas salivales se mantuvo estable durante el período (Figura 5.10). La incidencia de cánceres de glándula parótida u otras glándulas salivales se mantuvo estable durante los períodos 1982-1993 y 1994-2005. **Durante el último período 2006-2016 hubo una gran disminución en la tendencia del cáncer de glándula parótida en los hombres (APC: -3,71, IC del 95 %: -6,66, -0,67) y un gran aumento en las mujeres (APC: 4,80, IC del 95 %: 1,77, 7,91) en el grupo de edad de 20 a 59 años; el aumento en las mujeres corresponde aproximadamente a 2 o 3 casos adicionales por año.** La incidencia de otros cánceres de glándulas salivales se mantuvo estable durante el último período

Aunque ha habido un aumento significativo en el uso de TM en Australia desde que se introdujeron por primera vez, un 90% de la población en la última década, **las investigaciones han demostrado que hombres y mujeres usan TM pegados a la cabeza por igual.** Además, se ha conocido que la prevalencia del uso de TM en los hombres ha sido superior a la de las mujeres, **por lo que cualquier aumento del riesgo relacionado con los TM debería ser detectable en los hombres antes de que sea detectable en las mujeres.** Finalmente, la absorción de la radiación de RF es similar en ambos sexos y no se conoce ningún biomecanismo que haga que las mujeres sean más susceptibles a la radiación de RF que los hombres. **Aunque este análisis no excluye un efecto tan pequeño, si se limita a un sexo o a ciertos años, excluye un efecto grande y sustancial.** En conclusión, estos resultados **no indican que el uso de teléfonos móviles aumente la incidencia de cánceres de parótida u otros cánceres de glándulas salivales.** Un aumento del cáncer de glándula parótida en mujeres desde 2006 puede atribuirse a posibles factores de riesgo específicos de este género. Este estudio es una investigación observacional ecológica y su interpretación debe ser cautelosa. Estos resultados resaltan la necesidad de realizar más investigaciones sobre los posibles factores de riesgo del cáncer de glándula parótida. Una mejor comprensión de la etiología de la enfermedad puede revelar oportunidades para que las estrategias de salud pública reduzcan la creciente incidencia en las mujeres.

■ **Figura 5.10. Incidencia de cáncer de parótida en adultos (20+ años) y de otras glándulas salivares en Australia de 1982 a 2016. Kapiridis et al, (2021).**



De Vocht F., (2021). Analiza las TI anual y las tasas estandarizadas por edad de cánceres seleccionados por sexo y grupos de edad con intervalos de 5 años. El estudio incluye los casos en Inglaterra de 1996 a 2017. Los datos se obtuvieron de la **Oficina de Estadísticas Nacionales del Reino Unido**. Se interpretan a la luz del uso del TM como factor de riesgo. El uso de TM ha aumentado rápidamente desde poco más de un millón de suscripciones en 1990 a más siete millones al inicio de los datos sobre el cáncer en este estudio (1996), más de 43 millones en 2000 y 79 millones en 2017.

Se obtuvieron TI de cáncer para población total y anual especificada por sexo, así como las tasas directamente estandarizadas por edad para los años disponibles 1996–2017. Se analizan para tumores cerebrales, cáncer de glándula parótida, cáncer de la glándula tiroidea y el cáncer de colon y recto porque en todos ellos se ha planteado la hipótesis de que están asociados con la exposición a CEM- RF. Los cánceres de cerebro y glándula parótida se actualizaron 10 años después de una publicación anterior y continúan brindando poca información de evidencia de una asociación con el uso del TM. Aunque no se puede excluir el uso de T M como un factor de riesgo potencial que contribuye a una mayor incidencia de cáncer colorrectal o de tiroides basándose en estos datos ecológicos, es poco plausible que sea un factor de riesgo importante para cualquiera de los dos. A falta de claridad en los estudios epidemiológicos, sigue siendo necesario seguir vigilando las tendencias. En las conclusiones **por el momento, en este estudio y de acuerdo con datos de otros países, hay poca evidencia de una asociación entre el uso del TM y el cáncer de cerebro o de glándula parótida**. Las hipótesis de asociaciones con el cáncer de tiroides o colorrectal son igualmente débiles.

En esta revisión Grimes DR., (2022) analiza múltiples estudios de los posibles mecanismos biofísicos de inducción del cáncer para dilucidar el posible daño al ADN debido a los CEM y colocar la RF en contexto apropiado en el espectro electromagnético. Revisa también la evidencia epidemiológica existente y discute lo que se ha hecho hasta la fecha en humanos y animales de laboratorio sobre el tema. En su opinión, es fundamental abordar las inquietudes de los pacientes sobre el tema y estar familiarizado con base de evidencia existente para el conocimiento de los médicos. Las preocupaciones sobre la radiación de CEM -RF y la carcinogénesis han existido durante mucho tiempo y la llegada de la tecnología móvil 5G ha visto una avalancha de afirmaciones sobre este efecto. En resumen, después del análisis de los datos estudiados las conclusiones son: que la evidencia indica firmemente que las afirmaciones de **un vínculo RF-cáncer no están respaldadas por la base de evidencia actual**. Sin embargo, la investigación hasta la fecha se ha visto socavada por deficiencias metodológicas, y es necesario realizar investigaciones futuras de mayor calidad. *Finalmente, el papel de la ciencia marginal y las afirmaciones sin fundamento en la percepción de los pacientes y del público sobre este tema son muy relevantes y deben ser consideradas cuidadosamente.*

5.2.6. Conclusiones

Por tanto, a la vista de lo expuesto anteriormente podemos resumir la evidencia aportada en las siguientes conclusiones:

- Básicamente no se aprecian cambios respecto al anterior informe de CCARS 2016-2019.
- No parece que con los datos disponibles se deduzca un efecto carcinógeno de la exposición a CEM-RF.
- No se aprecia un evidente incremento en gliomas, se mantiene el GB como el subtipo más frecuente con un pico de incidencia de 65 a 84 años.
- El incremento de los schwannomas vestibulares puede estar en relación con la realización de RM ante el mínimo síntoma, como la hipoacusia unilateral. Lo que conlleva también un diagnóstico precoz de tumores muy pequeños, que se mantienen en observación y no reciben tratamiento.
- El aumento en la incidencia de meningiomas benignos (grado 1) se asocia también a la realización de pruebas diagnósticas de forma precoz, aunque no pueden descartarse que estén implicados también otros factores.
- El cáncer papilar de tiroides se ha incrementado en todos los países, pero con unas diferencias sustanciales entre unos y otros que no han sido explicadas. Se ha considerado como una causa la obesidad y lo más relevante ha sido el “sobrediagnóstico”. No se pueden descartar otras causas como la influencia de CEM-RF, pero son hipótesis.
- Los tumores de glándulas salivares han permanecido estables en general. En el estudio de Karipidis K et al. (2021) con los datos del Instituto Australiano de Salud y Bienestar, observan que durante el último período 2006-2016 hubo una gran disminución en la tendencia del cáncer de glándula parótida en los hombres (APC: -3,71, IC del 95 %: -6,66, -0,67) y un gran aumento en las mujeres (APC: 4,80, IC del 95 %: 1,77, 7,91) en el grupo de edad de 20 a 59 años. Estos resultados lógicamente no han podido relacionarse con el uso de telefonía móvil que es utilizada de igual forma en ambos sexos.
- Como los periodos de latencia en un efecto carcinógeno pueden ser muy elevados, continúa siendo imprescindible realizar estudios epidemiológicos cuya metodología y fiabilidad no sea puesta en duda y que reseñen seguimientos a muy largo plazo. También revisiones sistemáticas periódicas siguiendo los criterios PRISMA y metaanálisis que ayuden a disipar las dudas.

5.3. Efectos de los CEM-RF sobre la salud humana

Se han adjudicado múltiples alteraciones en diversos campos de la salud debido a los CEM-RF. Alteraciones de los mecanismos de reproducción, genotoxicidad, infertilidad, cambios del patrón de sueño, cefalea, cambios de conducta, alteraciones cardiovasculares...y síntomas muy inespecíficos.

En la revisión realizada por Okechukwu C., (2020) considera como hipótesis que el aumento en el uso de TM, ordenadores portátiles e Internet inalámbrico, Wi-Fi y routers /módems, 5G incrementa el número de dispositivos y estos emiten una cantidad considerable de radiación electromagnética que podría interactuar con el sistema reproductivo masculino ya sea por vía térmica o no térmica. El objetivo de esta mini revisión (no es sistemática) fue examinar los efectos del TM en la fertilidad masculina de 2003 a 2020. Se utilizó el sistema Medical Subject Heading para extraer estudios de investigación relevantes de PubMed. Basado en los resultados tanto humanos como estudios en animales analizados en esta revisión,

concluyen que los espermatozoides animales y humanos expuestos a los CEM emitidos por los TM tenían una movilidad reducida, anomalías estructurales y aumento del estrés oxidativo. La hipertermia escrotal y el aumento del estrés oxidativo podrían ser los mecanismos clave a través de los cuales se afecte la fertilidad masculina. Sin embargo, estos efectos negativos sólo aparecen asociados con la duración del uso del TM.

Maulin SM et al., (2021) en un estudio sobre la base de que la tasa de absorción específica de energía (SAR en inglés) se distribuye de forma no uniforme en el cuerpo humano y suele ser más alta en la parte del cuerpo más cercana al dispositivo, por ejemplo, cuando los hombres llevan sus teléfonos en sus bolsillos laterales que están muy cerca de sus testículos, consideran que exponen sus testículos a una mayor RF y puede ser dañino. Como resultado, la función testicular, incluida su función endocrina, puede verse afectada. En algunos análisis en humanos, el efecto biológico de mayor intensidad se puede observar en CEM-RF con un período más largo de exposición. La reducción de niveles de testosterona depende del tiempo de exposición con una disminución gradual durante un período más largo de la misma. Los CEM-RF también pueden tener un efecto en la glándula pituitaria anterior, con una disminución en hormona adrenocorticotrófica (ACTH), niveles de cortisol y hormonas tiroideas según refiere un estudio reseñado en esta revisión. Sin embargo, debido a que **sólo hay tres artículos disponibles**, es imposible concluir el efecto de CEM-RF sobre las hormonas reproductivas masculinas humanas. Además, *estos estudios también pasaron por alto la disminución general de la testosterona con edad*. Por lo tanto, se necesita más investigación para confirmar el efecto de CEM-RF sobre las hormonas reproductivas masculinas, incluida la hipótesis de hiperplasia de células de Leydig. Los datos existentes en animales y humanos sobre el efecto de RF emitido sobre las hormonas reproductivas masculinas son inconsistentes y difíciles de evaluar debido a la heterogeneidad del diseño del estudio. Sin embargo, la mayoría de los estudios son más consistentes con la afirmación de que *la exposición a largo plazo a CEM-RF puede alterar la reproducción masculina y actuar sobre la testosterona*. Concluyen que reducir el uso intensivo del móvil es aconsejable.

La asociación entre la exposición materna a CEM durante el embarazo y el riesgo de trastorno por déficit de atención/hiperactividad (TDAH en inglés) ha sido analizada tanto en animales como en humanos. Li DK et al., (2020) realizan un estudio cuyo objetivo fue determinar si la exposición materna a altos niveles de radiación no ionizante, CEM-RF está asociado con un mayor riesgo de TDAH en la descendencia. Emplearon un uso de mediciones precisas y el TDAH debiera ser diagnosticado por un médico en lugar de autoinformes. Así se pretenden determinar si la asociación difiere para los distintos subtipos de TDAH con o sin problemas relacionados con el sistema inmunológico y si tienen comorbilidades. Se realizó un estudio longitudinal de cohorte de nacimientos en la ciudad de Kaiser (California). Las madres forman una cohorte cuyo nivel de exposición a la radiación no ionizante se capturó durante el embarazo en 2 estudios realizados del 1 de octubre de 1996 al 31 de octubre de 1998 y del 1 de mayo de 2006 al 29 de febrero de 2012. Los niños fueron seguidos desde el 1 de mayo de 1997 al 31 de diciembre de 2017. Todas las mujeres participantes usaron un medidor de monitorización durante 24 horas durante el embarazo para capturar el nivel de exposición a la radiación no ionizante de cualquier fuente.

El TDAH fue diagnosticado por un médico y relacionado con el sistema inmunológico u otras comorbilidades como asma o dermatitis atópica realizando un control hasta los 20 años. El estudio se realizó en hijos incluidos en el **Kaiser Registro médico electrónico permanente del norte de California** desde el 1 de mayo de 1997 hasta el 31 de diciembre de 2017.

Los factores de confusión se determinaron con entrevistas personales durante el embarazo. Se utilizó la regresión de riesgos (Cox) para tener en cuenta el tiempo de seguimiento y los factores de confusión. Se realizaron análisis en escalas continuas y con niveles de exposición de diferentes categorías. No se hicieron correcciones para múltiples comparaciones. Entre las 1.454 parejas de madre e hijo fueron 548 blancos [37,7%], 110 afroamericanos [7,6%], 325 hispanos [22,4%], 376 asiáticos o isleños del Pacífico [25,9%] y 95 otros o desconocidos [6,5%]; edad materna, media 31,4 años. Hubo 61 niños (4,2%) que presentaron TDAH diagnosticado por un médico. Para un análisis de escala continua, los niños cuyas madres

estuvieron expuestas a altos niveles radiación no ionizantes no se asociaron con un mayor riesgo de TDAH (HR, 1,1; IC95%, 0,8-1,5). Resultados similares fueron observado en niños con TDAH que persistió hasta la adolescencia (HR, 1,3; IC95%, 0,9-1,9). Pero en análisis por categorías de los niños con TDAH, entre 8 niveles de exposición, 2 niveles de exposición se asociaron con riesgo de TDAH, pero 6 niveles no. En análisis de niños con TDAH persistente, se observaron asociaciones para 4 de 8 niveles de exposición. El estudio encontró que la exposición en el útero a algunos, pero no a todos, niveles altos de radiación no ionizante pudiera estar asociado con un riesgo de TDAH en la descendencia. **Sin embargo, dado que las asociaciones no son lineales y hay inconsistencias, los resultados deben interpretarse con cautela. Los hallazgos pueden impulsar más investigaciones para examinar la asociación biológica de la exposición en útero RF con riesgo potencial de TDAH en hijos en riesgo.**

Tettamanti G et al., (2020) analizan los efectos de la exposición CEM-RF por el uso de TM en el sueño. Se han investigado principalmente estudios transversales. Los pocos estudios de cohortes prospectivos previos no encontraron asociaciones o fueron inconsistentes, pero tuvieron un poder estadístico limitado y un seguimiento corto. En este gran estudio de cohorte el objetivo fue estimar el efecto de CEM-RF del uso de TM en diferentes niveles de sueño. El estudio incluyó participantes suecos (n = 21.049) y finlandeses (n = 3.120) inscritos en el estudio de cohorte sobre uso y salud de teléfonos móviles (COSMOS) con información sobre datos registrados por el operador. El uso de TM se valoró al inicio y la influencia en los resultados del sueño tanto al inicio como en el seguimiento de 4 años. Se analizó la alteración del sueño, la adecuación del sueño, la somnolencia diurna, la latencia del sueño y el insomnio. Estos datos se evaluaron mediante un cuestionario de sueño y por revisión médica. En este estudio, no encontraron asociación entre tiempo de llamada al teléfono móvil al inicio y alteración del sueño a los 4 años al hacer un seguimiento. Encontraron una asociación moderada en el nivel más alto de tiempo de llamada al inicio del estudio (> 258 min/semana) con insomnio al hacer un seguimiento. Sin embargo, los análisis que consideran la menor exposición a CEM de la red UMTS 3G en comparación con la red GSM 2G, sugieren que esto no fue debido a CEM-RF sino probablemente debido a otros aspectos del uso del TM. Los factores podrían ser estrés y altas exigencias con uso problemático del teléfono con desplazamiento del sueño. Otros factores de comportamiento pueden influir, como exposición a luz azul a la hora de acostarse y otros factores de confusión no medidos. **En conclusión, los hallazgos de este estudio no apoyan la hipótesis de que la exposición a CEM-RF por el uso de teléfonos móviles tiene efectos a largo plazo sobre la calidad del sueño.**

Los efectos de la exposición a CEM-RF en la salud de las personas que viven cerca de estaciones base de telefonía móvil (EBTM) han sido objeto de varios estudios desde mediados de la década de 2000, con resultados contradictorios. El objetivo del estudio de Martin S et al., (2021) ha sido investigar la asociación entre la exposición medida a CEM-RF y la presencia de síntomas no específicos y similares al insomnio autoinformados. Una encuesta transversal realizada entre 2015 y 2017 en cinco grandes ciudades de Francia involucró a 354 personas. Los criterios de inclusión fueron vivir en edificios ubicados a una distancia de 250 o menos de una EBTM y en el haz de transmisión principal de las antenas. Se proporcionó información sobre preocupaciones ambientales, ansiedad y síntomas inespecíficos y similares al insomnio. Estos son recogidos con un cuestionario administrado vía telefónica. Una medición completa con medidor de campo de banda ancha (100 kHz - 6 GHz) en cinco puntos de cada vivienda, seguido de un análisis espectral en el punto de mayor exposición, detallando la contribución de cada servicio, incluido la EBTM. La exposición media fue de 0,27 V/m (0,44 V/m para el campo global), oscilando entre 0,03 V/m y 3,58 V/m. siendo la EBTM la principal fuente de exposición para el 64% de las viviendas. En esta población de estudio la exposición a EBTM no se asoció con síntomas inespecíficos o similares al insomnio autoinformados. **Sin embargo, para síntomas similares al insomnio se encontró una interacción significativa entre la exposición a CEM-RF de EBTM y preocupaciones ambientales.** Estos hallazgos no respaldan la hipótesis de un efecto de los CEM-RF de las EBTM sobre enfermedades no específicas. *Pero se necesitan estudios para investigar más a fondo la asociación positiva observado entre la exposición a EBTM y síntomas similares al insomnio entre las personas que informaron preocupaciones.*

Balmori A., (2022) El objetivo de este trabajo fue realizar una revisión de la literatura para actualizar el conocimiento sobre los efectos de las antenas de EBTM en los humanos. Se seleccionaron estudios realizados en condiciones urbanas reales, con EBTM situadas cerca de apartamentos. Los resultados generales de esta revisión muestran tres tipos de efectos sobre la salud de las personas: enfermedad por radiofrecuencia (ERF), cáncer (C) y cambios en los parámetros bioquímicos (CPB). Considerando todos los estudios revisados globalmente ($n = 38$), el 73,6% (28/38) mostraron efectos: 73,9% (17/23) para la ERF, 76,9% (10/13) para C y 75,0% (6/8) para CPB.

Selmaoui BT, Touitou Y., 2021 revisan los efectos en animales de laboratorio y en humanos de la exposición a RF sobre dos hormonas consideradas marcadores endocrinos: la melatonina, una neurohormona producida por la glándula pineal y el cortisol, un glucocorticosteroide sintetizado por las glándulas suprarrenales. Estas dos hormonas también se consideran marcadores del sistema circadiano. La búsqueda bibliográfica se realizó mediante PubMed, Medline, Web of Science (ISI Web of Knowledge), Google Scholar y EMF Portal. De esta revisión sobre los efectos de los CEM-RF en el cortisol y la melatonina observan que **los artículos científicos son contradictorios, que muestran efectos, ningún efecto o datos no concluyentes**. Esto implica la necesidad de realizar investigaciones adicionales de seguimiento en un mayor número de sujetos y con protocolos perfectamente controlados para determinar mejor si el efecto crónico de la RF sobre el funcionamiento biológico y la salud de los usuarios existe (o no).

La glándula tiroides se encuentra entre los órganos más susceptibles a la radiación móvil debido a su ubicación en la parte anterior o el cuello. El propósito en esta revisión de la literatura (Alkayali T et al., 2021) fue explorar los efectos de los CEM-RF emitidos por TM sobre las hormonas tiroideas y la histopatología de la glándula tiroides. Se buscaron en las bases de datos PubMed y Google Scholar estudios relevantes publicados después del año 2000. Esta revisión reveló que la RF de los teléfonos móviles podría estar asociada con insuficiencia de la glándula tiroides y alteraciones en los niveles séricos de hormona tiroidea, con una posible implicación en el eje hipotalámico-pituitario-tiroideo. La hipófisis anterior libera TSH (hormona estimulante de la glándula tiroides) que luego actúa sobre los receptores presentes en los folículos de la glándula tiroides para la producción de T3 (triyodotironina) y T4 (tetrayodotironina). En el análisis sistemático realizado, dos estudios informaron una disminución de los niveles de TSH en sujetos expuestos a la radiación, mientras que uno informó un aumento. La revisión también incluyó cinco estudios con niveles reducidos de T4 tras la exposición a la radiación y dos estudios que informaron un aumento. Además, seis estudios revelaron una disminución de los niveles de T3 mientras que uno mostró un aumento. Los resultados comentaban que la exposición a CEM podría provocar estrés celular y aumento de la temperatura de la glándula tiroides. Esto pudiera afectar negativamente la absorción de yodo por los folículos tiroideos, provocando disfunción tiroidea. **Sin embargo, los resultados según los estudios de esta revisión son contradictorios.**

Una revisión sistemática y un metaanálisis realizado por Kacprzyk A et al., (2021) tiene el objetivo de investigar si el uso de TM aumenta el riesgo de tinnitus. Se identificaron ocho estudios que informaron el riesgo de tinnitus en relación con el uso de TM y en el metanálisis se incluyeron seis estudios de alta calidad (dos estudios de cohortes, un estudio de casos y controles y tres transversales). La evaluación de la calidad se realizó mediante la escala de Newcastle-Ottawa. El riesgo de tinnitus se analizó en función de la exposición al TM en subgrupos según el diseño del estudio y el método de evaluación de la exposición. Dos estudios de cohorte, que evaluaron la exposición utilizando datos del operador de red, **no indicaron un riesgo significativamente mayor de tinnitus entre los usuarios altamente expuestos en comparación con individuos ligeramente expuestos** (odds ratio [OR]: 1,03 [intervalo de confianza [IC] del 95 %: 0,93–1,15]). Del mismo modo, los datos de exposición autoinformados de dos cohortes/casos y controles y cuatro estudios transversales no encontraron una asociación entre la exposición a TM y tinnitus (OR: 1,20 [IC 95%: 0,40–3,61] y OR: 1,73 [IC 95%: 0,67–4,49], respectivamente). **El conocimiento científico actual, incluidos estudios de alta calidad con una evaluación de exposición fiable basada en datos del operador de red, no respalda la hipótesis de que el uso del teléfono móvil esté asociado con el tinnitus.**

El uso generalizado de los TM en el mundo en todas las edades de la vida, incluidos niños y adolescentes, conlleva una importante exposición de estas poblaciones jóvenes a CEM-RF. Por lo tanto, surge la pregunta de si la exposición podría provocar efectos nocivos en los sistemas biológicos y la salud del cuerpo de los más jóvenes. El objetivo de esta revisión (Bodewein L. et al., (2022) fue analizar y evaluar sistemáticamente los efectos fisiológicos relacionados con la salud de las exposiciones a los CEM-RF de dispositivos de comunicación inalámbrica en niños y adolescentes. Esta revisión se preparó de acuerdo con las pautas para revisiones sistemáticas y metaanálisis (PRISMA). Las limitaciones metodológicas en los estudios individuales se evaluaron utilizando la herramienta de calificación de riesgo de sesgo para estudios en humanos y animales de la OHAT. En esta revisión se incluyeron artículos de revistas revisados por pares escritos en inglés o alemán si describían estudios experimentales (simple ciego o doble ciego) o epidemiológicos (de cohorte, de casos- controles y transversales). El año de publicación se inició en 1990, ya que se supuso que no había una exposición significativa a los dispositivos de comunicación móviles antes de esa fecha. Se excluyeron revisiones, comentarios, estudios no revisados por pares, estudios dosimétricos y estudios sobre interferencias electromagnéticas. Se investigaron, analizaron y evaluaron sistemáticamente 42 estudios epidemiológicos y 11 experimentales en niños y adolescentes. Se incluyeron los efectos relacionados con la salud de los CEM-RF de múltiples dispositivos (teléfonos móviles, teléfonos inalámbricos, WLAN, Bluetooth, etc.). De un total de 53 estudios incluidos, 35 tenían varias debilidades metodológicas que limitaron la validez interna de los resultados. *En general, se consideró que la evidencia sobre los efectos de los CEM-RF de los dispositivos de comunicación móviles sobre los síntomas subjetivos, la cognición y el comportamiento en niños y adolescentes era baja o inadecuada.* Además, los que investigaban el desarrollo de la primera infancia, la actividad cerebral, el cáncer y los parámetros fisiológicos se consideraron inadecuados para sacar conclusiones sobre posibles efectos. Según los estudios incluidos en esta revisión, aún **no está claro si los niños y adolescentes son particularmente sensibles a la exposición de las comunicaciones de los TM.** En resumen, no pudieron identificar una evidencia alta de ningún importante efecto perjudicial para la salud de los CEM-RF en niños y adolescentes. **Sin embargo, no llegaron a la conclusión de que dicha exposición fuera segura para este grupo de edad en particular,** ya que la base de evidencia para esta conclusión es demasiado débil. **Por lo tanto, recomiendan encarecidamente una investigación sistemática de alta calidad en niños y adolescentes ya que generalmente se los considera grupos de edad sensibles.** Por ejemplo, deberían realizarse estudios de cohortes con evaluaciones de exposición mejoradas y estudios experimentales que investiguen el sistema nervioso, incluidas poblaciones de estudio más grandes y diferentes grupos de edad. Además, los niños y los adolescentes deberían considerarse por separado en futuros estudios de tendencias. Las conclusiones de esta revisión están en gran medida en línea con la evaluación del Comité Científico sobre Riesgos para la Salud Emergentes y Recientemente Identificados (CCR-SERI) y las conclusiones de otros autores de estudios anteriores.

El trabajo de Alba Cabre-Riera et al., 2022 tiene como objetivo Investigar la asociación de los CEM-RF estimados durante todo el día y la noche en todo el cerebro. Dosis de campo con alteraciones del sueño y medidas objetivas del sueño en preadolescentes. Se incluyen preadolescentes de 9 a 12 años de dos cohortes de nacimiento basadas en la población holandesa Estudio Generación R (n = 974) y Proyecto español Infancia y Medio Ambiente (n = 868). Todo el día y la noche se estimaron las dosis generales de CEM-RF en todo el cerebro (mJ/kg/día) para varias fuentes de RF, incluidos TM, llamadas telefónicas de telecomunicaciones inalámbricas digitales mejoradas. Se incluyeron otros usos de teléfonos móviles, de tabletas, de ordenadores portátiles y fuentes de campo lejano. También estimaron todo el día y la noche las dosis de CME-RF en todo el cerebro en estos tres grupos por separado (llamadas telefónicas, actividades de pantalla y campo lejano). Las madres completaron la Escala de alteraciones del sueño para niños. Acelerómetros de muñeca junto con diarios de sueño se utilizaron para medir las características del sueño de manera objetiva durante 7 días consecutivos. Resultados: **las dosis de CEM-RF en todo el cerebro durante todo el día no se asociaron con alteraciones del sueño autoinformadas ni medidas objetivas del sueño.** Con respecto a las dosis nocturnas, los preadolescentes con dosis altas de CEM-RF en todo el cerebro durante la noche de llamadas telefónicas, tuvieron un tiempo total de sueño más corto en comparación con los preadolescentes con cero CEM-RF nocturno de cerebro completo [-11,9 min (IC del 95%: -21,2; ½ 2,5)]. Conclusiones: estos **hallazgos sugieren que la noche es una ventana potencialmente relevante de exposición a CEM-RF para dormir.** Sin embargo, no

pueden excluir que las asociaciones observadas se deban a las actividades o a los motivos que incluyen el uso del teléfono y las llamadas en lugar de la exposición a CEM-RF en sí o debido a un hallazgo casual.

Los efectos de los CEM de los TM sobre los dolores de cabeza han atraído a los investigadores durante las últimas décadas. Hasta ahora se han informado resultados contradictorios. En esta revisión sistemática y metaanálisis, (Farashi S et al., 2022) se realizaron búsquedas en las principales bases de datos, incluidas PubMed, Scopus y Web of Science, utilizando términos de búsqueda adecuados y directrices PRISMA para recuperar estudios elegibles sobre el efecto del uso de TM y cefalea. Después de la selección de resúmenes y textos completos, se recuperaron 33 estudios y se extrajo el tamaño del efecto en términos de “odds ratio” (OR). Entre 33 estudios elegibles, se incluyeron 30 estudios en el metaanálisis. Al considerar todos, se obtuvo un tamaño del efecto combinado de OR = 1,30 (IC 95%: 1,21-1,39), mientras que la heterogeneidad entre los estudios fue significativa. Se realizaron análisis de subgrupos considerando la edad de los participantes y la duración de la exposición a los CEM para encontrar la fuente de heterogeneidad. Los OR cuando la edad de los participantes fue la variable, fueron 1,33 (IC 95% 1,14-1,53) y 1,29 (IC 95% 1,20-1,37), para edades > 18 y edad ≤ 18 años, respectivamente. Cuando se consideró la duración de la exposición a los CEM, el análisis de subgrupos obtuvo el tamaño del efecto combinado de OR = 1,41 (IC del 95 %: 1,22–1,61) y 1,23 (IC del 95 %: 1,12–1,34), para una duración de la exposición a los CEM > 100 y ≤ 100 minutos por semana respectivamente. Los tamaños del efecto combinados enfatizaron el efecto del uso de TM sobre los dolores de cabeza en todas las edades y duraciones de exposición. **Conclusión: Los resultados revelaron que la edad y la duración de la exposición (principalmente la duración de las llamadas) fueron la fuente de heterogeneidad entre los estudios. También mostraron que el aumento de la duración de las llamadas y el uso del teléfono móvil en personas mayores aumentaba el riesgo de dolor de cabeza.** Considerando que la cefalea puede ser originada por múltiples causas y la cefalea tensional es muy frecuente asociar las llamadas y su duración en personas mayores no descarta otras causas como que la propia información de las llamadas origine situaciones de estrés.

Con la creciente demanda para velocidades de datos más altas, mejor calidad de servicio y menor latencia para los usuarios, futuras fuentes de telecomunicaciones inalámbricas están previstas para funcionar en frecuencias superiores a 6 GHz y en el rango de “ondas milimétricas” (30-300 GHz). Frecuencias por encima de 6 GHz se han utilizado durante muchos años en varias aplicaciones como radar, enlaces de microondas, seguridad aeroportuaria, detección y en medicina para aplicaciones terapéuticas. El mayor uso de CEM-RF por encima de 6 GHz, en particular para la red de telefonía móvil 5 G, ha generado preocupación pública sobre posibles efectos adversos para la salud humana. La exposición del público a campos de RF de 5G y otras fuentes está por debajo de los límites de exposición humana especificados por la Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP). Esta revisión del estado de la ciencia (Karipidis K et al., 2021) examinó la investigación sobre los efectos biológicos y de salud de los campos de RF por encima de 6 GHz en niveles de exposición por debajo de los límites ocupacionales de la ICNIRP. La revisión *incluyó 107 estudios experimentales* que investigaron diversos bioefectos, incluida la genotoxicidad, la proliferación celular, la expresión genética, la señalización celular, la función de la membrana y otros efectos. Los bioefectos informados generalmente no se replicaron de forma independiente y la mayoría de los estudios emplearon métodos de evaluación y control de la exposición de baja calidad. Los efectos debidos al calentamiento debido a la deposición de alta energía de RF no fueron excluidos de muchos de los resultados. La revisión también *incluyó 31 estudios epidemiológicos* que investigaron la exposición al radar, que utiliza campos de RF por encima de 6 GHz similares a 5G. **Los estudios epidemiológicos mostraron poca evidencia de efectos en la salud, incluido el cáncer en diferentes sitios, efectos en la reproducción y otras enfermedades.** Esta revisión no mostró evidencia confirmada de que los campos de RF por encima de 6 GHz, como los utilizados por la red 5G, sean peligrosos para la salud humana. Los futuros estudios experimentales deberían mejorar el diseño con especial atención a la dosimetría y el control de la temperatura. Los futuros estudios epidemiológicos deberían continuar monitorizando los efectos a largo plazo en la salud de la población relacionados con las telecomunicaciones inalámbricas.

Dongus S et al., (2022) estudian el impacto del Wi-Fi en la salud, aunque contribuye poco al total de la exposición de CEM-RF en nuestro entorno cotidiano. El objetivo de esta revisión es evaluar todo tipo de estudios que incluyen efectos biológicos y sobre la salud por exposición del Wi-Fi cumpliendo criterios básicos de calidad. Los elegibles para su inclusión fueron los estudios epidemiológicos, experimentales en humanos y estudios in vivo e in vitro que utilizan configuraciones de exposición Wi-Fi realistas. Es una revisión sistemática de la literatura. Buscar todos los artículos publicados entre enero de 1997 y agosto de 2020, seguido de una revisión de calidad que abordó el cegamiento y la dosimetría en estudios experimentales y diversos tipos de sesgos en los estudios epidemiológicos. Todos los estudios que cumplían los criterios de calidad se resumieron descriptivamente en términos de observación o ausencia de asociaciones. De 1385 artículos identificados mediante la búsqueda bibliográfica, 23 cumplieron criterios básicos de calidad: 6 artículos epidemiológicos, 6 artículos experimentales en humanos, 9 artículos in vivo y 2 artículos in vitro. Mientras en los estudios vivo e in vitro aplicaron niveles de exposición de hasta 4 W/kg, los estudios en humanos abordaron la exposición con niveles de varias órdenes de magnitud por debajo de las pautas ICNIRP, que son típicas para la exposición a Wi-Fi en situaciones del entorno cotidiano. Se encontró que los síntomas en su mayoría no estaban asociados con la exposición a Wi-Fi. Los hallazgos esporádicos no fueron consistentes en términos de resultados o asociaciones exposición-respuesta. **Esta revisión basada en un análisis sistemático de la literatura y la evaluación de la calidad de los trabajos no sugieren efectos perjudiciales para la salud debido al Wi-Fi. con exposición por debajo de los límites regulatorios.**

Sofri T et al., 2022 valoran en este estudio el posible efecto en la salud de la tecnología 5G. Como resultado 33 estudios (10 para el rendimiento cognitivo, 13 para bienestar y fisiológico y 10 para EEG) fueron seleccionado para su inclusión en esta revisión. El número de EBTM 5G ha provocado una preocupación pública generalizada sobre su posible efecto negativo para la salud. Las conclusiones de la exposición por las antenas de EBTM y a los TM 5G, de 700 MHz a 30 GHz, encuentran que si bien la mayoría de sus resultados no indicaron cambios en la función cognitiva, ni en los cambios fisiológicos, se observa que la fuerza de la onda alfa del EEG varía dependiendo de diversos aspectos de las funciones cognitivas. *Sin embargo, los estudios disponibles no han investigado los efectos de estos cambios sobre la salud.* Es necesario realizar este tipo de investigaciones sobre esta tecnología emergente actual. Tales estudios son importantes para determinar si la tecnología 5G es realmente segura para los humanos.

Las bandas asignadas a la tecnología 5G incluyen la banda de 28 GHz, que actualmente se utiliza en EE. UU. y la banda de 26 GHz que fue adoptada recientemente por la Comisión de la Unión Europea. El reciente desarrollo de tecnologías de ondas milimétricas (mmW), genera preocupaciones relacionadas con la exposición de los usuarios. Se han realizado varios estudios dosimétricos por encima de 6 GHz, cuyo objetivo principal es establecer la correlación entre diferentes parámetros dosimétricos y la elevación de la temperatura de la superficie de la piel. El estudio de Morelli S et al., (2021) presenta un análisis numérico de la exposición del cuerpo humano a un 5G genérico, con terminal móvil que funciona a ondas milimétricas, considerando diferentes usuarios y diferentes exposiciones. En este estudio utilizan el dominio del tiempo de diferencias finitas (FDTD) como método para la estimación de la absorción de energía de RF de un parche de microstrip y un conjunto de antenas (28 GHz) en diferentes modelos humanos. En concreto, analizan diferentes exposiciones en condiciones que simulan tres escenarios reales comunes (un escenario de llamada telefónica, un escenario de escritura de mensajes y un escenario de navegación) por parte de cuatro personas diferentes (adultos hombre y mujer, niño hombre y niña mujer). A partir de los resultados de la densidad de potencia absorbida (SAB en inglés), es posible concluir que todos los escenarios de exposición considerados cumplen con los límites de seguridad, tanto para modelos adultos y niños. Los altos valores de la Tasa de Absorción Específica (SAR) local en los tejidos superficiales y las ligeras diferencias en su distribución entre adultos y niños tienen relevancia mínima en frecuencias mmW, ya que la absorción se localiza exclusivamente en la piel para todos los usuarios. Sugieren sin embargo la necesidad de un análisis más profundo y detallado al respecto.

Varios autores consideran que debe realizarse **una moratoria** para la implementación de la tecnología 5G. Hardell L and Nyberg R., (2020) consideran que esta tecnología se va a implementar en todo el mundo a pesar de que no se han realizado investigaciones exhaustivas sobre los riesgos potenciales para la salud humana y el medio ambiente. Mantienen que los funcionarios de la UE se basan en las opiniones de personas dentro de la ICNIRP y el Comité Científico sobre Riesgos para la Salud Emergentes y Recientemente Identificados (CCRSERI). Similares opiniones sobre los intereses y la crítica a los miembros de estos organismos es referido en otro artículo de Hardell L, y Carlberg M., (2020), que opinan sobre los conflictos de intereses y los vínculos con la industria y su contribución a los informes.

DeVocht F y Albers P., (2022) analizan narrativas contrapuestas en torno a 5G. Idealmente, la literatura de síntesis de evidencia revisada por pares debería estar libre de influencias no científicas, pero en la práctica esto no es siempre así. Establecieron para el estudio un límite de tiempo “a priori” asumiendo que los primeros 3 años (2018-2021) desde la primera publicación son los que describen el inicio y dirección del debate. Las bases de datos incluyeron PubMed, Ovid Medline y Web of Science. Se buscaron reseñas, comentarios y artículos de opinión relacionados con 5G y la salud. Sólo se incluyeron publicaciones en idioma inglés. Los artículos incluidos se clasificaron según el mes y el año de publicación “online” (a menudo antes de la impresión). Los artículos fueron asignados como “industria” o “activismo” dependiendo de si informaban de vínculos entre los autores y organizaciones de la industria o con campañas relacionadas con 5G en particular o con la TM, o como “independientes” en otros casos. En caso de que no se informaran dichos enlaces se realizó una búsqueda en Internet para identificarlos si los hubiera.

Las publicaciones de autores vinculados a organizaciones de campañas anti-5G dominaron la fase inicial en la que se discutieron los efectos adversos relacionados con 5G. Con la creciente contribución de autores independientes y/o vinculados a la industria, la información cambia de exclusiva sobre los mayores riesgos por los efectos biológicos y sobre la salud, a descripciones predominantemente de resultados mixtos y con conclusiones que no respaldan mayores riesgos. Las revisiones de autores independientes y vinculados a la industria fueron revisiones de estilo sistemático, en lugar de revisiones narrativas. Fueron de mayor calidad metodológica porque basaron sus inferencias en un enfoque más sistemático para identificar la literatura relevante y también incluyeron explícitamente formas de evaluación para la calidad de los estudios. La inclusión no sistemática de referencias (o “selección selectiva”) y la falta de evaluación explícita de la calidad observadas en las publicaciones del presente trabajo fueron más prominentes en las revisiones narrativas realizadas por autores con vínculos con organizaciones de campaña y probablemente hayan resultado en inferencias sesgadas. Es importante destacar que, dado que estas publicaciones constituyeron la mayoría de las primeras durante la ventana crítica, estas referencias han influido desproporcionadamente en la narrativa.

La OMS basándose en más de 70 años de investigación en este campo, *ha llegado a la conclusión de que el conocimiento científico en esta área (CEM-RF) y salud es ahora más extenso que para la mayoría de las sustancias químicas*. La evidencia actual no confirma la existencia de consecuencias para la salud por exposición a CEM de nivel bajo. En este caso, “nivel bajo” significa niveles por debajo de los límites de exposición internacionales actuales recomendados.

Sin embargo, la controversia continúa. Dos grupos internacionales, el Comité Internacional de Seguridad Electromagnética del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) y la ICNIRP llevan décadas abordando este tema. Si bien el objetivo de ambos grupos es proporcionar límites de exposición humana que protejan contra riesgos establecidos o fundamentados y efectos adversos para la salud, hay grupos que abogan por límites de exposición más estrictos basados en posibles efectos biológicos.

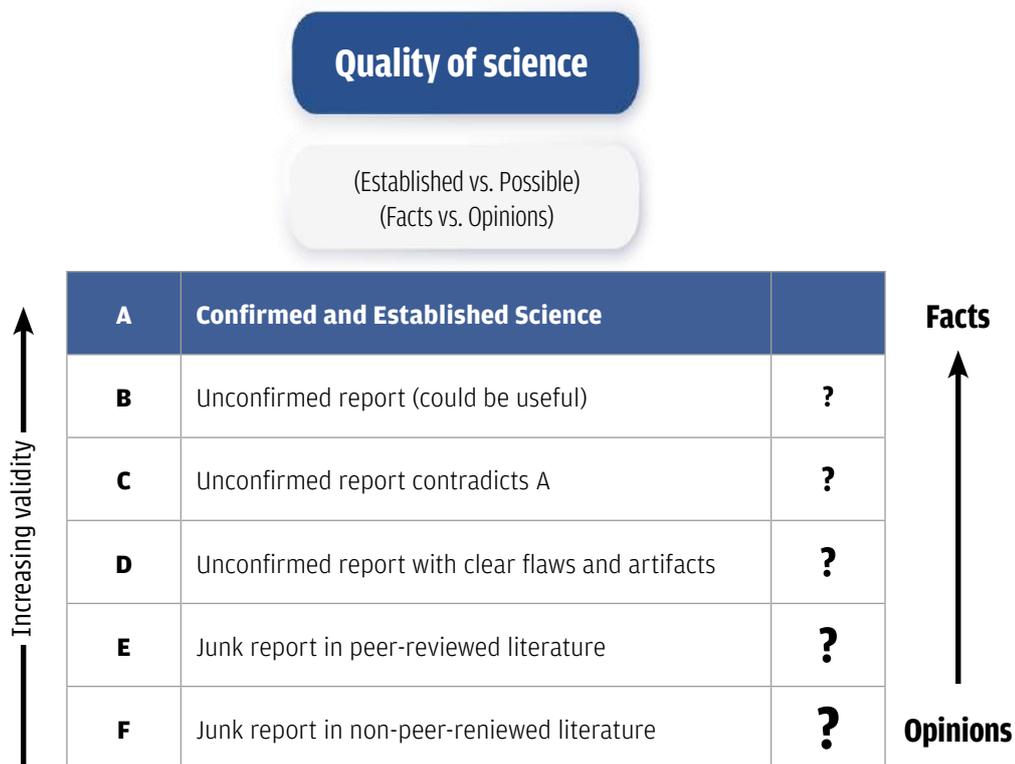
La OMS y la IARC clasifican 4 tipos principales de estudios de investigación: epidemiológicos, humanos, in vivo (animales de laboratorio) e in vitro (células o tejidos aislados). Los efectos sobre la salud también están en la misma secuencia. Cada uno de los cuatro estudios tiene sus propias ventajas y desventajas:

Los estudios epidemiológicos investigan la distribución de enfermedades en poblaciones humanas y factores que afectan la enfermedad pero que pueden estar sujetos a sesgos y factores de confusión.

Los estudios en humanos miden la respuesta de las personas a un agente, como la RF, pero a menudo tienen exposición a corto plazo y selección de sujetos (generalmente en voluntarios sanos).

Los estudios con animales implican las respuestas de un gran número de mamíferos y pueden proporcionar respuestas más rápidas en comparación con los estudios epidemiológicos y en humanos. Sin embargo, diferencias en metabolismo, fisiología, esperanza de vida, etc. entre animales de laboratorio y también se deben considerar en los humanos.

■ **Figura 5.11. La calidad de la ciencia.**



Adapted from Osepchuk (2004)

“Good science is never outdated”

Herman P. Schwan

Fact: it can be proven, and must be always true

Los estudios in vitro tienen el menor peso para la evaluación de salud pública, pero tienen ventajas de pruebas rápidas y económicas y del estudio de posibles mecanismos de interacción. Sin embargo, los resultados que utilizan sistemas in vitro pueden no ser aplicables a humanos.

Si los científicos discutieran las cuestiones de seguridad de los CEM basadas en hechos científicos validados y no en posibles efectos no reproducibles y opiniones, la controversia se minimizaría o resolvería. La cuestión fundamental es la “calidad de la ciencia” la calidad de publicación varía de A a F. La validez de las publicaciones se puede clasificar en 6 categorías. (Fig 5.11) Las publicaciones de categoría A están establecidas y tienen la máxima validez; Los resultados tienen acuerdo universal y pueden etiquetarse como hechos que se pueden probar y siempre son ciertos, revisados por pares como los resultados publicados que demuestran que los altos niveles de energía de RF provocan un calentamiento que puede causar efectos adversos para la salud. La categoría B son informes no confirmados o por confirmar. La C son resultados no confirmados que contradicen los resultados de A. Hay muchos informes D no confirmados con claros defectos y artefactos que son muy comunes en este campo. Las categorías E y F son informes inaceptables, ya sea en versión revisada por pares o no. Las categorías B a F son artículos con pequeños a grandes signos de interrogación sobre posibles efectos, como se muestra en la columna de la derecha, y pueden clasificarse mejor como “opiniones” hasta que se pueda demostrar que son ciertas por parte de expertos independientes. Como se muestra en la parte superior de la Figura 5.11, la controversia actual sobre los efectos biológicos de los CEM es, por tanto, un conflicto entre los efectos establecidos y los posibles, y entre hechos y opiniones. (Chou C-K., 2022).

5.3.1. Conclusiones

- Por todo lo anterior, podemos concluir que:
- No se han producido cambios relevantes desde publicación del informe previo de CCARS.
- La influencia de los CEM sobre la fertilidad masculina, los niveles de testosterona y otras alteraciones relacionadas no están analizados suficientemente como para determinar causa-efecto.
- Los estudios sobre la asociación de CEM en mujeres embarazadas y las alteraciones en el desarrollo posterior de los niños no son concluyentes.
- Otros síntomas como insomnio y cefalea son muy subjetivos y pueden cruzarse con múltiples factores, entre ellos es relevante la propia preocupación.
- En la revisión sistemática de Bodewein L. et al., se consideró que la evidencia sobre los efectos de los CEM-RF de los dispositivos de comunicación sobre los síntomas subjetivos, la cognición y el comportamiento en niños y adolescentes era baja o inadecuada. Sin embargo **“recomiendan encarecidamente una investigación sistemática de alta calidad en niños y adolescentes, ya que generalmente se los considera grupos de edad sensibles”**
- Es fundamental que los estudios y los análisis sistemáticos NO estén influenciados por sesgos ideológicos, políticos o de la industria. Sólo con imparcialidad y rigor se pueden obtener resultados fiables.

5.4. Hipersensibilidad electromagnética

La hipersensibilidad electromagnética (HE) se caracteriza de diversos síntomas que las personas atribuyen a su exposición de CEM. Para la OMS, esta hipersensibilidad presenta analogías con otros síndromes inexplicados como la intolerancia a los olores o hipersensibilidad química múltiple, problemas asociados a los factores medio ambientales, que siguen siendo “inexplicables médicamente y cuyos efectos perjudiciales para la salud de las personas” son difíciles de evaluar.

La OMS considera tres criterios para caracterizar la HE:

1. La percepción por parte de los sujetos de varios síntomas funcionales no específicos (por ejemplo, trastornos del sueño, dolores de cabeza, síntomas cutáneos).
2. La ausencia de evidencia clínica y biológica que nos permiten explicar estos síntomas.
3. La atribución, por los propios sujetos, de estos síntomas a una exposición a CEM.

La HE no está reconocida como una enfermedad en ningún lugar del mundo. Algunos estudios han estimado aproximadamente que entre el 1% y el 10% de la población podría experimentar algún tipo de HE. Sin embargo, debido a la falta de criterios diagnósticos las estimaciones pueden ser subestimaciones o sobreestimaciones. Porque la gran mayoría de la población está expuesta a CEM, la posibilidad de desarrollar HE a partir de los mismos sería un importante problema de salud pública que debería abordarse globalmente, incluso si el riesgo individual de desarrollar HE fuera pequeño.

Los pacientes refieren predominantemente trastornos del sueño, astenia, dolores de cabeza, dificultades de memoria y concentración, mareos, dolores musculo- esqueléticos, afecciones de la piel y trastornos del estado de ánimo y de los cuales responsabilizan a los CEM emitidos por diversos dispositivos.

Se han propuesto hipótesis para explicar el origen de los síntomas de personas autodeclaradas con HE que Dieudonné M., (2020) revisa en su estudio. Con los datos epidemiológicos disponibles hay una prevalencia relativamente alta de sensibilidad percibida a los CEM en la población general, alcanzando el 1,6% en Finlandia y 2,7% en Suecia, 3,5% en Austria, 4,6% en Taiwán, 5% en Suiza y el 10,3% en Alemania. A pesar de su repercusión en la vida de los afectados y su potencial para convertirse en un importante problema de salud pública, la HE es difícil de objetivar. Sigue siendo una condición autodiagnosticada, sin una definición objetiva, y los orígenes de los síntomas experimentados por quienes los padecen todavía son cuestionados y poco claros. Esa situación llevó a los expertos de la OMS, hace más de 10 años, a recomendar el abandono del término HE a favor de una entidad etiológicamente neutral: **Intolerancia ambiental idiopática atribuida a CEM**. Diferentes hipótesis han sido propuestas en la literatura, las cuales son discutidas en este artículo. Como la HE es un problema multidimensional y sus hipótesis explicativas tienen implicaciones de gran alcance, se adoptó una visión amplia, que no se restringe a la literatura sobre HE, sino que abarca todos los cuerpos de investigación relevantes sobre temas relacionados. **Esto sólo podría lograrse mediante un enfoque narrativo**. Se utilizaron dos estrategias para identificar referencias pertinentes. En cuanto a HE, se extrajo una bibliografía completa de un informe de 2018 del periódico francés Agencia de Seguridad y Salud Alimentaria, Ambiental y Ocupacional actualizado con los estudios más recientes. En cuanto a temas relacionados, se buscaron en las bases de datos apropiadas. Realizaron revisiones sistemáticas e informes de expertos. En la literatura aparecen tres hipótesis explicativas principales: (1) la hipótesis electromagnética, atribuir la HE a la exposición a los CEM; (2) la hipótesis cognitiva, asumiendo que resulta de creencias falsas en la nocividad de los CEM, promoviendo respuestas nocebo a la exposición percibida a los CEM; (3) la hipótesis atributiva, concibiendo la HE como estrategia de afrontamiento de condiciones preexistentes. Estas hipótesis se evalúan sucesivamente, considerando tanto sus fortalezas y sus limitaciones, comparando su valor teórico, experimental y ecológico. **Conclusión: Ninguna hipótesis resulta totalmente satisfactoria. Se sugieren vías de investigación para ayudar a decidir entre ellos y alcanzar una mejor comprensión de HE.**

Leszczynski D., (2022) realiza una revisión sobre HE examinando la sensibilidad a CEM, pero la metodología científica utilizada para determinarlo es insuficiente y de baja calidad. Sus conclusiones incluyen es abandonar la provocación impulsada por la psicología y los estudios que preguntan sobre sentimientos no específicos basados en síntomas experimentados por voluntarios bajo exposición a CEM. Este enfoque de investigación sólo produce resultados subjetivos y por lo tanto, datos

muy poco confiables, para probar o refutar el vínculo de causalidad entre HE y CEM. E necesario tomar una nueva dirección en el estudio de la sensibilidad a CEM. La base para esto es la noción de un conocido fenómeno de una sensibilidad individual, donde los individuos y las respuestas a los CEM dependen de factores genéticos y epigenéticos propios del individuo. Se proponen nuevos estudios que combinan un enfoque de provocación, donde los voluntarios están expuestos a CEM, y se utilicen tecnologías de alto rendimiento de transcriptómica y proteómica (las tecnologías ómicas son técnicas de alto rendimiento que permiten estudiar una gran cantidad de componentes en los resultados analíticos de una muestra) para generar datos objetivos, detectando alteraciones bioquímicas a nivel molecular y respuestas del cuerpo humano a los CEM.

Leszczynski D., en otro artículo de 2022 concluye que la OMS reconoce que los síntomas que experimenta las personas con HE pueden ser graves y obstaculizar significativamente la vida cotidiana. Sin embargo, después de un amplio análisis de la situación internacional y documentos nacionales, parece que actualmente no hay ningún esfuerzo por desarrollar políticas de salud para el tratamiento de HE, no importa cuál sea la causa. Los gobiernos nacionales siguen las opiniones de la OMS y las normas de seguridad de los CEM, la ICNIRP y el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos – Internacional Comité de Seguridad Electromagnética (IEEE-ICES), pero no son estos quienes desarrollan recomendaciones prácticas sobre políticas de salud para personas autodeclaradas para enfermos de HE. Por lo tanto, independientemente de la causa de los síntomas, este deterioro del bienestar admitido debe abordarse mediante el desarrollo de una política sanitaria uniforme. Además, la OMS, la ICNIRP y el IEEE-ICES debieran promover y apoyar la investigación que generaría una base confiable de evidencia científica sobre cuáles son las posibles causas de HE. Sin esta investigación no es posible desarrollar métodos de diagnóstico. Existe una necesidad de que la OMS defienda que los gobiernos nacionales desarrollen urgentemente política sanitaria integral y común en materia de HE.

Durante los últimos 5 años, Tatoń G et al., (2022) han estado realizando investigaciones sobre los efectos de los CEM en el cuerpo humano. Uno de los aspectos de tales estudios es la HE. Este fenómeno está relacionado con un espectro muy amplio de síntomas asignado a los CEM por las personas afectadas. El análisis de este grupo de trabajo constó de dos etapas, ambas planificadas como estudios de encuesta centrados en la evaluación de HE y prevalencia en Polonia, además de las características de los individuos y sus síntomas. Las posibles fuentes de CEM responsables de la aparición de HE fueron también investigadas. La HE apareció en la conciencia de la sociedad polaca a finales de 2019 porque se realizó un cambio considerable en las leyes de telecomunicaciones polacas. Los objetivos del proyecto consistían en acceder a la prevalencia de HE en Polonia y definir una metodología confiable para estudiar este fenómeno. El primer paso fue la encuesta de Internet realizada a finales de 2018. La prevalencia de HE estimada en un nivel del 39,7% (muy elevada) sugería un sesgo considerable que afectaba los resultados. Se analizaron los errores del primer enfoque y se realizó una segunda etapa de estudio como una encuesta telefónica a finales de 2020. Esta última encuesta permitió estimar la prevalencia **en menos del 1,8%**. Estas discrepancias en los resultados de ambas encuestas estaban relacionadas con el medio utilizado en la primera encuesta (Internet) provocando indirectamente que el grupo agrupado no fuera representativo. El segundo escollo fue la definición de los criterios utilizados para la clasificación de las personas con HE. Esta es la razón por la que se investigó en la segunda etapa con el uso de numerosos criterios. Correcciones de la metodología antes de la segunda encuesta permitió resultados confiables y consistentes con los obtenidos en otros países. Estos hallazgos también muestran que los informes de frecuencia HE presentados en la literatura deben ser tratados con cuidado y con cierta dosis de escepticismo.

5.4.1. Conclusiones

Podemos recopilar las siguientes conclusiones:

- Al igual que en el informe previo de CCARS la hipersensibilidad electromagnética no forma parte de ningún síndrome reconocido ni está incluida en la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE) de la OMS.
- No hay datos ni para refutar ni para afirmar que exista una implicación de los CEM en el desarrollo de la HE.

5.5. Agencias y comités internacionales

5.5.1. Committee on Man and Radiation (COMAR)

La tecnología 5G puede transmitir muchos más datos a velocidades superiores para una gama enormemente ampliada de aplicaciones en comparación con los sistemas 2-4G anteriores; esto es debido, en parte, al uso del mayor ancho de banda disponible en frecuencias más altas que las utilizadas por la mayoría de las redes existentes. La rápida expansión de 5G producirá una presencia **más ubicua de mmW en el medio ambiente**, aunque las investigaciones actuales indican que es poco probable que los niveles generales de exposición a RF sean significativamente alterados por la 5G. **Los niveles de exposición en espacios de acceso público aumentarán, pero deben permanecer muy por debajo de los límites de exposición establecidos por las normas internacionales que establecen directrices y estándares la ICNIRP y IEEE.** Finalmente, mientras las exposiciones se mantengan por debajo de lo establecido, los resultados de la investigación hasta la fecha no respaldan que los efectos adversos para la salud están asociados con la exposición a RF, incluidos los de los sistemas 5G. **Si bien se reconoce que la literatura científica sobre la investigación de los efectos biológicos del mmW es más limitada.**

5.5.2. NCI (National Cancer Institute) de EE. UU.

En su página web concluye que la edad avanzada es el factor de riesgo más importante para el cáncer de forma global y para muchos tipos de tumores individualmente. Concluye que los CEM-RF no se han demostrado como carcinógenos en los múltiples estudios realizados ni en los registros de tumores (<https://www.cancer.gov/about-cancer/causes>)

5.5.3. FDA 2020 (Food Drug Administration) de EE. UU.

Como parte de su misión principal es proteger y promover la salud pública, la FDA continuamente monitoriza la nueva evidencia científica que podría afectar nuestra comprensión del perfil de seguridad de dispositivos médicos y productos electrónicos que emiten radiación a los que los estadounidenses están expuestos cada día. La Agencia ha adoptado un enfoque integral para evaluar los conocimientos científicos disponibles. La FDA ha completado un análisis de riesgo de exposición a RF actualizado basado en estudios relevantes in vivo (animales) y epidemiológicos revisados por pares, publicados desde el 1 de enero de 2008 al 1 de agosto de 2018 para estudios in vivo, y del 1 de enero de 2008 al 8 de mayo de 2018 para estudios epidemiológicos. Este análisis de riesgos tuvo como objetivo evaluar cualquier posible relación causal entre la exposición a RF y la formación de tumores.

El informe resume la información en la que la FDA ha basado su conclusión y fue revisado por científicos especializados en áreas como epidemiología, física de la salud y salud pública e incorpora comentarios de estos revisores científicos externos. Posteriormente, el se actualizaron los datos con publicaciones más recientes y relevantes revisadas por pares hasta agosto de 2019.

Según la evaluación en curso de la FDA, los datos epidemiológicos y de incidencia de cáncer disponibles continúan respaldando la determinación de la Agencia de que **no hay efectos adversos cuantificables** sobre la salud en humanos **causados por exposiciones iguales o inferiores a los límites actuales de tolerancia en la exposición a TM**. En la última década, se han realizado aproximadamente 70 estudios epidemiológicos relevantes que han sido publicados como evidencia científica revisada por pares. Si bien algunos estudios sugieren un posible vínculo entre, por ejemplo, los usuarios “intensos” de TM y algunos tumores, no existe una relación clara ni un patrón consistente que haya surgido de estos estudios, que además estaban sujetos a fallos e imprecisiones. También se está expuesto no sólo por los teléfonos, sino por múltiples fuentes de CEM. Por lo tanto, la exposición real a la RF sigue siendo, en el mejor de los casos, una estimación. Además, generalmente existen varios sesgos (p. ej., recordar con precisión) y problemas de clasificación errónea cuando se pide a los individuos que recuerden patrones de comportamiento. Hay una falta en evidenciar una relación dosis-respuesta, una falta de hallazgos consistentes o específicos y una ausencia de plausibilidad del mecanismo biológico.

5.5.4. OMS (Organización mundial de la Salud).

Actualmente, la exposición de las infraestructuras 5G de alrededor de 3,5 GHz es similar a la de las estaciones base de telefonía móvil existentes. Con el uso de múltiples haces de antenas 5G, la exposición podría ser más variable en función de la ubicación de los usuarios y su uso. Dado que la tecnología 5G se encuentra actualmente en una etapa temprana de implementación, aún se está investigando el alcance de cualquier cambio en la exposición a los CEM. **Hasta la fecha, y después de muchas investigaciones realizadas, no se ha relacionado causalmente ningún efecto adverso para la salud con la exposición a tecnologías inalámbricas. Las conclusiones relacionadas con la salud se extraen de estudios realizados en todo el espectro radioeléctrico, pero hasta el momento, solo se han realizado unos pocos estudios en las frecuencias que utilizará la 5G.**

El calentamiento de tejidos es el principal mecanismo de interacción entre los campos de RF y el cuerpo humano. Los niveles de exposición de las tecnologías actuales dan como resultado un aumento insignificante de la temperatura. A medida que aumenta la frecuencia, hay menos penetración en los tejidos del cuerpo y la absorción de energía se limita más a la superficie del cuerpo (piel y ojos). Siempre que la exposición general se mantenga por debajo de las directrices internacionales, no se prevén consecuencias para la salud pública.

La OMS revisará la evidencia científica relacionada con los posibles riesgos para la salud derivados de la exposición a 5G a medida que se implemente la nueva tecnología y que se disponga de más datos. La OMS estableció el Proyecto Internacional de Campos Electromagnéticos (CEM) en 1996. El proyecto investiga el impacto en la salud de la exposición a campos eléctricos y magnéticos en el rango de frecuencia 0-300 GHz y asesora a las autoridades nacionales sobre la protección contra la radiación CEM.

La OMS aboga por que se realicen más investigaciones sobre los posibles impactos a largo plazo en la salud de todos los aspectos de las telecomunicaciones móviles. La Organización identifica y promueve prioridades de investigación relacionadas con el tema. También desarrolla materiales de información pública y promueve el diálogo entre científicos, gobiernos y el público para aumentar la comprensión sobre la salud y las comunicaciones móviles.

5.5.5. ANSES (French Agency for Food, Environmental and Occupational Health Safety)

La ANSES respalda las conclusiones y recomendaciones del Grupo de Trabajo “5G” y “Agentes físicos y nuevas tecnologías”. En cuanto a las tres bandas de frecuencia que se utilizarán para el despliegue previsto de tecnologías 5G, la Agencia señala en particular los siguientes puntos.

Para el despliegue de la tecnología 5G en las bandas de frecuencia ya utilizadas por las tecnologías 3G y 4G, es decir, entre 700 MHz y 2,1 GHz, el trabajo realizado hasta la fecha en particular por la Agencia Nacional de Frecuencias de Francia (ANFR), *sugiere que los niveles de exposición a los campos electromagnéticos emitidos por las tecnologías 5G probablemente serán comparables a los de las tecnologías existentes*. Para estos niveles de exposición, como los derivados del uso de tecnologías móviles, los resultados de los peritajes realizados por la ANSES no han revelado, hasta la fecha, efectos comprobados sobre la salud. Continúan los trabajos de investigación y evaluación de determinados efectos potenciales (cáncer, disfunción cerebral, infertilidad, hipersensibilidad electromagnética, etc.).

Para la banda de frecuencia alrededor de 3,5 GHz, los niveles de exposición documentados provienen del trabajo realizado por el ANFR (simulaciones, mediciones in situ a medida que se implementa la tecnología) y algunos datos del despliegue en otros países. Esta evidencia muestra aumentos limitados en los niveles generales de exposición a CEM, que en cualquier caso siguen actualmente muy por debajo de los límites reglamentarios. Además, la banda de frecuencia en torno a 3,5 GHz es cercana a las utilizadas por las tecnologías móviles 2G, 3G y 4G, cuyos posibles efectos han sido ampliamente documentados. Por tanto, *es poco probable que la exposición inducida por el despliegue de 5G en la banda de frecuencia en torno a 3,5 GHz constituya un nuevo riesgo para la salud*.

Los hallazgos anteriores indican que, según el conocimiento actual, el vínculo entre la exposición a RF y los riesgos para la salud en las frecuencias de interés para el despliegue de 5G es comparable al de las bandas de frecuencia utilizadas por generaciones anteriores.

Mientras tanto, ANSES destaca que las buenas prácticas en el uso de la telefonía móvil pueden ayudar a limitar la exposición a CEM. En particular, reitera sus recomendaciones tras su informe pericial publicado en 2016, **que pide reducir la exposición de los niños a las radiofrecuencias emitidas por los teléfonos móviles fomentando el uso moderado de estos dispositivos y dando preferencia a los “kits” de manos libres**.

Por último, la ANSES señala que el despliegue de la tecnología 5G se produce en un momento en que la sociedad se está transformando por la aparición de nuevos usos posibles gracias a las tecnologías digitales y su amplia difusión. Una de las intenciones de los desarrolladores de la tecnología 5G es también permitir la aparición de otros usos a través de objetos conectados más numerosos y diversificados.

Independientemente de la tecnología, ANSES considera que los efectos de esta transformación digital en su conjunto, **incluidos los medioambientales** (consecuencias energéticas directas e indirectas, huella en la calidad del aire, contaminación del suelo, consumo y polución del agua, agotamiento de metales raros, etc.) y los relativos al funcionamiento de la sociedad (brecha digital, igualdad de acceso a los servicios, riesgos de circulación de datos sensibles, etc.) deben evaluarse mejor. Teniendo esto en cuenta, la Agencia ha emprendido una evaluación de los impactos del uso digital en la salud de

niños y adolescentes, que es independiente y complementaria del trabajo que está llevando a cabo sobre el impacto en la salud de la exposición a ondas electromagnéticas. **Los datos disponibles en este momento son insuficientes para permitir sacar conclusiones sobre la existencia de efectos adversos para la salud asociados con la exposición a campos electromagnéticos en la banda de frecuencia alrededor de 26 GHz.**

5.5.6. Health Council of the Netherlands y 5G | No. 2020/16e The Hague, September 2, 2020.

La tecnología 5G se desarrolló para hacer frente a la creciente demanda de telecomunicaciones móviles y hacer posibles nuevas aplicaciones, como vehículos autónomos y cirugía remota. Por eso la Cámara de Representantes del parlamento holandés ha pedido al Consejo de Salud de los Países Bajos que analice lo que se sabe al respecto desde una perspectiva científica. El Comité Permanente de Campos Electromagnéticos del Consejo ha examinado esta cuestión. Los efectos de las frecuencias 5G en la salud aún no se han examinado completamente.

El despliegue de las redes 5G apenas ha comenzado. Por lo tanto, *todavía no existen estudios sobre los efectos en la salud de la exposición (a largo plazo) a CEM con las frecuencias reservadas para 5G.* Este informe es un primer paso en el análisis de los posibles efectos de las frecuencias 5G en la salud. Hasta el momento, el comité no puede responder a la pregunta de si la exposición a las frecuencias 5G realmente plantea riesgos para la salud humana. Hay dos razones para eso. Esto requiere un análisis más detallado de los datos científicos que el que realizó el comité. En segundo lugar, requiere conocimiento de cuál será la exposición real a los CEM-RF tras la introducción de la 5G. Esto aún no se sabe, porque el uso de 5G sólo ha comenzado parcialmente.

Por lo tanto, el comité ha investigado si hay indicios de que los CEM-RF de 5G tengan el potencial de dañar la salud. Según el comité, no se puede excluir que la incidencia de cáncer, la reducción de la fertilidad masculina, los malos resultados del embarazo y los defectos de nacimiento puedan estar asociados con la exposición a CEM. **Sin embargo, considera que la relación entre la exposición y estas y otras enfermedades o condiciones no está probada ni es probable.** También ha examinado la posible relación entre la exposición a CEM y cambios en los procesos biológicos. Es probable que los cambios en la actividad eléctrica del cerebro estén asociados con la exposición, pero no se sabe si esto es favorable o desfavorable en términos de salud. Para la mayoría de los demás procesos biológicos no se ha demostrado ni es probable que los cambios en ellos estén asociados con la exposición a CEM, aunque esto no puede excluirse. Sólo para cambios en el sistema inmunológico y hormonal no se encontró relación. **Casi no se han realizado investigaciones sobre los efectos de la exposición a frecuencias cercanas a los 26 GHz.**

Dado que las bandas de frecuencia más bajas para 5G (hasta 3,5 GHz) ya se han utilizado para aplicaciones de telecomunicaciones y Wi-Fi durante años sin que se haya demostrado ningún efecto adverso para la salud, el comité no ve ninguna razón para detener o restringir el uso de estas bandas de frecuencia. Sin embargo, recomienda que se controle la exposición antes, durante y después del despliegue de los sistemas 5G. Esto mostrará en qué medida la exposición a los CEM cambia con la introducción de la 5G y de esta manera, se podrán evaluar mejor los riesgos para la salud a largo plazo.

El comité recomienda realizar más investigaciones:

1. Investigación epidemiológica sobre la relación entre la exposición a las frecuencias 5G utilizadas y la incidencia de cáncer, la reducción de la fertilidad masculina, los malos resultados del embarazo y los defectos de nacimiento. Un estudio internacional en curso sobre el uso de teléfonos móviles en el que participan los Países Bajos puede contribuir a ello.
2. Realizar investigación experimental sobre los efectos sobre la salud de la exposición a CEM en la banda de frecuencia de 26 GHz y estudios de escenarios para tener una idea de la exposición de las personas como resultado de los sistemas de comunicaciones inalámbricas (3G, 4G y 5G).
3. Recomienda no utilizar la banda de frecuencia de 26 GHz para 5G mientras no se hayan investigado los posibles riesgos para la salud.
4. Finalmente, aconseja utilizar las últimas directrices de la ICNIRP como base para la política de exposición en los Países Bajos. Debido a que no se puede excluir que la exposición bajo los últimos estándares ICNIRP también tenga el potencial de afectar la salud, el comité recomienda adoptar un enfoque cauteloso y *mantener las exposiciones tan bajas como sea razonablemente posible*.

El Consejo Nacional de Salud independiente de los Países Bajos publicó (2020) un informe (<https://www.healthcouncil.nl/documents/advisory-reports/2020/09/02/5g-and-health>) sobre 5G y CEM. Concluyó que las relaciones entre las frecuencias 5G y los daños a la salud no están demostradas, pero al mismo tiempo no pueden excluirse. También concluyó que la investigación sobre los efectos de la exposición a frecuencias alrededor de 26 GHz está prácticamente ausente. El Consejo de Salud, por lo tanto, recomienda no usar la banda de frecuencia de 26 GHz para 5G.

Pero la OMS, la comunidad europea (CE) y la ICNIRP no ven ninguna razón para suponer que el uso de la banda de 26 GHz dentro de los límites de exposición acordados internacionalmente de la ICNIRP 2020 puede causar problemas de salud. Además, el Consejo Nacional de Salud de los Países Bajos confirma que es poco probable que la exposición a las frecuencias que se utilizarán para 5G cause efectos en la salud. El gobierno holandés, por lo tanto, no ve ninguna razón para detener la emisión de la banda de 26 GHz. Al mismo tiempo, seguirá de cerca los últimos conocimientos científicos y apuntará a una mayor investigación internacional.

5.5.7. Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC)

En su más reciente informe publicado en 2020, ha concluido que no se espera que la exposición a CEM por debajo de los límites recomendados en las directrices internacionales de la ICNIRP incremente el riesgo de cáncer. Así mismo, indica que los TM contribuyen con el 85 % de las emisiones a las que están expuestas las personas, mientras que la contribución de todas las fuentes de campo lejano dentro de las que se encuentran las EBTM fue del 6 % incluido el 3 % proveniente de EBTM y 2 % de TM de otras personas; por tanto, no se presenta un aporte significativo de ellas a los CEM (World Cancer Report: Cancer Research for Cancer Prevention. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer (IARC). <http://publications.iarc.fr/586>).

5.6.8. ARPANSA (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency)

Durante décadas se han estado investigando los efectos de los CEM - RF en la salud humana y se han desarrollado directrices, incluida una norma australiana, para proteger a los humanos de una exposición excesiva. La evaluación de los riesgos potenciales para la salud derivados de la exposición a CEM-RF incluye cierta incertidumbre y se han identificado lagunas para futuras investigaciones. Existe un extenso esfuerzo de investigación a nivel mundial para abordar cualquier brecha de conocimiento que haya sido identificada previamente en una agenda desarrollada por la OMS en 2010. En Australia existe un programa que financia estudios de relevancia e interés para la comunidad australiana y al mismo tiempo complementa los esfuerzos internacionales. La investigación continuará garantizará que las políticas de salud pública se basen en la información más actualizada a medida que las telecomunicaciones y otras tecnologías sigan desarrollándose. **Actualmente no existe evidencia establecida de que la exposición a energía CEM-RF en niveles por debajo de los límites de seguridad del estándar australiano cause algún efecto en la salud.** Este informe utiliza los resultados de las últimas revisiones sobre RF y salud para describir las necesidades de investigación en esta área. El informe hace las siguientes recomendaciones sobre las necesidades de investigación:

1. Estudios de cohortes prospectivos en adultos que investigan los efectos a largo plazo de los CEM –RF asociados con el uso de TM.
2. Estudios ecológicos en curso que investiguen las tendencias temporales en el uso de TM y los tipos y subtipos de tumores cerebrales, incluida la investigación de períodos de latencia superiores a 10 años.
3. Estudios de cohortes prospectivos de niños y adolescentes que investigan la exposición a CEM-RF y diversos resultados, incluido el cáncer, trastornos neurológicos y del comportamiento.
4. Más estudios de provocación sobre los efectos neurofisiológicos con métodos mejorados que incluyan tamaños de muestra adecuados, protocolos de exposición y análisis predefinidos y poblaciones variadas.
5. Estudios en animales que investigan si la exposición a CEM-RF de TM promueve el cáncer.
6. Más estudios en animales que investiguen resultados no relacionados con el cáncer, incluido el desarrollo y el comportamiento, la neurodegeneración y la fertilidad masculina, que estén bien diseñados e incluyan sistemas de exposición bien caracterizados que incorporen dosimetría detallada.
7. Replicación de estudios in vitro que informan los efectos de la CEM- RF sobre la función celular y el daño del ADN.
8. Evaluación continua de la exposición personal y ambiental a CEM-RF proveniente de tecnologías nuevas y emergentes, incluida la exposición total de múltiples fuentes y los cambios en la exposición a lo largo del tiempo.
9. Investigación en curso sobre la caracterización de la exposición a CEM-RF en estudios epidemiológicos y experimentales.
10. Investigación en curso sobre el establecimiento de límites apropiados en la norma australiana de RF basada en el desarrollo de métodos dosimétricos.

11. Investigación sobre HE con el objetivo de comprender la etiología de la afección y encontrar formas de proporcionar un tratamiento eficaz a quienes la padecen.
12. Investigación sobre ondas milimétricas, incluida la investigación de peligros potenciales y la adecuación de los límites actuales en el estándar australiano de RF.
13. Continuar la investigación sobre la percepción y la comunicación del riesgo de RF teniendo en cuenta las necesidades identificadas en la Agenda de Investigación de la OMS de 2010 y abordando otras lagunas.
14. La OMS está revisando actualmente toda la evidencia científica sobre la CEM- RF y la salud con la intención de publicar una monografía de criterios de salud ambiental y una agenda de investigación adjunta. Las autoridades sanitarias australianas tienen previsto revisar la agenda de investigación actualizada de la OMS cuando se publique.

5.5.9. Consejo Científico sobre Campos Electromagnéticos de SSM autoridad Sueca de Seguridad Radiológica

El Consejo Científico sobre CEM de la Autoridad Sueca de Seguridad Radiológica (SSM) supervisa las investigaciones actuales sobre posibles riesgos para la salud en relación con la exposición a CEM y proporciona asesoramiento sobre la evaluación de posibles riesgos para la salud. El SSM brinda orientación cuando la autoridad debe emitir una opinión sobre cuestiones de política cuando son necesarias pruebas científicas. El consejo debe presentar cada año un informe escrito sobre la situación actual de la investigación y el conocimiento.

El decimoquinto informe (2020) cubre diferentes áreas de CEM y diferentes tipos de estudios, biológicos, humanos y epidemiológicos.

No se han identificado nuevas relaciones causales establecidas entre la exposición a los CEM y los riesgos para la salud.

Nuevas investigaciones sobre tumores cerebrales y el uso de TM están en línea con investigaciones anteriores que sugieren principalmente una ausencia de riesgo. La glándula tiroides está potencialmente muy expuesta durante las llamadas de TM, pero hasta ahora se han realizado escasos estudios sobre el cáncer de tiroides. *Sin embargo, se ha observado una incidencia elevada sugestiva de microcarcinoma de tiroides asociado con el uso prolongado y más frecuente del teléfono móvil. El sesgo de recuerdo del uso de teléfonos móviles autoinformado puede ser una explicación alternativa para estos resultados.*

En estudios epidemiológicos se han observado asociaciones entre el uso de TM y síntomas no específicos, como dolor de cabeza y problemas de salud mental. Sin embargo, sugieren que estas asociaciones pueden atribuirse a otros factores como la corta duración del sueño o el estrés. Un factor que contradice que la exposición a las ondas de RF sea un elemento contribuyente *significativo es que a menudo se observan correlaciones más fuertes cuando se espera que el nivel de exposición haya sido bajo.*

Los resultados de la revisión de la investigación no dan ninguna razón para cambiar ningún nivel de referencia o recomendación. La recomendación de manos libres para llamadas con TM se mantiene a pesar de que las tendencias de incidencia de gliomas no respaldan un riesgo creciente causado por la exposición a las ondas de radio de los TM. Sin embargo,

Los efectos biológicos observados y las incertidumbres sobre las alteraciones a largo plazo justifican la precaución. Una cuestión clave es investigar más a fondo la relación entre la exposición a CEM y el estrés oxidativo observado en estudios con animales y establecer si existe una relación en humanos y de ser así en qué medida puede afectar la salud humana. Las tendencias temporales de incidencia del cáncer de tiroides están aumentando. Podría haber numerosas razones diferentes para esto. Sin embargo, las nuevas generaciones de TM pueden potencialmente dar una exposición relativamente alta a la glándula tiroides y, por lo tanto, es deseable examinar de cerca una posible relación causal. Hasta ahora, la investigación sobre este tema ha sido limitada.

También es necesario investigar más a fondo los efectos observados sobre el comportamiento y los espermatozoides en estudios con animales. Dado que falta coherencia entre los estudios, es importante enfatizar que el siguiente paso aquí debería ser desarrollar diseños de estudio de alta calidad.

La tecnología de la información inalámbrica está en constante evolución y se utilizarán nuevos rangos de frecuencia. El sistema de telecomunicaciones móviles 5G se instalará en todo el mundo en los próximos años. Aunque no existe un mecanismo establecido que afecte la salud por la exposición CEM, es necesario realizar más investigaciones que abarquen los nuevos dominios de frecuencia utilizados para 5G. La autoridad también anima a los investigadores a empezar a realizar estudios epidemiológicos, es decir, estudios de cohortes, en este ámbito. Sólo se dispone de unos 100 estudios in vivo e in vitro que han considerado exposiciones a frecuencias superiores a unos 6 GHz. Actualmente existen muy pocos estudios en la banda de 26 GHz.

5.5.10. Conclusiones

Podemos concluir que:

- Las Agencias y organismos indican que, según el conocimiento actual, el vínculo entre la exposición a CEM-RF y los riesgos para la salud no está demostrado. Estas conclusiones unánimes se dan si el despliegue de 5G es comparable al de las bandas de frecuencia utilizadas por generaciones anteriores.
- Los resultados de las revisiones no dan ninguna razón para cambiar los niveles de referencia o las recomendaciones. Pero se continúa aconsejando la utilización “de manos libres” para llamadas con TM a pesar de que las tendencias de incidencia de gliomas no respaldan un riesgo creciente.
- Actualmente existen muy pocos estudios en la banda de 26 GHz y se considera que antes de que se universalice deberán realizarse más estudios y mediciones.
- Es imprescindible la realización de estudios experimentales in vivo e in vitro, así como epidemiológicos financiados por gobiernos e instituciones neutrales y llevados a cabo por científicos de diversas especialidades y reconocido prestigio.

5.6. Protocolos de estudios sistemáticos y metaanálisis en marcha

En marzo de 2010 se inició en Europa un estudio prospectivo de cohortes a gran escala del uso de los móviles y de sus posibles efectos a largo plazo en la salud. Hasta la fecha, en este estudio conocido como **Estudio de Cohortes sobre el Uso de Teléfonos Móviles y la Salud (COSMOS)** se inscribieron alrededor de 290.000 usuarios de móviles de 18 o más años de Gran Bretaña, Finlandia, Países Bajos, Suecia y Dinamarca, a quienes se les hará seguimiento durante 20 a 30 años. El desafío de este estudio ambicioso es continuar el seguimiento de los participantes durante muchas décadas para evaluar distintos efectos en la salud. Al ingresar en el estudio, los participantes de COSMOS respondieron a un cuestionario sobre su salud, estilo de vida y uso de móviles antes y ahora. Esta información se complementará con los datos de expedientes médicos y de registros de las compañías de telefonía celular. Sus resultados serán de gran relevancia.

Lagorio et al., 2021

La OMS tiene un proyecto en curso para evaluar los posibles efectos sobre la salud de la exposición a CEM-RF en la población general y laboral. Este es el protocolo para una revisión sistemática de la literatura científica sobre los riesgos de cáncer por exposición a RF en humanos, encargado por la OMS como parte de ese proyecto. Objetivo: Evaluar la calidad y solidez de la evidencia proporcionada por estudios observacionales en humanos sobre una asociación causal entre la exposición a CEM-RF y el riesgo de enfermedades neoplásicas

Pinto et al., 2022

Es un proyecto italiano, el ISS (l'Istituto Superiore di Sanità) es la institución líder del proyecto y la Agencia Nacional Italiana para Nuevas Tecnologías, Energía y Desarrollo Económico Sostenible (ENEA) como socio. El equipo de ENEA debe realizar una revisión sistemática de este tema y Accidentes de Trabajo (INAIL). El ISS ha lanzado el acuerdo de investigación colaborativa "BRIC 06/2018" Ref Y43 "Evidencia científica sobre la carcinogenicidad de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia" con el objetivo de revisar la literatura científica sobre la posible carcinogenicidad de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (100 kHz–300 GHz) proporcionados por estudios epidemiológicos de población general, estudios epidemiológicos en trabajadores, estudios experimentales en animales in vivo y estudios experimentales en células in vitro de CEM y cáncer.

Roosli et al., (2021)

Aplicaciones que emiten CEM-RF (100 kHz a 300 GHz) son ampliamente utilizadas para la comunicación como los TM, en medicina (diatermia) y en la industria (calentadores de RF). Esto ha generado una preocupación de que la exposición a CEM afecte la calidad de vida relacionada con la salud, porque una parte de la población informa que experimenta una variedad de síntomas relacionados con niveles bajos de exposición, inferiores a los límites reglamentarios.

Los objetivos son revisar sistemáticamente los efectos de los CEM-RF sobre áreas concretas y también en todo el cuerpo humano, repetidos de forma continua y su efecto a largo plazo. Se analizará la aparición de síntomas como migraña, tinnitus, dolores de cabeza, alteraciones del sueño y asociación de varios síntomas conjuntos.

Métodos: Se seguirá el manual de la OMS para el desarrollo de directrices. Para el desarrollo de las revisiones sistemáticas y evaluaciones de efectos en la salud se guiarán por el Programa Nacional de Toxicología-Oficina de Evaluación y Traducción de la Salud (NTP-OHAT) y COSTER (Recomendaciones para la realización de revisiones sistemáticas en toxicología e investigación en salud ambiental).

Criterios de elegibilidad: estudios epidemiológicos revisados por pares en la población general o trabajadores que deseen investigar la asociación entre la exposición a CEM-RF local o de todo el cuerpo durante al menos una semana son elegibles para su inclusión. Sólo se incluirán estudios de cohortes, de casos - controles y de panel. Fuentes de información: las bases de datos de literatura científica Medline, Web of Science, PsycInfo, Biblioteca Cochrane, Epistemonikos y Embase, utilizando una estrategia de búsqueda predefinida. Esta búsqueda se complementará mediante una búsqueda en el Portal EMF y comprobaciones de listas de referencias de artículos y revisiones relevantes.

Método de síntesis y evaluación del estudio: los datos de los artículos incluidos se extraerán de acuerdo con formularios predefinidos. Los hallazgos se resumirán en tablas, presentaciones gráficas y en una síntesis narrativa de la evidencia disponible complementada con un metaanálisis. Se revisará por separado los efectos de las variables locales, de campo lejano y ocupacionales. Riesgo de sesgo: la validez interna de los estudios incluidos se evaluará mediante la calificación de riesgo de sesgo de NTP/ OHAT y la calificación de Valoración, Desarrollo y Evaluación de Recomendaciones (GRADE) para análisis epidemiológicos.

Benke et al., (2022)

La mejor manera de evaluar si se observa una alteración del rendimiento cognitivo por la exposición a CEM-RF de 100 kHz a 300 GHz es mediante estudios observacionales. En los últimos años, el uso del TM ha sido la principal fuente de exposición del cerebro a los CEM-RF, aunque otras fuentes pueden ser importantes. La función cognitiva incluye diversos aspectos mentales y psicológicos. Hay habilidades que pueden medirse en una variedad de dominios, como el aprendizaje, la memoria, el razonamiento, la resolución de problemas, la toma de decisiones y la atención. Aunque los efectos sobre la función cognitiva pueden ser más evidentes más adelante en la vida, en un entorno experimental sólo se pueden estudiar los efectos agudos e inmediatos. Se necesitan estudios observacionales cuando los efectos se observan después de meses o años de exposición a corto y a largo plazo.

Objetivos: Evaluar los efectos a largo plazo de la exposición local y de todo el cuerpo a los CEM- RF en comparación con ninguna exposición o una exposición baja. Valorar niveles de exposición e indicadores de cognición, incluida la atención compleja, la función ejecutiva, el aprendizaje y la memoria, la capacidad motora perceptiva y la cognición social, pero excluyendo los efectos cognitivos causados por enfermedades neurodegenerativas enfermedades o trastornos del neurodesarrollo. Evaluar si hay evidencia de una respuesta dosis-relación.

Elegibilidad y criterios del estudio: se incluyen estudios observacionales que hayan evaluado los efectos cognitivos de la RF de un grupo y lo hayan comparado con niveles de exposición diferentes.

Seguimiento mínimo de 6 meses. Estudios de cohortes o de casos - controles publicados en la literatura con revisión por pares en cualquier idioma son elegibles. Se excluirán los estudios transversales y aquellos que solo informen sobre la estructura cerebral o de biomarcadores.

Método de valoración y síntesis del estudio: búsquedas en PubMed, Embase, PsycINFO y EMF Portal. Al menos dos autores examinarán de forma independiente los títulos/resúmenes de todos los registros, en caso de conflicto este será resuelto por un tercer revisor y se resolverá por consenso. La selección del texto completo también será realizada de forma independiente por dos autores. Se extraerán datos de los estudios incluidos, como identificadores y características del diseño, exposición y grupos de comparación, participantes y resultados evaluados. El sesgo se evaluará con la herramienta OHAT. Se realizará un metaanálisis de estudios similares con un modelo de efectos aleatorios en STATA o software similar, si son dos o más estudios.

Bosch-Capblanch et al., (2022)

La OMS está evaluando los posibles efectos sobre la salud de la exposición a CEM-RF y ha llevado a cabo una encuesta internacional entre los expertos, que han identificado seis temas prioritarios que se abordarán más a fondo mediante revisiones sistemáticas. Presentamos aquí el protocolo de revisión sistemática de experimentos y estudios en humanos que evalúan los efectos de CEM-RF sobre diversos síntomas. Objetivo: Los objetivos son evaluar los efectos de la exposición a campos electromagnéticos (en comparación con ninguna o menor niveles de exposición) sobre los síntomas en seres humanos. También evaluaremos la precisión de la percepción de la presencia de exposición en voluntarios con y sin intolerancia ambiental idiopática atribuida a electromagnética campos.

Criterios de elegibilidad: fuentes bibliográficas relevantes de la acción de CEM-RF en humanos incluyendo Web of Science, Medline, Embase, Epistemonikos. Se incluyen ensayos aleatorios (que comparen al menos dos brazos) y ensayos cruzados aleatorios. Son validos los estudios en cualquier idioma. Evaluación y síntesis: dos revisores independientes evaluarán los estudios según los criterios de inclusión. Los datos sobre las características, los participantes, la exposición, los comparadores y los efectos se extraerán utilizando un método específico por dos revisores independientes. Las discrepancias se resolverán por consenso. La evidencia de las relaciones exposición-resultado se evaluará utilizando el enfoque GRADE.

Popho B et al., (2021)

El objetivo principal es presentar un protocolo para una revisión sistemática que evaluará las asociaciones entre exposición a corto plazo a CEM-RF y rendimiento cognitivo en estudios experimentales en humanos. Fuentes de datos: PubMed, Embase, Web of Science, Scopus y EMFPortal.

Elegibilidad y criterios del estudio: se incluyen estudios experimentales aleatorios en humanos que evalúen los efectos de los CEM-RF sobre el rendimiento cognitivo en comparación con ninguna exposición o una exposición más baja. Incluirán revisiones revisadas por pares de artículos de cualquier fecha de publicación en cualquier idioma que reporten datos primarios.

Extracción y análisis de datos: los datos se extraerán de acuerdo con un conjunto predefinido de formularios desarrollados y puestos a prueba por el equipo de autores de la revisión. Para evaluar el riesgo de sesgo aplicaran la herramienta de calificación para humanos y animales. Estudios desarrollados por NTP/ OHAT, complementados con preguntas adicionales relevantes para estudios cruzados. Dónde se identifiquen estudios similares (por ejemplo, la heterogeneidad en cuanto a población, exposición y resultado es baja y los estudios se pueden combinar), realizaran un metaanálisis de efectos aleatorios; de lo contrario, se hará una síntesis narrativa. La certeza de la evidencia para cada resultado identificado se evaluará de acuerdo con la calificación GRADE. Realizar la revisión de acuerdo con este protocolo permitirá identificar los posibles efectos de los CEM-RF en el rendimiento cognitivo en humanos. El protocolo se ha registrado en PROSPERO, un sistema de registro de protocolos de código abierto, para fomentar la transparencia.

Keny et al., (2022)

La OMS está reuniendo evidencia de los CEM-RF en relación con la salud, para informar las pautas de exposición. Un conjunto de revisiones sistemáticas está siendo llevado a cabo por una red de expertos en temas y metodologías con el fin de recopilar, evaluar y sintetizar datos relevantes para estas pautas. Se ha presentado el protocolo para la revisión sistemática sobre el efecto de la exposición a RF y efectos adversos. Objetivos: Siguiendo el manual de la OMS para el desarrollo de directrices de conducta, revisar sistemáticamente el efecto de la exposición a CEM-RF tanto en la fertilidad masculina (SR3A) como en los resultados adversos del embarazo (SR3B) en estudios observacionales en humanos. En este documento

se adhieren a las pautas de presentación de informes PRISMA-P. Búsqueda amplia de registros potencialmente relevantes para ambas revisiones dentro de las siguientes bases de datos bibliográficas: MEDLINE; Embase y Portal EMF. También se realizarán búsquedas de grises de literatura a través de bases de datos relevantes y sitios web de organizaciones. También se consultará a expertos en CEM-RF.

Criterios de elegibilidad del estudio: estudios cuantitativos de observación en humanos sobre el efecto de la exposición CEM-RF: en SR3A participan varones adultos sobre infertilidad, morfología del espermatozoides, recuento y motilidad; y en SR3B incluye mujeres antes de la concepción o mujeres embarazadas con parto prematuro, pequeños para edad gestacional (asociada con restricción del crecimiento intrauterino), aborto espontáneo, muerte fetal y anomalías congénitas.

Métodos de evaluación y síntesis de estudios: los títulos, los resúmenes y luego los textos completos se examinarán por duplicado ciego con el aporte de un tercer revisor según sea necesario. Si corresponde, se hará un metaanálisis para agrupar medidas de efecto y explorar heterogeneidad mediante análisis de subgrupos o meta regresión. Realizarán análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de cualquier suposición hecha a lo largo del proceso de revisión. La metodología OHAT, basada en las pautas GRADE se utilizará para evaluar la certeza de la evidencia por resultado y para concluir el nivel de evidencia de un efecto sobre la salud.

5.7. Nota sobre la metodología del presente capítulo

Esta no es una revisión sistemática que siga los criterios PRISMA. Se ha realizado una búsqueda bibliográfica de enero de 2020 a diciembre de 2022 aportando los estudios que se han considerado más relevantes, incluidas revisiones sistemáticas y metaanálisis.

La búsqueda bibliográfica se realizó mediante PubMed, Medline, Web of Sciences, Google Scholar y EMF Portal. Así mismo se han considerado las indicaciones más recientes de las Agencias y Comités Internacionales en sus páginas web.

Cadenas de búsqueda: “EMF and tumors” “EMF-RF and brain tumors” “EMF and salivary gland tumors” “EMF and cancer” “EMF and thyroid cancer” “EMF and health” “EMF and hypersensitivity” “WI-FI and health” “Mobile phone AND health” “5G and health” incluyendo en los filtros revisiones, revisiones sistemáticas, metaanálisis, y estudios clínicos.

6

Revisión de los límites a la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia ICNIRP 2020, normativa de exposición para trabajadores, SCHEER, Norma IEC 62232



Figura 5.11. La calidad de la ciencia.

6.1. Revisión de los límites a la exposición personal a campos electromagnéticos de radiofrecuencia ICNIRP 2020

6.1.1. Introducción

En marzo de 2020, la Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) publicó sus nuevas directrices (ICNIRP, 2020) para la protección de las personas a la exposición campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) en el rango de frecuencias de 100 kHz-300 GHz. Su elaboración llevó varios años e incluye la revisión de la literatura científica publicada hasta la fecha de su edición. En la actualidad, una gran mayoría de los países del mundo aplican los límites a la exposición a los CEM-RF establecidos en las directrices de 1998 de la ICNIRP y se espera que éstos adapten sus normativas paulatinamente a los límites revisados.

Tabla 6.1. Resumen de los tipos de tejidos y regiones del cuerpo establecidas en ICNIRP 2020.

REGIÓN		TEJIDOS	
		Tipo 1	Tipo 2
	Cabeza y Torso	SI	SI
	Extremidades	SI	NO
Tejidos Tipo 1	Temperatura normotérmica < 33-36 °C. Con un incremento máximo de $\Delta 5$ °C		
	Parte superior del brazo, antebrazo, mano, muslo, pierna, pie, pabellón auricular, córnea, cámara anterior e iris del ojo, tejido epidérmico, dérmico, graso, muscular y óseo		
Tejidos Tipo 2	Temperatura normotérmica < 38,5 °C. Con un incremento máximo de $\Delta 2$ °C		
	Todos los tejidos en la cabeza, ojos, abdomen, espalda, tórax y pelvis, excluyendo aquellos definidos como Tejidos Tipo 1		

En el anterior informe del CCARS se presentó un resumen de las principales diferencias entre las nuevas directrices ICNIRP 2020 y las ICNIRP 1998. Pretendemos en este apartado del presente informe hacer hincapié en algunas de las principales novedades de las directrices de ICNIRP 2020, en lo que a exposición local se refiere y en la clasificación en tejidos y partes del cuerpo que se ha establecido para el establecimiento de los límites, tanto en lo que se refiere a restricciones básicas y niveles de referencia. También se analizarán las novedades introducidas en los diferentes tiempos de exposición para las diferentes medidas de estas. Se finalizará con una tabla comparativa de las principales diferencias entre ICNIRP 2020 e ICNIRP 1998 en la banda de 400 KHz a 300 GHz. A lo largo de los diversos apartados del presente capítulo se presentarán un conjunto de tablas que permitan entender los principales límites establecidos, tanto en lo que se refiere tanto a restricciones básicas como a los niveles de referencia.

Los límites a la exposición de los CEM-RF se proporcionan en términos de restricciones básicas, que están relacionados con cantidades físicas en el interior del cuerpo, y en términos de niveles de referencia, que son cantidades del campo eléctrico externas derivadas de las restricciones básicas. Los niveles de referencia proporcionan un medio más práctico para evaluar el cumplimiento en la mayoría de las situaciones.

6.1.2. Cambios técnicos en las restricciones básicas

Elevación de la temperatura

La elevación de la temperatura es el mecanismo fundamental identificado por la ICNIRP, en las frecuencias utilizadas por los sistemas de comunicaciones móviles e inalámbricos, para el establecimiento de restricciones y límites a la exposición a CEM-RF, y éstos se establecen para evitar un aumento “significativo” de la misma.

ICNIRP 2020 distingue entre los aumentos de temperatura en estado permanente, cuando la temperatura aumenta lentamente, dando tiempo a que el calor se disipe y para que los procesos termorreguladores del cuerpo surtan efecto, y aumentos breves de temperatura, cuando puede que no haya tiempo suficiente para que el calor se disipe.

Temperatura corporal en todo el cuerpo

La temperatura corporal interna se refiere a la temperatura en el interior del cuerpo, como el abdomen y el cerebro, y varía sustancialmente en función de sexo, la edad, la hora del día, el ritmo de trabajo, las condiciones ambientales y la termorregulación. ICNIRP 2020 fija la variación de la temperatura corporal interna en +1°C, considerando que la temperatura corporal media es de, aproximadamente, 37°C. Además de este incremento de temperatura, un calentamiento localizado excesivo puede causar dolor y daños térmicos, por esta razón ICNIRP 2020 establece límites para la temperatura local.

Temperatura local

Para establecer estos límites el ICNIRP 2020 establece diferencias entre diferentes regiones del cuerpo humano. En correspondencia con estas regiones, las directrices de ICNIRP 2020 definen dos tipos de tejidos a los que, en función de su temperatura en condiciones normotérmicas, se les asignan diferentes umbrales operativos de efectos adversos para la salud. Así, define el Tejido Tipo 1, que incluye todos los tejidos de la parte superior del brazo, antebrazo, mano, muslo, pierna, pie, pabellón auditivo y córnea, cámara anterior e iris del ojo, tejido epidérmico, dérmico, adiposo, muscular y óseo), y Tejido Tipo 2, que incluye todos los tejidos de la cabeza, el ojo, el abdomen, la espalda tórax y pelvis, excluyendo aquellos definidos como tejidos de Tipo 1. La temperatura normotérmica para el Tejido Tipo 1 es, típicamente, inferior a 33° – 36°C, y para el Tejido Tipo 2 inferior a 38,5°C. Estos valores se han utilizado para definir los umbrales operativos de los efectos locales del calor sobre la salud, adoptando 41°C como potencialmente nocivo. Las presentes directrices adoptan un enfoque conservador y tratan los aumentos de temperatura inducidos por los EMF de 5°C y 2°C, para los tejidos Tipo 1 y Tipo 2, respectivamente, como potencialmente adversos para la salud en caso de exposición local.

Es difícil establecer restricciones a la exposición en función de la clasificación del tipo de tejido anterior. Por ello, la ICNIRP 2020 define dos regiones y establece restricciones a la exposición diferentes para estas regiones. Una de ellas es la “Cabeza y Torso”, que comprende la cabeza, ojos, el pabellón auditivo, el abdomen, la espalda, el tórax y la pelvis, que incluyen tanto el Tejido de Tipo 1 como el Tejido de Tipo 2, La otra región son las “Extremidades”, que comprende la parte superior del brazo, el antebrazo, la mano, el muslo, la pierna y el pie, y que sólo incluye tejidos de Tipo 1. Se han determinado niveles de exposición para cada una de estas regiones tales que no provoquen aumentos de temperatura superiores a 5°C y 2°C, en los tejidos de Tipo 1 y Tipo 2, respectivamente. Dado que las extremidades, por definición, no contienen ningún tejido de Tipo 2 el umbral operativo de efectos adversos para la salud para las extremidades es siempre de 5°C.

De 100 kHz a 6 GHz, la ICNIRP 2020 mantiene límites locales de SAR (Specific Energy Absorption Rate o Tasa de Absorción Específica de Energía) basados en una masa de 10 gr con umbrales de CEM-RF de 40 W/kg para los tejidos Tipo 1 y 20 W/kg para los Tejidos Tipo 2. Un volumen de 10 gramos es, aproximadamente, un cubo de 2,15 cm x 2,15 cm x 2,15 cm, basado en la suposición de que el tejido tiene la misma densidad de masa que el agua, 1.000 Kg/m³. Un resumen de las diferentes regiones y tejidos establecidos por la ICNIRP 2020 se muestran en la Tabla 6.1.

Dado que la energía de los CEM-RF se absorbe superficialmente a frecuencias más altas, por ejemplo, la profundidad de penetración es aproximadamente 8,1 mm a 6 GHz y 0,23 mm a 300 GHz, ICNIRP 2020 especifica un nuevo umbral a los CEM-RF de S_{ab} (Absorbed Power Density o Densidad de Potencia Absorbida Local) de 200 W/m², tanto para los tejidos de Tipo 1 y Tipo 2 con un área de promediado de 4 cm² y una restricción adicional (a medida que aumenta la frecuencia es posible concentrar la exposición en un área más pequeña) de 400 W/m² en un área de 1 cm² para frecuencias superiores a 30 GHz.

El tiempo de promediado tanto para la SAR como para la S_{ab} se mantiene en 6 minutos, ya que coincide con la constante de tiempo térmica para exposición local. Los umbrales de los efectos operativos de los CEM-RF para temperatura local y para todo el cuerpo se resumen en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Umbrales de temperatura para el cuerpo entero y para exposición local.

Tipo de exposición	Cuerpo entero	Local
Zona de estudio		 Tejido Tipo 1 (Naranja): Extremidades Tejido Tipo 2 (Azul): Cabeza / Torso
Umbral operativo	+ 1°C	Tipo 1: + 5°C Tipo 2: + 2°C
Umbral de CEM-RF	(100kHz a 300 GHz.) 4 W/kg	(100 kHz a 6 GHz) 40 W/kg, Tejidos Tipo 1 20 W/kg, Tejidos Tipo 2 10 gr, masa promedio. (6 kHz a 300 GHz) 200 Wm ² , Tejidos Tipo 1 / Tipo 2 4 cm ² de área promediada Más 400 W/m ² de área promediada en 1 cm ² , para frecuencias >30 GHz.
Tiempo promediado.	30 minutos	6 minutos

Un resumen de las restricciones básicas, aplicables al público en general, tanto para exposición en cuerpo entero como exposición local, se muestran en las Tabla 6.3. y Tabla 6.4.

Tabla 6.3. Restricciones básicas para exposición a CEM-RF de 100 kHz a 300 GHz, para intervalos de promediado \geq 6 minutos. Exposición a cuerpo entero.

Exposición al cuerpo entero		
Parámetro	Tasa de absorción específica de energía, SAR ($W\ kg^{-1}$)	
Rango de frecuencias	100 kHz – 6 GHz	> 6 – 300 GHz
Valor límite	0,08	0,08
Comentarios	<p><u>Promediado temporal</u>: 30 minutos. El valor de SAR es calculado para una masa promedio equivalente a la masa corporal total.</p>	

Tabla 6.4. Restricciones básicas para exposición a CEM-RF de 100 kHz a 300 GHz, para intervalos de promediado \geq 6 minutos. Exposición local en el cuerpo, en cabeza y torso y en extremidades.

Exposición local			
Parámetro	Tasa de absorción específica de energía SAR ($W\ kg^{-1}$)		Densidad de potencia absorbida, S_{ab} (Wm^{-2})
Rango de frecuencias	100 kHz – 6 GHz		> 6 – 300 GHz
Región	Torso y cabeza	Extremidades	Local
Valor límite	2	4	20
Comentarios	<p>Promediado temporal: 6 minutos. El valor de SAR local es promediado en un cubo de 10 gr. de masa. El valor límite de $2\ W\ kg^{-1}$ es para exposición local en regiones como la cabeza y el torso. Para exposición en extremidades el valor límite es de $4\ W\ kg^{-1}$.</p>		<p>Promediado temporal: 6 minutos. La S_{ab} local es promediada espacialmente en: Una superficie de $4\ cm^2$ (> 6 GHz – 300 GHz) del cuerpo Una superficie de $1\ cm^2$ (> 30 GHz – 300 GHz). El límite aplicable para este promediado es el doble del especificado en la Tabla, es decir, $40\ Wm^{-2}$ Masa promedio de 10 gr.</p>

Cambios a exposiciones breves (< 6 minutos)

Un cambio introducido en la ICNIRP 2020, que tiene el potencial de fortalecer aún más la protección de la salud, se refiere a exposiciones breves, inferiores a 6 minutos, a los CEM-RF. Esto permite garantizar que el aumento transitorio de la temperatura quede restringido a un valor que no sea suficiente para causar dolor o afectar negativamente al tejido. Aunque ICNIRP 1998 tenía una restricción para los CEM-RF pulsados breves, alrededor de 50 ms, para la cabeza, los presentes cambios brindan protección para exposiciones de hasta 6 minutos y en todo el cuerpo. Las magnitudes utilizadas para

la medida de estas restricciones básicas son la SA (Specific Energy Density o Densidad de Energía Específica) para para la cabeza, torso y extremidades, y la U_{ab} (Absorbed Energy Density o Densidad de Energía Absorbida) para exposición local en todo el cuerpo.

La Tabla 6.5 proporciona un resumen de las restricciones básicas para exposición local a los CEM-RF, en el rango de frecuencias de 100 KHz a 300 GHz, para intervalos de exposición entre 0 y 6 minutos.

■ Tabla 6.5. Restricciones básicas para exposición a CEM-RF de 100 kHz a 300 GHz, para intervalos de promediado >0 a <6 minutos.

Parámetro	Exposición local		
	Absorción específica de energía SA (kJ kg^{-1})		Densidad de energía absorbida U_{ab} (kJm^{-2})
Rango de frecuencias.	> 400 MHz – 6000 MHz		> 6 – 300 GHz
Región del cuerpo	Cabeza y Torso	Extremidades	Local
Valor límite	$0,72[0,05+0,95 (t/360)^{0,5}]$	$1,44[0,025+0,975 (t/360)^{0,5}]$	$7,2[0,05+0,95 (t/360)^{0,5}]$
Comentarios.	<p>t: tiempo en segundos. Las restricciones deben cumplirse para todos los valores de t comprendidos entre > 0 y < 360 segundos, independientemente de las características temporales de la propia exposición.</p> <p>La Absorción Específica de Energía, SA, debe promediarse sobre una masa cúbica de 10 gramos.</p> <p>La Densidad de Energía Absorbida, U_{ab}, debe promediarse sobre una superficie cuadrada de 4 cm^2 del cuerpo. Para frecuencias > 30 GHz, se impone una restricción adicional, de forma que la exposición promediada sobre una superficie corporal cuadrada de 1 cm^2 se limita a $14,4 [0,025+0,975 (t/360)^{0,5}]$</p>		

6.1.3. Cambios técnicos en los niveles de referencia

Los niveles de referencia han sido obtenidos por la ICNIRP 2020 a partir de estudios computacionales y realización de medidas. Representan un medio práctico de comprobar el cumplimiento utilizando cantidades que son más fáciles de evaluar que las restricciones básicas y proporcionan un nivel equivalente de protección para condiciones en escenarios de máxima exposición.

ICNIRP señala que los niveles de referencia se basan en hipótesis conservadoras y que la mayoría de los niveles de referencia serán más conservadores que las correspondientes restricciones básicas.

Como se ha visto en las restricciones básicas, los niveles de referencia también se especifican para tiempos de promediado de las magnitudes de exposición para determinar si los niveles de exposición en un determinado lugar cumplen las directrices establecidas.

Para garantizar que los niveles de referencia predicen adecuadamente las restricciones básicas, se han establecido diferentes normas de evaluación de los niveles de referencia en función de si nos encontramos en la zona de campo lejano, en la zona de cercano radiante o en la zona de campo cercano reactivo. ICNIRP 2020, establece a título orientativo, que las distancias a una antena, superiores a $2D^2/\lambda$ (m), entre $\lambda/(2\pi)$ y $2D^2/\lambda$ (m), e inferiores a $\lambda/(2\pi)$ (m), corresponden, aproximadamente, a campo lejano, campo cercano radiante y campo cercano reactivo, donde D y λ se refieren a la dimensión mayor de la antena y a la longitud de onda, respectivamente, en metros.

No obstante, el propio ICNIRP 2020 considera que las aportaciones de los organismos de técnicos (ITU, IEC...) de normalización y estandarización de procedimientos de medida, deberían ser utilizadas para determinar cuál de los niveles de referencia de las zonas de campo lejano/cercano debe aplicarse a fin de proporcionar una concordancia adecuada entre los niveles de referencia y las restricciones básicas.

Tabla 6.6. Niveles de referencia para exposición, promediada durante 30 minutos y para todo el cuerpo, a CEM-RF de 30 MHz a 300 GHz.

Exposición al cuerpo entero			
Parámetro	Densidad de potencia incidente S_{inc} (Wm^{-2})		
Rango de frecuencias	> 30 – 400 MHz	> 400 – 2000 MHz	> 2 – 300 GHz
Valor límite	2	$f_M/200$	10
Comentarios	<p>f_M: frecuencia en MHz. Promediado temporal: 30 minutos. Promediado espacial: Una zona correspondiente a la superficie del cuerpo entero.</p> <p>Dentro de la zona de campo cercano reactivo, el cumplimiento se determinará sobre la base de la evaluación tanto del campo eléctrico E_{inc} (Vm^{-1}) como del campo magnético H_{inc} (Am^{-1}), en lugar de la densidad de potencia incidente S_{inc} (Wm^{-2}), utilizando los siguientes límites:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Frecuencias: 30 – 400 MHz; E_{lim} (Vm^{-1})=27,7 y H_{lim} (Am^{-1})=0,073 ▪ Frecuencias: 400 – 2000 MHz; E_{lim} =1,375 $f_M^{0.5}$ y H_{lim} =0,0037 $f_M^{0.5}$ ▪ Frecuencias > 2 GHz: El cumplimiento se determina usando las restricciones básicas. 		

Una importante modificación en las directrices de ICNIRP 2020 es que para cada restricción básica existe un nivel de referencia. En la práctica significa que ICNIRP 2020 incluye niveles de referencia para exposición tanto para el cuerpo entero como para exposición local, mientras que la ICNIRP 1998 sólo incluía niveles de referencia para todo el cuerpo.

Cambios en los niveles de referencia para exposición a todo el cuerpo

Los niveles de referencia para exposición a todo el cuerpo para frecuencias superiores a los 30 MHz se muestran en la Tabla 6.6.

Aunque no hay cambios en los valores de los niveles de referencia de la S_{inc} por encima de 400 MHz, entre las directrices de ICNIRP 1998 e ICNIRP 2020, sí los hay en las cantidades de campo E_{inc} y H_{inc} que se especifican, por debajo de los 30 MHz. Por encima de 2 GHz, ICNIRP 2020 sólo proporciona límites de densidad de potencia incidente (S_{inc}) y no límites de campo eléctrico (E_{inc}) o magnético (H_{inc}) equivalentes, mientras que en ICNIRP 1998 sí se proporcionaban.

La ICNIRP 2020 también establece que S_{eq} , (Plane-wave Equivalent Incident Power Density o Densidad de potencia equivalente de onda plana) puede utilizarse en lugar de S_{inc} (Incident Power Density o Densidad de potencia incidente) en campo lejano y para frecuencias de 30 MHz a 300 GHz, que coinciden en estas condiciones.

Tabla 6.7. Niveles de referencia para exposición local, promediada durante 6 minutos, a CEM-RF de 30 MHz a 300 GHz.

Exposición local					
Parámetro	Densidad de potencia incidente S_{inc} ($W m^{-2}$)				
Frecuencias	> 30 – 400 MHz	> 400 – 2000 MHz	> 2 – 6 GHz	> 6 – 300 GHz	> 300 GHz
Valor límite	10	$0,058f_M^{0,86}$	40	$55/f_G^{0,177}$	20
Comentarios	<p>f_M: frecuencia en MHz y f_G: frecuencia en GHz.</p> <p>Promediado temporal: 6 minutos.</p> <p>La densidad de potencia incidente S_{inc} local es promediada espacialmente, dentro de la zona de campo lejano, en:</p> <p>Una superficie de 4 cm² (> 6 – 300 GHz.)</p> <p>Una superficie de 1 cm² (> 30 – 300 GHz). El límite para este promediado es el doble del especificado para 4 cm².</p> <p>En la zona de campo cercano reactivo, el cumplimiento se determinará sobre la base de la evaluación, tanto del campo eléctrico $E_{(inc)}$ ($V m^{-1}$) como del campo magnético (H_{inc} ($A m^{-1}$), en lugar de la densidad de potencia incidente (S_{inc} ($W m^{-2}$), basada en los siguientes límites:</p> <p>Frecuencias: 30 – 400 MHz; $E_{(lim.)}$ ($V m^{-1}$)=62 y $H_{(lim.)}$ ($A m^{-1}$)=0,163</p> <p>Frecuencias: 400 – 2000 MHz; $E_{(lim.)}$=4,72 $f_M^{0,43}$ y $H_{(lim.)}$=0,0123 $f_M^{0,43}$</p> <p>Frecuencias > 2 GHz., el cumplimiento se determina usando las restricciones básicas.</p>				

En general, ICNIRP 2020 no introduce cambios de importancia, para las redes móviles, con respecto a la ICNIRP 1998 en lo que a valores límites de los niveles de referencia se refiere. Sin embargo, la ampliación de la banda de frecuencias para el cumplimiento de las restricciones básicas y los nuevos límites de exposición local pueden tener implicaciones prácticas en algunas situaciones de exposición, por ejemplo, el cumplimiento de los niveles de exposición de las small cells.

Cambios en los niveles de referencia para exposición local

Como se ha indicado anteriormente, una de las principales novedades de las directrices de ICNIRP 2020, es la inclusión de niveles de referencia para exposición local. Estos niveles se muestran, para frecuencias superiores a 30 MHz, en la Tabla 6.7.

En todo el margen de frecuencias considerado el tiempo medio de promediado es de 6 minutos, el mismo que para las restricciones básicas para exposición local. Para frecuencias superiores a 6 GHz el área de promediado es de 4 cm², con la restricción adicional de que, por encima de 30 GHz, la exposición sobre 1 cm² no debe exceder el doble de la restricción para 4 cm².

Cambios en los niveles de referencia para exposiciones breves (< 6 minutos).

Los detalles de los cambios de nivel de referencia relativos a exposiciones breves de menos de 6 minutos se recogen en la Tabla 6.8.

Tabla 6.8. Niveles de referencia para exposición local, promediada en intervalos de entre >0 y < 6 minutos, a CEM-RF de 400 MHz a 300 GHz.

Exposición local	
Rango de frecuencias	Densidad de energía incidente
> 400 – 2000 MHz	$0,058 f_M^{0,86} * 0,36 [0,05 + 0,95 (t/360)^{0,5}]$
> 2 – 6 GHz	$40 * 0,36 [0,05 + 0,95 (t/360)^{0,5}]$
> 6 – 300 GHz	$55 / (f_G^{0,177}) * 0,36 [0,05 + 0,95 (t/360)^{0,5}]$
> 300 GHz	$20 * 0,36 [0,05 + 0,95 (t/360)^{0,5}]$
Comentarios	<p>f_M: frecuencia en MHz y f_G: frecuencia en GHz.</p> <p>t es el intervalo de tiempo en segundos, de modo que la exposición debida a cualquier pulso, grupo o subgrupo de pulsos de un tren, así como la suma de las exposiciones (incluidos los CEM-RF no pulsados), en t segundos, no debe superar los valores de los niveles de referencia</p> <p>Para frecuencias > 400 – 6 GHz, dentro de la zona de campo lejano y de campo cercano radiante, se ha promediado en el espacio proyectado para todo el cuerpo. Dentro de la zona de campo cercano reactivo, los niveles de referencia no pueden utilizarse y deben evaluarse las restricciones básicas.</p> <p>Para frecuencias > 6 – 300 GHz: Dentro de la zona de campo lejano y de campo cercano radiante se ha promediado sobre un espacio cuadrado de 4 cm² de superficie corporal. Dentro de la zona de campo cercano reactivo, los niveles de referencia no pueden utilizarse y deben evaluarse las restricciones básicas.</p> <p>Para frecuencias > 30 – 300 GHz, se impone una restricción adicional, de forma que la exposición promediada sobre una superficie corporal cuadrada de 1 cm² se limita a $55 / (f_G^{0,177}) * 0,72 [0,025 + 0,975 (t/360)^{0,5}]$</p>

6.1.4. Exposición a múltiples fuentes

ICNIRP 2020, al igual que ICNIRP 1998, también dedica un apartado a la exposición simultánea a campos electromagnéticos de RF procedentes de múltiples fuentes, es decir, de emplazamientos en los que pueden existir múltiples sistemas de comunicaciones (GSM, LTE, 5G...) y trabajan a diferentes frecuencias. Caso por otra parte habitual en el despliegue actual de los sistemas de comunicaciones.

A este respecto señala que es importante determinar si, en estos casos, es decir, en situaciones de exposición simultánea a campos de frecuencias diferentes, estas exposiciones son aditivas en sus efectos. La “aditividad” debe examinarse por separado para los efectos de la estimulación térmica y eléctrica, y las restricciones deben cumplirse después de tener en cuenta dicha “aditividad”. Para evaluar la exposición en estos casos, ICNIRP 2020, propone una serie de fórmulas prácticas que se aplican a las diferentes frecuencias en las que trabajan los sistemas de comunicaciones en situaciones prácticas de exposición.

Como las fórmulas propuestas para la suma de los diferentes niveles de referencia presentados en las tablas anteriores suponen las peores condiciones posibles entre los campos de múltiples fuentes, las situaciones de exposición típicas pueden dar lugar, en la práctica, a niveles de exposición inferiores a los indicados por las fórmulas para los niveles de referencia. Las fórmulas se proponen tanto para las restricciones básicas como para los niveles de referencia, para intervalos de exposición superiores e inferiores a 6 minutos y para el cuerpo entero y exposición local. Hay que señalar que ICNIRP 1998 también presentaba una serie de fórmulas, sin embargo, la diferencia fundamental entre unas y otras, radica en las bandas de frecuencias de aplicación y en los niveles de referencia, para exposición local y al cuerpo entero que deben utilizarse.

Indicar las siguientes cuestiones que señala ICNIRP. En cuanto a los niveles de referencia, el mayor cociente entre la intensidad de campo eléctrico, la intensidad de campo magnético o la densidad de potencia, y los correspondientes valores de los niveles de referencia de referencia correspondientes, deberá ser evaluada para demostrar el cumplimiento. Los niveles de referencia se definen en términos de magnitudes físicas y tienen valores diferentes para distintas frecuencias. Por ejemplo, las intensidades de campo se utilizan por debajo de 30 MHz, mientras que tanto la intensidad de campo como la densidad de potencia incidente son aplicables de 30 MHz a 2 GHz. Cuando la exposición incluye componentes de frecuencia por debajo y por encima de las frecuencias de transición consideradas en las fórmulas, debe utilizarse la “aditividad” para tener en cuenta este efecto.

El mismo principio se aplica a las restricciones básicas. Los valores de campo que se introducen en las ecuaciones propuestas por la ICNIRP deben derivarse utilizando las mismas restricciones espaciales y temporales a las que se hace referencia en las tablas de restricciones básicas y de niveles de referencia. Para cumplir las directrices, los valores sumados en cada una de las ecuaciones presentadas por la ICNIRP deben ser inferiores a 1. Se aconseja consultar las directrices ICNIRP para una mejor comprensión de los párrafos anteriores. No obstante, y sin menoscabo de lo comentado y para una mejor comprensión, se reproduce la fórmula propuesta por ICNIRP, y que debería aplicarse para determinar el cumplimiento a la exposición a CEM-RF para el caso de exposición a fuentes de frecuencia diferente, exposición para todo el cuerpo para intervalos superiores a 6 minutos y público general, utilizando los valores de referencia.

En este caso, los valores de intensidad de campo eléctrico incidente, intensidad de campo magnético incidente y densidad de potencia incidente deben calcularse de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{30 \text{ MHz}} \left\{ \left(\frac{E_{inc,i}}{E_{inc,RL,i}} \right)^2 + \left(\frac{H_{inc,i}}{H_{inc,RL,i}} \right)^2 \right\} + \sum_{\substack{i > 30 \text{ MHz} \\ 300 \text{ GHz}}}^{2 \text{ GHz}} \text{MAX} \left\{ \left(\frac{E_{inc,i}}{E_{inc,RL,i}} \right)^2, \left(\frac{H_{inc,i}}{H_{inc,RL,i}} \right)^2, \left(\frac{S_{inc,i}}{S_{inc,RL,i}} \right) \right\} + \sum_{i > 2 \text{ GHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{S_{inc,i}}{S_{inc,RL,i}} \right) \leq 1$$

donde $E_{(inc,i)}$ y $E_{(inc,RL,i)}$ representan la intensidad de campo eléctrico incidente media, medida para todo el cuerpo, y el nivel de referencia de la intensidad de campo eléctrico incidente media en todo el cuerpo que figuran en la Tabla 6.6, a la frecuencia i , respectivamente. $H_{(inc,i)}$ y $H_{(inc,RL,i)}$ representan la intensidad de campo magnético incidente media, medida en todo el cuerpo y el nivel de referencia de la intensidad de campo magnético incidente medio de todo el cuerpo que figuran en la Tabla 6.6, a la frecuencia i , respectivamente. $S_{(inc,i)}$ y $S_{(inc,RL,i)}$ representan la densidad de potencia incidente media, medida en todo el cuerpo, y el nivel de referencia de la densidad de potencia incidente media de todo el cuerpo que figuran en la Tabla 6.5, a la frecuencia i , respectivamente. Señalar, por último, que el segundo término de la ecuación anterior, no es adecuado utilizarlo para la zona de campo cercano reactivo, por lo que no puede usarse en la ecuación.

6.1.6. Conclusiones

Existen una serie de diferencias entre las directrices ICNIRP 2020 e ICNIRP 1998. Los principales cambios están relacionados con la exposición a los CEM-RF por encima de 6 GHz, y tienen en cuenta los avances tecnológicos producidos en los sistemas de comunicaciones, y en concreto, con la 5G. Incluyen restricciones adicionales para garantizar que las exposiciones a todo el cuerpo y las exposiciones locales breves (< 6 minutos) no den lugar a exposiciones excesivas. Por encima de la frecuencia de 6 GHz también se ha reducido el área de promedio para la exposición local en un factor de 5.

Esto reduce la exposición máxima de una persona en relación con las restricciones de ICNIRP 1998. Otros cambios menores de las directrices para exposición a campos electromagnéticos incluyen medios adicionales para evaluar el cumplimiento de estas y una mayor especificación de cómo evaluar escenarios de exposición complejos. En concreto, los niveles de referencia y las restricciones básicas se especifican para exposición local y exposición al cuerpo entero. Un resumen de las restricciones básicas aplicables al público en general y en las frecuencias que operan los sistemas de comunicaciones móviles e inalámbricos actuales, se han proporcionado en las Tablas 6.3 y 6.4. Los correspondientes niveles de referencia se han presentado en las Tablas 6.6 y 6.7.

Tabla 6.9. Comparativa entre los niveles de referencia aplicables al público en general según ICNIRP 2020 y ICNIRP 1998 para frecuencias superiores a 400 MHz.

	ICNIRP 1998	ICNIRP 2020
Exposición en todo el cuerpo para frecuencias <10 GHz.	Se aplican los mismos valores límites de densidad de potencia S_{inc} (Wm^{-2}) e intensidad de campo eléctrico $E_{(inc)}$ (Vm^{-1}). Para frecuencias superiores a 2 GHz, ICNIRP 2020 utiliza solo la densidad de potencia incidente como nivel de referencia y no especifica valores límites para la intensidad del campo eléctrico y del campo magnético.	
Exposición en todo el cuerpo para frecuencias >10 GHz.	Se aplican los mismos límites de densidad de potencia incidente S_{inc} (Wm^{-2}), pero en la ICNIRP 2020 se proporciona una mayor especificación sobre el área promedio aplicable.	
	Según las restricciones básicas ICNIRP 1998, la densidad de potencia incidente es promediada sobre cualquier superficie de 20 m ² del área de exposición.	Según la ICNIRP 2020, la densidad de potencia incidente es promediada sobre un área correspondiente a la superficie del cuerpo entero.
Exposición local	No hay niveles específicos para exposición local. El cumplimiento de la exposición local cuando se utilizan los niveles de referencia ICNIRP 1998 se establece aplicando los niveles de referencia para cuerpo entero como valores de pico	Proporciona niveles de referencia específicos para la exposición local, que son mayores que los que se proporcionan para el cuerpo entero.
Tiempo promedio de exposición para cuerpo entero	6 minutos o menos, dependiendo de la frecuencia	Fijado en 30 minutos hasta 300 GHz.
Tiempo promedio exposición local	6 minutos o menos, dependiendo de la frecuencia	Fijado en 60 minutos hasta 300 GHz
Aplicabilidad de los niveles de referencia en campo cercano reactivo	La contribución de los campos E y H se debe considerar por separado	Para frecuencias superiores a 2 GHz los niveles de referencia no se aplican. La evaluación a la exposición se basa en las restricciones básicas

ICNIRP 2020 también proporciona restricciones básicas y niveles de referencia aplicables a la “exposición breve”, es decir, a la “exposición a cualquier pulso, grupo o subgrupo de pulsos en un tren de estos, así como a la suma de exposiciones (incluidos los EMF no pulsados), proporcionados en t segundos ($t < 6$ minutos)”. Lo citados límites son sólo aplicables para exposición local, véase la Tabla 6.3. Las tablas incluidas en este capítulo se han adjuntado para una mayor comodidad, conveniencia y fácil lectura, pero las que figuran en el documento de la ICNIRP 2020, deben utilizarse como una referencia más exhaustiva y rigurosa.

El cumplimiento de los niveles de exposición a CEM-RF en las proximidades de las estaciones base de telefonía móvil se evalúa, normalmente, mediante los niveles de referencia, ya que el uso de las restricciones básicas, a menudo, es poco práctico. Las principales diferencias en los niveles de referencia especificados por ICNIRP 2020 en comparación con ICNIRP 1998 se enumeran y resumen en la Tabla 6.9, en donde sólo se han considerado, para realizar este estudio comparativo, frecuencias superiores a 400 MHz, que es en las bandas de frecuencia en donde se sitúan la mayoría de los sistemas de comunicaciones móviles.

- Por debajo de 10 GHz, los valores límite de la densidad de potencia e intensidad de campo incidente ICNIRP 2020 aplicables para exposición a todo el cuerpo, es decir, promediados espacialmente sobre un área correspondiente a la superficie del cuerpo, son los mismos que los proporcionados por ICNIRP 1998. ICNIRP 1998 no proporciona niveles de referencia específicos para la exposición local, pero los niveles de referencia de todo el cuerpo se pueden aplicar como valores de pico espacial cuando sea necesario evaluar el cumplimiento para exposiciones parciales en el cuerpo. ICNIRP 2020 introduce niveles de referencia adicionales para la exposición local que son más altos que los aplicables a todo el cuerpo (por ejemplo, por un factor de 4 entre 2 y 6 GHz). Por lo tanto, los niveles de referencia para la exposición local en ICNIRP 2020 son mayores que los utilizados en la ICNIRP 1998.
- Por encima de 10 GHz, ICNIRP 1998 especifica los límites en términos de densidad de potencia incidente promediada en 20 cm². Los mismos valores límite de densidad de potencia son proporcionados por la ICNIRP 2020 para los niveles de referencia de exposición de cuerpo entero, sin embargo, deben ser promediados sobre un área correspondiente a la superficie de todo el cuerpo (mucho mayor que la de 20 cm²). Al mismo tiempo, se introducen niveles de referencia para la exposición local y se promedian sobre un área más pequeña, en concreto 4 cm² (por encima de 30 GHz, se consideran áreas de promediado de 4 y 1 cm²; para ésta última, los valores límite de densidad de potencia correspondientes deben duplicarse). Los límites de la densidad de potencia incidente para exposición local son más altos que los de todo el cuerpo también en este rango de frecuencia (por ejemplo, aproximadamente un factor de 3 a 30 GHz).
- El tiempo de promediado en ICNIRP 1998, tanto para cuerpo entero como para exposición local, era de 6 minutos o menos dependiendo de la frecuencia. En ICNIRP 2020, el tiempo de promediado correspondiente a la exposición local es de 6 minutos. La revisión ICNIRP de 2020 especifica que el intervalo de tiempo promedio para la medición de la exposición de todo el cuerpo corresponde ahora a 30 minutos en todo el rango de frecuencias, justificándose por el tiempo que se puede tardar en alcanzar una temperatura permanente en relación con las restricciones básicas. Sin embargo, ICNIRP 2020 indica que esta duración de tiempo promedio no debe confundirse con los tiempos de medición efectivamente necesarios para calcular con precisión las intensidades de campo o para evaluar otros indicadores de exposición a radiaciones. También ICNIRP 2020 indica que, basándose en las recomendaciones proporcionadas por los organismos encargados de definir los estándares técnicos, es posible que los tiempos de medición prácticos resulten ser inferiores a los intervalos de promediado estipulados por ICNIRP 2020. Este es un tema abierto en el que se están realizando estudios para justificar posibles reducciones en los tiempos de medida en función de configuraciones, entornos y tecnologías, objeto de evaluación de sus emisiones.
- En la región de campo cercano reactivo y en frecuencias superiores a 2 GHz, los niveles de referencia no se pueden utilizar y el cumplimiento con las directrices de ICNIRP 2020 debe evaluarse mediante las restricciones básicas.

Las directrices de ICNIRP 2020, como las correspondientes a ICNIRP 2020, diferencian entre individuos expuestos ocupacionalmente y el público en general. Los límites para la exposición ocupacional pueden derivarse de aquellos aplicables al público en general escalándolos por un factor de 5.

6.2. Niveles de exposición, recomendaciones y normativa para trabajadores

En España, la regulación sobre emisiones radioeléctricas parte del vigente Real Decreto 1066/2001, donde se aprobó el Reglamento que establece las restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.

El organismo competente en el seguimiento de la aplicación del vigente RD 1066/2001 corresponde a la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones e Infraestructuras Digitales del Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. Se trata de una regulación en el ámbito de la instalación de estaciones radioeléctricas y las restricciones regulatorias obligan a limitar, y señalar en su caso, el acceso a zonas adyacentes a la estación donde los niveles de referencia puedan superar los máximos establecidos en el RD 1066/2001. Para el cumplimiento práctico de esta normativa hay que referirse a la Orden CTE/23/2002 y al Real Decreto 123/2017, que establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores, y cuyo procedimiento (basado en parámetros de equipos, cálculos o medidas) es dependiente del tipo de estación en función de localización y potencia.

En este caso, la verificación del cumplimiento de las restricciones regulatorias se realiza por técnicos competentes en materia de Telecomunicación, siendo el último responsable de su cumplimiento el operador de la estación.

El RD 1066/2001 establece los valores máximos de 2 tipos de parámetros:

1. Las restricciones básicas: parámetros basados directamente en los efectos sobre la salud conocidos y en consideraciones biológicas.
2. Los niveles de referencia: variables físicas para evaluar la exposición de forma práctica y poder determinar la probabilidad de que se sobrepasen las restricciones básicas.

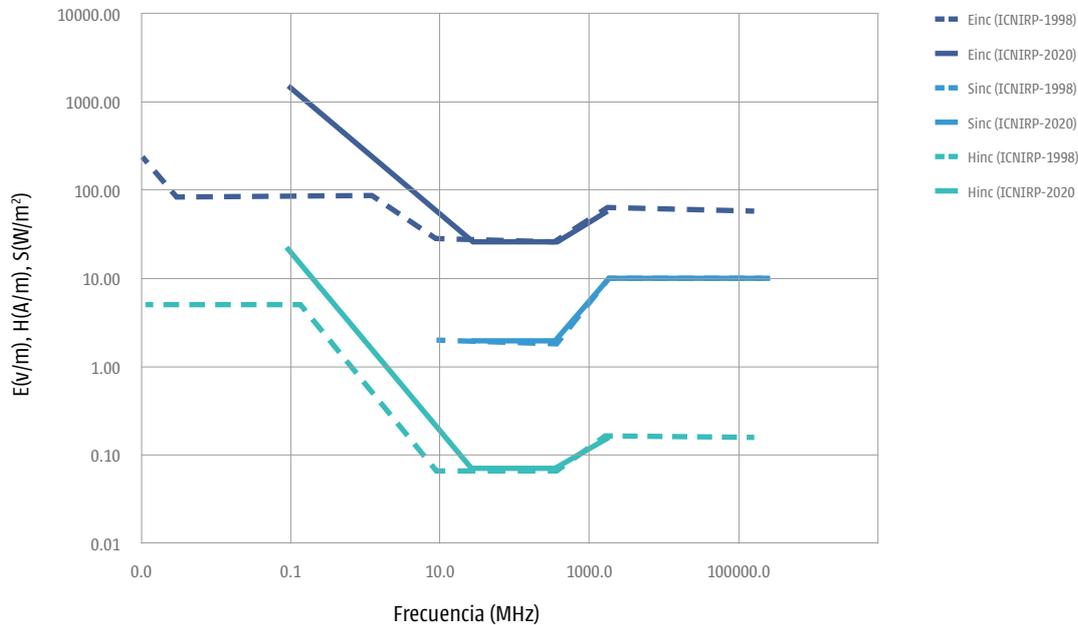
Dichos valores máximos corresponden a una trasposición de las recomendaciones de ICNIRP (Comisión Internacional de Protección Contra Radiaciones No Ionizantes), en particular de ICNIRP-1998, también adoptados en 1999 como Recomendación del Consejo de la Unión Europea.

El Reglamento aprobado en este RD 1066/2001 se establecen valores máximos según bandas de frecuencia, fuentes individuales o múltiples, e indicaciones sobre tiempo de medida y localización de la medida. Los tiempos de medida están siendo reevaluados y se ha planteado la posibilidad de establecer 30 minutos en vez de 6 minutos, pero aproximaciones a este nuevo planteamiento no muestran diferencias significativas.

Si bien en las recomendaciones de ICNIRP 1998 se establece una diferenciación de valores máximos según se trate de trabajadores expuestos de forma puntual a emisiones electromagnéticas o de público en general, en nuestro RD 1066/2001 no se hace dicha diferenciación y los límites listados se corresponden a los de público general de la ICNIRP 1998, indicándose en el Reglamento que los límites son los resultantes de aplicar las restricciones básicas y los niveles de referencia en zonas en las que pueda permanecer habitualmente el público en general, sin perjuicio de lo establecido en otras disposiciones específicas en el ámbito.

ICNIRP ha revisado sus recomendaciones que afectan a las bandas de radiofrecuencia, realizando algunos cambios en los límites recomendados, siendo la última versión la de ICNIRP-2020. En la Figura 6.1 se reflejan los cambios en niveles de referencia establecidos comparando ambas versiones, donde se observa un ligero incremento de los límites recomendados en el rango espectral bajo de radiofrecuencia para campo eléctrico y magnético.

Figura 6.1. Comparación de niveles de referencia (intensidad de campo eléctrico, densidad de potencia e intensidad de campo magnético) en ICNIRP-1998 e ICNIRP-2020. Cuerpo entero. Público general. Promedio de 6 min (ICNIRP 1998) y 30 min (ICNIRP 2020).

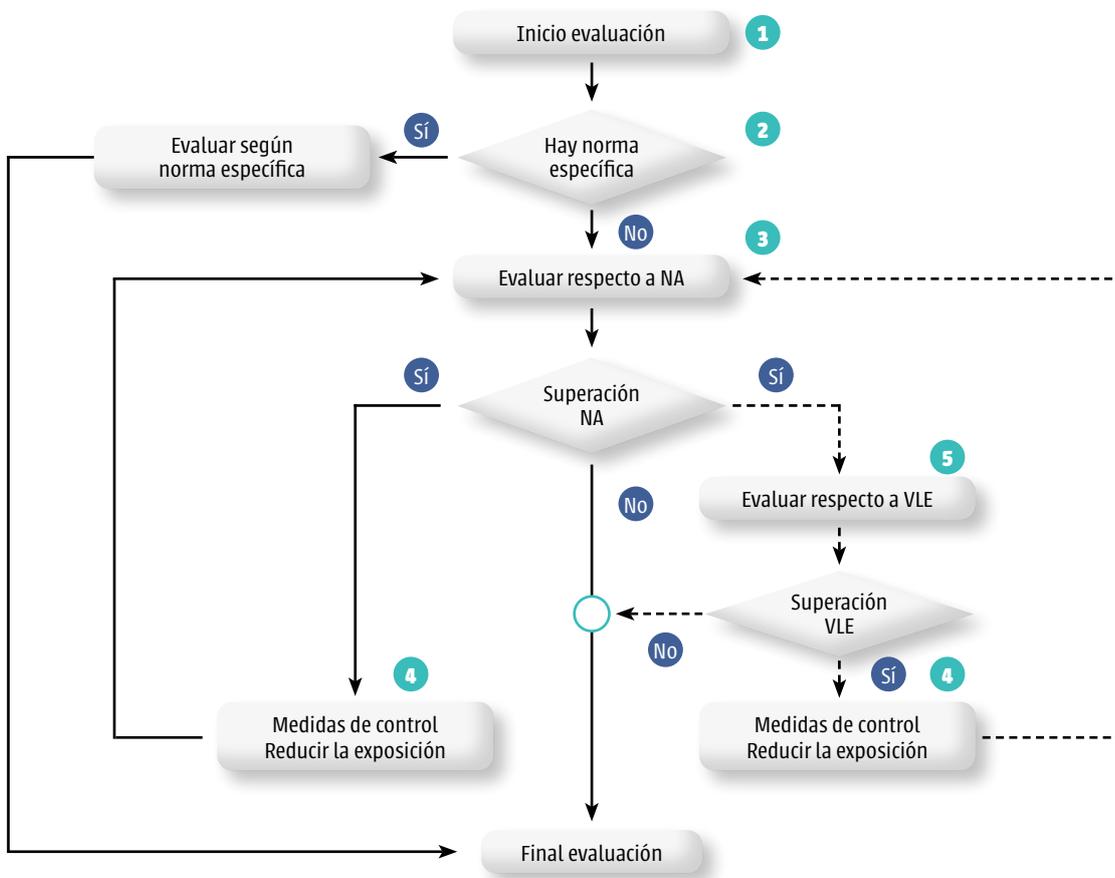


Por otro lado, y **desde el punto de vista de seguridad laboral**, nos encontramos con la Directiva 2004/40/CE que establecía las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (campos electromagnéticos), que estaba pendiente de transposición a la regulación española y que, finalmente, fue derogada y sustituida por la publicada Directiva 2013/35/UE, que finalmente fue transpuesta mediante el RD 299/2016. El organismo competente de esta regulación es el Ministerio de Trabajo y Economía Social, quien, para su aplicación práctica, encomienda al Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), dependiente de la Secretaría de Estado de Empleo y Economía Social, la elaboración y mantenimiento actualizado de una Guía técnica (Guía del INSST), de carácter no vinculante, para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos (CEM) en los lugares de trabajo. Esta Guía, pretende facilitar la aplicación y comprensión del citado real decreto, fundamentalmente en los aspectos relacionados con la evaluación de la exposición y buena parte de su contenido está basado en la Guía no vinculante (Guía europea) de buenas prácticas para la aplicación de la Directiva 2013/35/UE.

En este caso, quien se encarga de la evaluación del cumplimiento deberá ser personal cualificado para el desempeño de funciones de nivel superior con la especialidad de higiene industrial integrados en el servicio de prevención de la compañía o bien externo (siendo recomendable, según indica la guía, que, por la complejidad de los criterios de referencia, tuviera conocimientos específicos en esta materia), siendo el último responsable de su aplicación el propietario o titular del centro de trabajo.

Conviene hacer constar que la normativa de protección de los trabajadores lo hace sobre los riesgos debidos a los efectos biofísicos directos conocidos y a los efectos indirectos causados por los campos electromagnéticos. Tal como se indica en el RD 299/2016, “la norma no aborda los posibles efectos a largo plazo, ya que actualmente no existen datos científicos comprobados que establezcan un nexo causal, ni los riesgos derivados del contacto con conductores en tensión”. Tal como se especifica en la Guía del INSST, se excluye cualquier exposición a campos electromagnéticos que no se derive de una actividad laboral.

Figura 6.2. Metodología general para la evaluación de la exposición a CEM, según Guía INSST para aplicación del RD 299/2016.



De una forma paralela al RD 1066/2001, el RD 299/2016 define 2 tipos de límites que, a su vez quedan especificados en otros derivados:

1. Valores límite de exposición (VLE): los valores que se han establecido a partir de consideraciones biofísicas y biológicas.

- VLE relacionados con efectos para la salud (VLEsalud): aquellos VLE por encima de los cuales los trabajadores pueden sufrir efectos adversos para la salud.
- VLE relacionados con efectos sensoriales (VLEsensoriales): aquellos VLE por encima de los cuales los trabajadores pueden estar sometidos a trastornos transitorios de las percepciones sensoriales y a pequeños cambios en las funciones cerebrales.

2. Niveles de acción (NA): los niveles operativos establecidos para simplificar la demostración del cumplimiento de los VLE correspondientes o, en su caso, para tomar las medidas de protección o prevención establecidas en el presente real decreto. En el caso de efectos sensoriales en el rango de 1 Hz a 10 MHz, se dividen a su vez en:
- NA inferiores: medidas específicas de protección para campo eléctrico NA(E)inf, VLE relacionados con efectos sensoriales para campo magnético NA(B)inf.
 - NA superiores: medidas específicas de prevención para campo eléctrico NA(E)sup, VLE relacionados con efectos para la salud para campo magnético NA(B)sup.

El empresario garantizará que la exposición de los trabajadores a campos electromagnéticos no supere ni los VLE relacionados con efectos para la salud ni los VLE relacionados con efectos sensoriales. Cuando se demuestre que no se superan los NA correspondientes se considerará que el empresario cumple con los VLE relacionados con efectos para la salud y con los VLE relacionados con efectos sensoriales. Si la exposición supera los NA, el empresario tomará medidas para reducir la exposición, a menos que la evaluación realizada demuestre que no se superan los VLE correspondientes y puedan descartarse riesgos para la seguridad, ya que los NA se obtienen suponiendo las condiciones de exposición más desfavorables. La normativa permite superar los VLE sensoriales en algunas situaciones relacionadas con una baja temporalidad de exposición.

Para la evaluación se utilizará de forma prioritaria en datos suministrados por fabricantes o bases públicas de emisión de equipos o instalaciones y, solamente cuando no se disponga de esta información, se recurrirá a mediciones o cálculos.

En la Figura 6.2, se representa el esquema de la metodología general para la evaluación de la exposición a CEM, según Guía INSST para aplicación del RD 299/2016.

Para realizar la evaluación, el empresario identificará y evaluará los campos electromagnéticos en el lugar de trabajo, conforme a lo indicado en la “Guía Europea” que se basa en la Recomendación 1999/519/CE que, a su vez, se basa en las Recomendaciones de ICNIRP 1998 que son la base de nuestra vigente normativa del RD 1066/2001.

Así pues, desde el punto de vista técnico de parámetros a evaluar y límites, existe un paralelismo y una convergencia entre la normativa sobre emisiones electromagnéticas en el ámbito de la instalación de estaciones radioeléctricas y la normativa de seguridad laboral relacionada con los campos electromagnéticos.

Este paralelismo se analizará más adelante mediante estudio específico comparativo de los límites o valores máximos de los parámetros definidos en ambas normativas, la de instalaciones de estaciones radioeléctricas y la seguridad laboral sobre CEM.

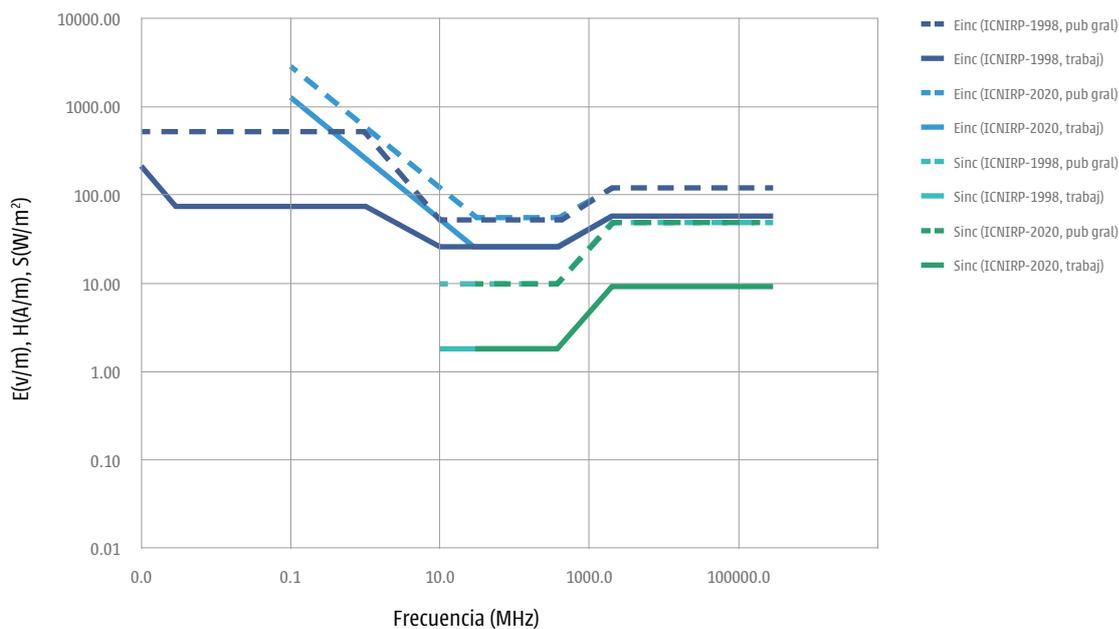
Como elementos específicos de la regulación laboral sobre CEM habría que añadir:

Que la Guía del INSST indica que “en la actualidad no existen equipos de protección individual (EPI) certificados para la protección frente a campos electromagnéticos en base al Reglamento UE 2016/425 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2016, relativo a los equipos de protección individual”.

- Que para el caso de los trabajadores especialmente sensibles el empresario adaptará las medidas de protección a las necesidades de los trabajadores especialmente sensibles. En particular, en relación con las trabajadoras embarazadas cuyo estado gestacional sea conocido por el empresario o los trabajadores que hayan declarado que llevan dispositi-

vos médicos implantados activos o pasivos, como marcapasos cardíacos, o que lleven otros dispositivos médicos en el cuerpo, como por ejemplo bombas de insulina. El especialista en Medicina del Trabajo del Servicio de Prevención deberá proponer al empresario medidas de prevención ajustadas a cada uno de los trabajadores que presenten riesgos particulares.

Figura 6.3. Comparación de niveles de referencia (intensidad de campo eléctrico, densidad de potencia e intensidad de campo magnético) en ICNIRP-1998 e ICNIRP-2020 tanto para público general como para trabajadores. Cuerpo entero. Promedio de 6 min (ICNIRP-1998) y 30 min (ICNIRP-2020).

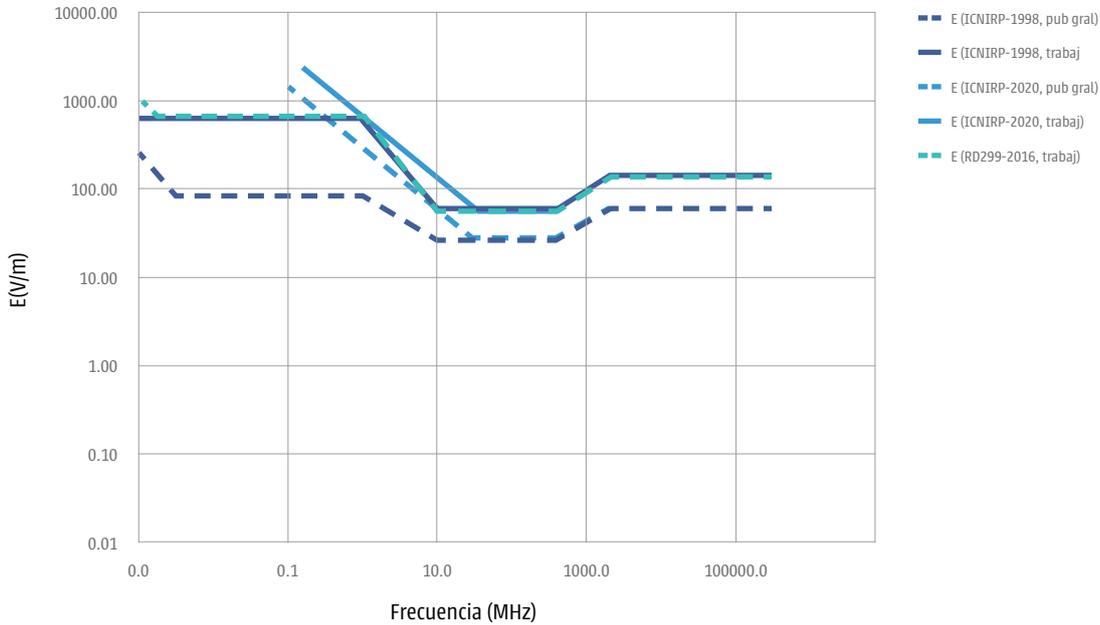


- Que la exposición podrá superar los valores límite de exposición si está relacionada con la instalación, el ensayo, el uso, el desarrollo, el mantenimiento o la investigación de equipos de imagen por resonancia magnética (IRM) para pacientes en el ámbito sanitario, siempre que se hayan aplicado todas las medidas técnicas y/o de organización, que las circunstancias justifiquen debidamente la superación de los valores límite de exposición, que se hayan tenido en cuenta las características del lugar de trabajo, del equipo de trabajo o las prácticas de trabajo, y que el empresario demuestre que los trabajadores siguen estando protegidos contra los efectos adversos para la salud y contra los riesgos para la seguridad, en particular asegurándose de que se siguen las instrucciones de uso seguro facilitadas por el fabricante de conformidad con la normativa aplicable.

Otro elemento a tener en cuenta en el ámbito laboral, pero también de forma general, es el que los fabricantes de equipos eléctricos y electrónicos deberán cumplir el Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de equipos eléctricos y electrónicos con el fin de evitar perturbaciones que puedan alterar el funcionamiento normal de dichos equipos o de otras máquinas o equipos que se hallen en las proximidades y puedan verse afectados por las emisiones de campos electromagnéticos.

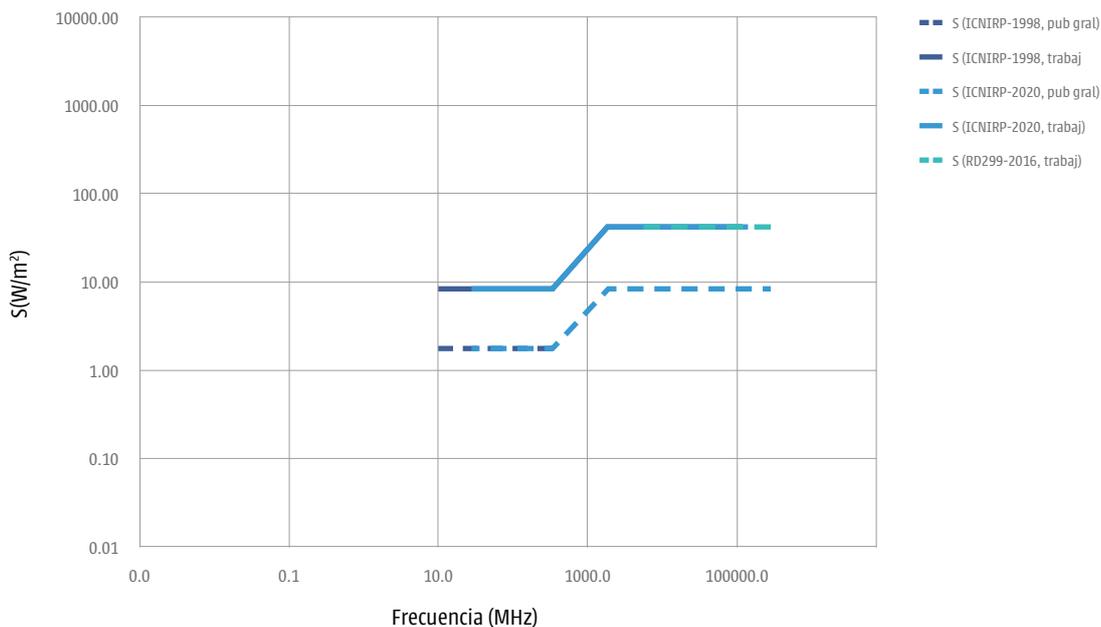
Para los equipos radioeléctricos la norma antes citada impone niveles más estrictos que los fijados para los trabajadores. Por ello, si los equipos eléctricos y electrónicos presentes en el puesto de trabajo satisfacen las exigencias de la normativa industrial en términos de compatibilidad electromagnética, en consecuencia, también cumplirán los valores límite del RD 299/2016.

Figura 6.4. Comparación de niveles de referencia (ICNIRP-1998, ICNIRP-2020) y niveles de acción (RD 299/2016) de la intensidad de campo eléctrico. Cuerpo entero.



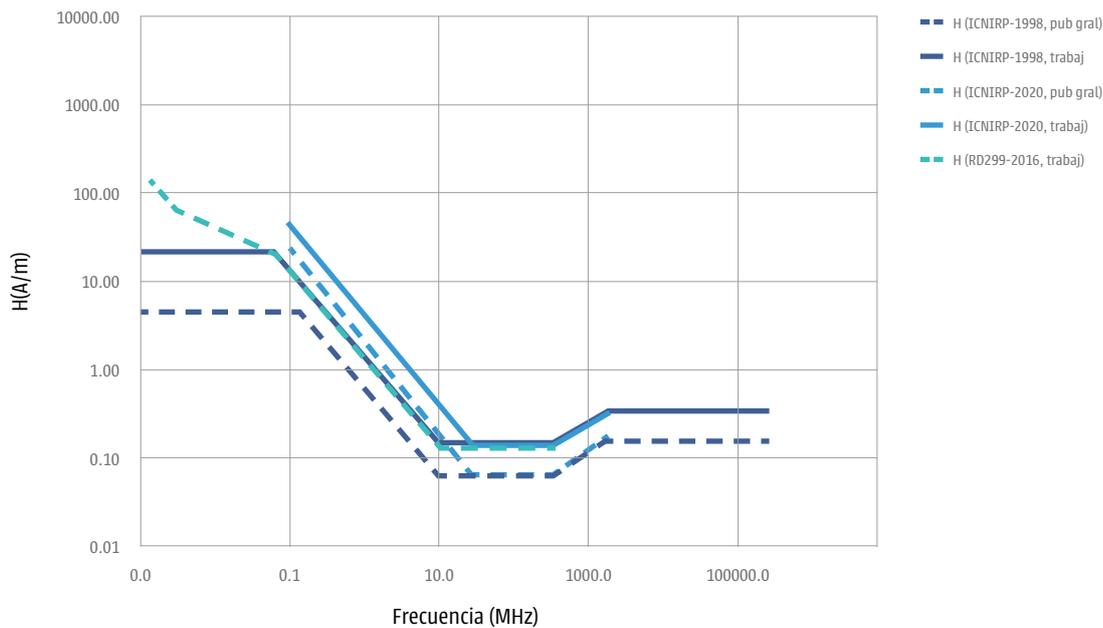
Por último, hay que indicar que, como los valores máximos definidos para público general de ICNIRP siempre van a ser más restrictivos (inferiores) a los definidos para trabajadores, el cumplimiento de la normativa genérica para estaciones radioeléctricas (RD 1066/2001) debería garantizar en todo caso el cumplimiento de la normativa laboral en el ámbito de exposición a CEM. Los valores máximos más elevados en el caso ocupacional o de trabajadores respecto al de público general se puede observar directamente en los niveles de referencia comparativos de trabajadores y público general establecidos tanto en la versión ICNIRP-1998 como en ICNIRP-2020, tal como se representa en la Figura 6.3.

Figura 6.5. Comparación de niveles de referencia (ICNIRP-1998, ICNIRP-2020) y niveles de acción (RD 299/2016) de la densidad de potencia. Cuerpo entero.



Para la justificación de la correlación de ambas normativas (instalaciones de estaciones radioeléctricas y la seguridad laboral sobre CEM) se procede a continuación a realizar un estudio comparativo detallado de los valores máximos definidos en ambas normativas sobre los parámetros recopilados en la Tabla 6.10. Todas las figuras de niveles de referencia y niveles de acción en esta sección vienen dadas en términos de valor cuadrático medio (rms).

Figura 6.6. Comparación de niveles de referencia (ICNIRP-1998, ICNIRP-2020) y niveles de acción (RD 299/2016) de la intensidad de campo magnético. Cuerpo entero.



En las Figuras 6.4, 6.5 y 6.6 se representa la comparativa entre los niveles de referencia (ICNIRP-1998, ICNIRP-2020) y niveles de acción (RD 299/2016) de los diferentes parámetros (campo eléctrico, densidad de potencia y campo magnético) en las bandas de radiofrecuencia, considerando exposición a cuerpo entero.

De la observación de dichas gráficas se observa la congruencia de ambas normativas en lo referente a trabajadores, ajustándose los niveles de acción de la normativa de seguridad laboral (RD 299/2016) a los niveles de referencia de ICNIRP-1998 en los que se basan los establecidos en la actual normativa vigente española sobre instalación de estaciones radioeléctricas (RD 1066/2001).

6.3. Revisión dictamen SCHEER 2022

A raíz de la publicación de las directrices de la ICNIRP 2020, se ha considerado conveniente incluir la siguiente información relativa a las recomendaciones del último documento del Comité Científico para los Riesgos Sanitarios, Medioambientales y Emergentes (SCHEER, por sus siglas en inglés - Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks). El citado Comité hizo público en agosto de 2022 un Dictamen sobre la necesidad de revisar los anexos de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo y de la Directiva 2013/35/UE, a la vista de las últimas pruebas científicas disponibles en relación con los CEM-RF (100 kHz - 300 GHz). La Recomendación 1999/5/CE es relativa a la exposición del público en general a CEM-RF (0 Hz a 300 GHz). La Directiva 2013/35/EU hace referencia a las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos).

El SCHEER es uno de los comités científicos independientes que proporcionan a la Comisión el asesoramiento científico necesario para elaborar políticas y propuestas relacionadas con la seguridad de los consumidores, la salud pública y el medio ambiente. También llama la atención a la Comisión sobre posibles problemas que puedan surgir y suponer una amenaza real o potencial para la ciudadanía. El otro comité es el Comité Científico de Seguridad de los Consumidores (CCSC, por sus iniciales en inglés). Estos Comités Científicos revisan y evalúan los datos científicos pertinentes y valoran los riesgos potenciales. Cada Comité cuenta con científicos independientes de todo el mundo, expertos en sus campos, comprometidos a trabajar en pro del interés público.

El SCHEER, a petición de los servicios de la Comisión, emite dictámenes sobre cuestiones relativas a la salud, el medio ambiente y los riesgos emergentes. El Comité aborda cuestiones sobre

Riesgos para la salud y el medio ambiente relacionados con factores contaminantes en el medio ambiente y otros factores biológicos y físicos en relación con la calidad del aire, el agua, los residuos y los suelos.

Cuestiones complejas o multidisciplinarias que requieren una evaluación exhaustiva de los riesgos para la seguridad de los consumidores o la salud pública, por ejemplo, la resistencia a los antimicrobianos, las nanotecnologías, los productos sanitarios y los peligros físicos como el ruido y los campos electromagnéticos.

■ **Tabla 6.10. Normativa aplicable sobre exposición a emisiones electromagnéticas.**

Ámbito	Instalación de estaciones radioeléctricas	Seguridad laboral
Organismo competente	Secretaría de Estado de Telecomunicaciones e Infraestructuras Digitales - Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital	Ministerio de Trabajo y Economía Social
Normativa de aplicación	RD 1066/2001	RD 299/2016
Procedimiento de cumplimiento práctico de la normativa	Orden CTE/23/2002 RD 123/2017	Guía técnica elaborada por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo
Evaluación del cumplimiento	Técnico competente en materia de Telecomunicación	Especialista en higiene industrial
Responsable del cumplimiento	Operador	Propietario o titular del centro de trabajo
Tipos de valores máximos:	- Restricciones básicas. - Niveles de referencia	- Valores límite de exposición (VLE). - VLE relacionados con efectos para la salud. - VLE relacionados con efectos sensoriales. - Niveles de acción (NA). En caso de efectos sensoriales (1 Hz – 10 MHz) se dividen en inferiores y superiores.

Para la emisión de dictámenes sobre las cuestiones anteriores, las evaluaciones científicas que realiza el SCHEER deben basarse siempre en planteamientos científicamente aceptados y ser transparentes en lo que respecta a los datos, métodos e hipótesis utilizados en el proceso de evaluación del riesgo. Deben identificar las incertidumbres y utilizar una terminología armonizada, siempre que sea posible, basada en términos internacionalmente aceptados. En su labor científica, el SCHEER se basa en el memorandum sobre la Ponderación de las Pruebas (WoE por sus siglas en inglés, Wight Evidence) y

las incertidumbres (SCHEER 2018), es decir, la búsqueda de información y datos pertinentes para el SCHEER comprende la identificación, recopilación y selección de posibles fuentes de pruebas para realizar una evaluación del riesgo y/o responder a las preguntas específicas que se le planteen.

Para la redacción de las opiniones y recomendaciones del informe al que se hace mención, el SCHEER se basó en una serie de antecedentes y documentos previos, entre otros, SCENIRHR Opinion de 215, “Potencial health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)” en donde se examinaba la influencia de todo el espectro de frecuencias de los campos electromagnéticos hasta 300 GHz, y las directrices de la ICNIRP 2020, publicadas en mayo de 2020. En base a estos estudios, el SCHEER realizó un conjunto de opiniones y recomendaciones entre las que cabe señalar, a efectos del tema que nos ocupa, las siguientes:

Los nuevos sistemas de comunicaciones móviles e inalámbricos que utilizan CEM-RF tienden a utilizar frecuencias más altas y potencias emitidas más bajas en las proximidades del cuerpo humano. Sin embargo, hay situaciones en las que la concentración de haces o la radiación pulsada intensa pueden aumentar la exposición durante breves periodos.

El Comité reconoce que las últimas directrices de exposición a los campos de CEM-RF de ICNIRP 2020 introducen nuevas cantidades dosimétricas y límites a las mismas, que pueden proteger más eficazmente a los seres humanos de las aplicaciones tecnológicas emergentes de los CEM-RF, y, por lo tanto, aconseja positivamente sobre la necesidad de una revisión técnica de los anexos de la Recomendación 24 1999/519/CE del Consejo y de la Directiva 2013/35/UE con respecto a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (100 kHz a 300 GHz).

6.4. Revisión Norma IEC 62232

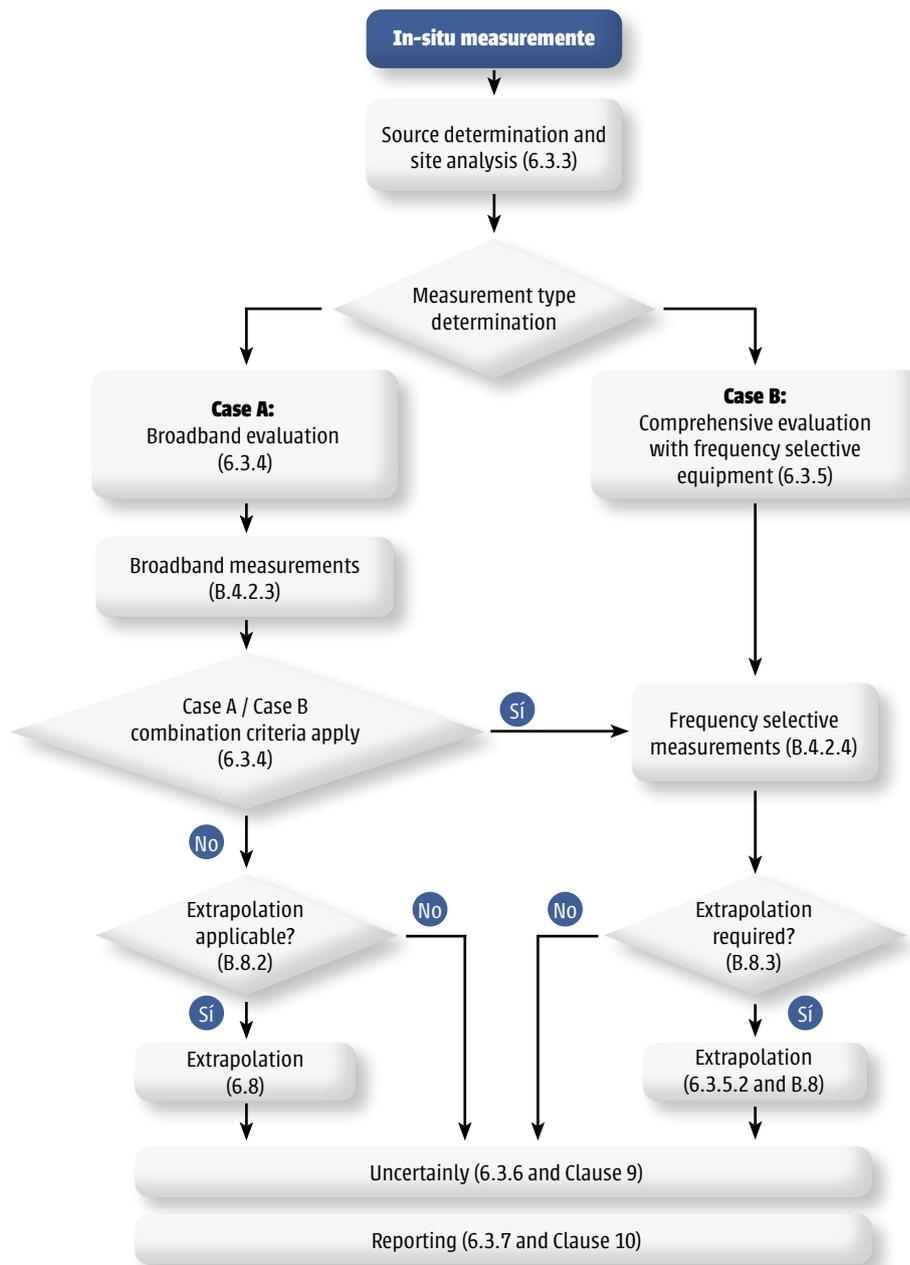
La IEC 62232 es una norma internacional que proporciona pautas para determinar la intensidad del campo de radiofrecuencia (RF), la densidad de potencia y la tasa de absorción específica (SAR) en las proximidades de las estaciones base para evaluar la exposición humana a la radiación de radiofrecuencia. Cubre varios aspectos como los límites de cumplimiento, los métodos de evaluación, los métodos de medición y cálculo, la incertidumbre, así como la presentación de informes. El documento también incluye información sobre la evaluación de la potencia o la potencia radiada isotrópicamente efectiva (EIRP), la validación de las características de control de potencia o EIRP, la estimación de la incertidumbre y la comparación de los parámetros evaluados con los valores límite. Está destinado a guiar la evaluación y evaluación de la exposición a radiofrecuencias (RF) de las estaciones base (BS) utilizadas en todo tipo de sistemas de comunicación inalámbrica, incluyendo tecnologías como UMTS, Wi-Fi, o LTE. De especial relevancia es su reciente actualización de 2023, que ha incluido los sistemas 5G.

Esta norma es muy extensa y detallada pues intenta contemplar diferentes sistemas, configuraciones y casuísticas. Está estructurada como un documento de consulta para profesionales, con el objetivo de ser un tipo de manual a seguir para la evaluación de exposición. Por tanto, a continuación, se realiza una síntesis de las aportaciones principales de la norma, sin profundizar en aspectos técnicos de detalle que pueden ser convenientemente ampliados consultando la misma.

En lo relativo a la evaluación de exposición a RF in situ debe realizarse siguiendo el procedimiento descrito en la Figura 6.7. El proceso comienza con un análisis del sitio para identificar todas las instalaciones de fuentes de RF emisoras fijas relevantes en el área circundante y concluye con la forma en la que se reporta el resultado del proceso.

Durante el análisis del sitio, se debe identificar el área de medida, la posición del Equipo Bajo Prueba (EUT, Equipment Under Test en inglés) con respecto al área de medición, verificar y documentar las fuentes, y seleccionar la métrica de exposición y el equipo de medición apropiado para cubrir el rango de frecuencia aplicable al EUT y las fuentes ambientales.

■ **Figura 6.7. Diagrama de flujo de la evaluación in-situ de estaciones RF, contemplando diferentes metodologías de medida. Entre paréntesis se indica los capítulos de la norma IEC 62232 donde se detalla.**



Si el EUT o las fuentes están utilizando beamforming (como es el caso de 5G), se recomienda tener un Equipo de Usuario (UE) conectado con el EUT para proporcionar una evaluación global de los niveles de exposición a RF in situ de todas las fuentes y frecuencias juntas.

La evaluación de exposición a RF in situ se realiza entonces en el área de medición utilizando la métrica de exposición seleccionada, el tipo de medición (equipos de banda ancha o equipos selectivos en frecuencia) y las técnicas de medición especificadas. El equipo de medición y el procesamiento posterior deben cubrir las emisiones de RF de todas las fuentes identificadas en el análisis previo de la estación.

6.4.1. Caso A: medidas de banda ancha

El sistema de medición debe cubrir el rango de frecuencia de las emisiones de RF del EUT y todas las fuentes ambientales relevantes entre al menos 100 kHz y 300 GHz. Es decir, abarca todo el espectro de RF en una única medida.

Se comienza realizando un escaneo lento sobre el área de medición a una altura de 1,5 m sobre el suelo o estar de pie para encontrar la ubicación de la exposición máxima a RF, es decir, el punto de investigación (PoI). En esta ubicación de evaluación, si se requiere un promedio espacial, se deben realizar mediciones a diferentes alturas.

La norma recomienda complementar estas medidas con medidas de equipos selectivos en frecuencia (caso B), si se aplican los siguientes criterios: a) el resultado de un Caso A está por encima de las regulaciones aplicables o los límites de exposición en el PoI; o b) se necesita extrapolar el valor de la medida.

6.4.2. Caso B: equipos selectivos en frecuencia

La evaluación mediante medida con equipos selectivos en frecuencia es una evaluación mucho más exhaustiva, que incluye la identificación de fuentes relevantes, y la extrapolación de la exposición a la potencia transmitida máxima configurada o a la potencia máxima real. Se ha de tener en cuenta que con esta tecnología se puede evaluar la exposición de forma más selectiva, pudiendo filtrar por estaciones, tecnología, banda ocupada, etc.

Figura 6.8. Ejemplo de variación en 24h de la potencia producida por una estación 5G, normalizada al valor medio.



En general, la medición se realiza utilizando equipo selectivo de frecuencia en el punto de investigación deseado. Se realiza un escaneo de frecuencia exhaustivo para identificar cualquier fuente de interés para la cual se deben realizar mediciones promediadas espacialmente. Si no se identifica ninguna fuente de interés, se deben medir las dos fuentes de RF medidas más altas. Las mediciones selectivas de frecuencia se realizan en todos los puntos requeridos para la implementación del promedio espacial o el método de barrido.

Cuando el objetivo es evaluar el peor caso de la exposición, es decir, el máximo de exposición RF, teniendo en cuenta variaciones debidas al tráfico (véase Figura 6.8. para 5G), la potencia transmitida o la conformación de haces o beam steering (massive mimo en 5G), el resultado ha de ser extrapolado. Dicha extrapolación aplica a todas las fuentes de interés.

6.4.3. Extrapolación a máximo de exposición

La extrapolación a máximo de exposición es necesaria cuando la evaluación de exposición in-situ se ha realizado en condiciones que no contemplan la máxima potencia transmitida por la estación evaluada. Entre otros sistemas, este será el caso de 5G. Esta extrapolación se puede realizar tanto para medidas de campo eléctrico y densidad de potencia como de la tasa de absorción específica (SAR por sus siglas en inglés) en caso de ser necesario. La extrapolación al máximo teórico ha de ser realizada partiendo de una medida estable e independiente del tiempo (con variabilidad menor del 10%). En el caso de 5G esta serán las señales Primary Synchronization Signal (PSS) and Secondary Synchronization Signal (SSS) del bloque de sincronismo.

La norma contempla la extrapolación principalmente para evaluación de exposición realizada con medidas de equipos selectivos en frecuencia. No obstante, también contempla la extrapolación para medidas realizadas con medidores de banda ancha si se dan unas condiciones muy concretas, entre ellas, que las transmisiones se den en una única frecuencia y canal, y no hay otras fuentes ambientales relevantes. Esto último se cumple en muy contadas ocasiones, por lo que la extrapolación al máximo de exposición se emplea en las medidas realizadas con medidores selectivos en frecuencia.

A nivel general, para la realización de la extrapolación se parte del valor medido, el cual se multiplica por unos factores de corrección en función de los parámetros que pueden afectar a la exposición. Concretamente y para sistemas 5G la extrapolación ha de incluir factores de corrección por: carga de tráfico real, sistemas multiantena MIMO, beamforming, uso dinámico de compartición de espectro, o el ciclo de trabajo de TDD (Time Division Duplexing en inglés).

Además, para sistemas 5G la norma establece que se ha de tener en cuenta las posibles diferencias en ganancia de las antenas de la estación tanto entre diferentes haces como su hipotética variación con el tiempo.

La norma establece también la configuración de equipamiento y las relaciones matemáticas para calcular la extrapolación a máximo teórico ya sea empleando medidores selectivos en frecuencia (principalmente analizadores de espectros), o medidores selectivos en código anteriormente mencionados. Además, la IEC 62232 incide en la necesidad de calcular el máximo real frente al máximo teórico, ya que es altamente probable especialmente que en 5G las condiciones de máximo teórico no se puedan dar en condiciones realistas de operación.

Se omite aquí la matemática de todas las casuísticas propuestas por simplicidad.



Percepción del Riesgo



7.1 Introducción

La “percepción del riesgo” es el juicio subjetivo que los individuos o comunidades tienen sobre la magnitud y la probabilidad de un riesgo específico (Slovic, 1987). Esta percepción puede estar influenciada por una variedad de factores, incluidos los conocimientos científicos, las creencias culturales, la experiencia personal y la información difundida por los medios de comunicación. Además, depende en gran medida de las reacciones afectivas individuales ante el peligro (Wilson et al., 2019). La percepción del riesgo no siempre se alinea con la evaluación objetiva del riesgo basada en la evidencia científica y puede ser más alta o baja que el riesgo real. Este concepto es especialmente relevante en campos como la salud pública, la seguridad ambiental y puede condicionar la toma de decisiones políticas, donde la percepción pública del riesgo puede influir significativamente en las políticas y medidas adoptadas (Aurengo, 2014; Slovic, 1987).

La OMS considera riesgo para la salud la probabilidad de que un peligro particular perjudique la salud de una persona (OMS, 2005). Así, la evaluación crítica y científica del riesgo debe identificar el peligro, evaluar la dosis-respuesta, evaluar la exposición y caracterizar el riesgo. En cambio, la población genera su propia percepción del riesgo, influenciada por los valores de la sociedad y de la propia persona, así como por experiencias previas.

Los campos electromagnéticos (CEM) han estado presentes en la naturaleza desde siempre. Sin embargo, el avance tecnológico y el uso de las radiaciones de radiofrecuencia (RF) en telecomunicación en las últimas décadas, han ampliado y diversificado nuestras fuentes de exposición y, consecuentemente, el interés científico y social por sus potenciales efectos sobre la salud y el medioambiente. Por este motivo, cómo muchos avances tecnológicos a lo largo de la historia han suscitado preocupación de parte de la sociedad. Este fenómeno también ha afectado a las instalaciones de telecomunicaciones, especialmente a las estaciones base (antenas) de telefonía móvil y a otras tecnologías inalámbricas como las redes Wi-Fi o el Bluetooth. Esta preocupación se ha extendido, por diferentes motivos, desde los años 90 y ha condicionado la percepción del riesgo asociado a esas tecnologías (Boehmert et al., 2020).

Una adecuada gestión del riesgo necesita que la población asuma las medidas determinadas por las instituciones responsables de la protección de la salud pública, cómo hemos visto recientemente en la gestión de la pandemia COVID-19, es por ello por lo que para gestionar el riesgo se ha de tener en cuenta el riesgo determinable técnicamente y el riesgo percibido por el individuo.

Por lo que aquí interesa, la evidencia científica disponible descarta que la exposición personal a CEM-RF, a los niveles regulados, controlados y habituales represente un peligro para la salud de las personas. Pero las personas catalogarán el riesgo dependiendo de diferentes factores, incluidos los beneficios percibidos y, así, tendremos una escala de percepción en la que el riesgo se considere despreciable, aceptable o intolerable. Estos factores se pueden dividir en tres grupos (OMS, 2005): factores personales (edad, sexo, educación, antecedentes sociales y antecedentes culturales), factores externos (medios de comunicación, procesos regulatorios, movimientos de opinión, situación económica y política e información científica disponible), y factores de la naturaleza del riesgo (familiaridad con la tecnología, control de la situación, exposición voluntaria, temor de enfermedad, beneficios directos y equidad).

En el informe del CCARS de 2016-2019 (Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS), 2020), se abordó la relevancia de la comunicación de la evidencia científica en la percepción del riesgo asociado a los CEM de RF (CEM-RF), la presencia de antenas de telefonía móvil, uso de dispositivos y tecnologías de comunicación inalámbrica, etc. Las conclusiones de este informe hacían hincapié en la necesidad de basar la comunicación del riesgo en evidencia científica sólida, el papel que juegan los medios de comunicación en la formación de estas percepciones (Braescher et al., 2017; Langford y Wessely, 2015), así como el uso de Internet para buscar información relativa a la salud (Jungmann et al., 2020).

La revisión sistemática de Boehmert (2020) no solo examinó los impactos principales de la comunicación sobre la percepción del riesgo, sino que también estudió cómo las particularidades del receptor de la información pueden influir significativamente en la formación de esa percepción. De este modo, los análisis de interacción revelaron que la percepción previa del riesgo, en particular, afecta a la valoración individual de la información acerca de los CEM-RF. Esto, a su vez, tiene un impacto en la credibilidad, la comprensión, la capacidad de persuasión y, en última instancia, en cómo la comunicación afecta a la percepción del riesgo. Estos y otros aspectos fueron incluidos en el informe CCARS (2020).

7.2. Desinformación: 5G y pandemia COVID-19

Como es bien sabido en marzo de 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS-WHO) declaró pandemia global (WHO, 2020b) el síndrome respiratorio agudo severo provocado por un nuevo coronavirus (SARS-CoV-2) que surgió por primera vez en Wuhan (Provincia de Hubei, China) en diciembre de 2019 (Zhu et al., 2020). Lo que es menos sabido es que pronto, se extendió el bulo de que el despliegue de redes 5G, en sus inicios en aquel momento, estaba detrás de la propagación del coronavirus por todo el mundo. Diferentes teorías de la conspiración vincularon incorrectamente la 5G en particular, y la telefonía móvil en general, a la pandemia de COVID-19, provocando incluso el incendio intencionado en más de 330 estaciones base de telefonía móvil en más de 20 países (Ahmed et al., 2020; Frith et al., 2022; Langguth et al., 2023; Mazar y Ball, 2021). Desde diferentes ámbitos, como la OMS o la Comisión Europea, se realizó un gran esfuerzo por desmentir estos bulos y desinformaciones (European Commission, 2020; WHO, 2020a). En algunos casos, estas “fake news” aparecían avaladas por supuesta evidencia científica que, pronto, fue retractada por algunas de las revistas que la publicaron. Por ejemplo, el editorial de Fioranelli et al. (2020) indicaba que la tecnología 5G favorecía la infección a través de la piel, fue rápidamente retractado. No obstante, otras aportaciones como la de Rubik y Brown (2021) siguen indexadas en PubMed a pesar de suponer un absurdo intento de vincular la radiación a una serie de supuestos mecanismos que favorecerían la expansión de la pandemia.

Estas desinformaciones se difundían rápidamente por redes sociales como Twitter o Instagram (Ahmed et al., 2020; Monaci, 2021; Rovetta y Bhagavathula, 2020). Hashtags como #5GCoronavirus fueron tendencia en algunos países sin que ninguna figura de autoridad combatiera activamente esta desinformación. A pesar del gran número de mensajes, sólo unos pocos autores creían realmente en la conspiración, por lo que la combinación de intervenciones rápidas y específicas orientadas a deslegitimar las fuentes de información falsa hubiese sido clave para reducir su impacto (Ahmed et al., 2020). El impacto y alcance de estas desinformaciones también estaría ligado a lo que Rovetta y Bhagavathula (2020) han denominado “términos infodémicos” como por ejemplo “coronavirus 5G”, “coronavirus conspiración” o “coronavirus Bill Gates”, cuyo uso evaluaron en Google y en Instagram al inicio de la pandemia y que recomendaban limitar o controlar. Para ello, el análisis del lenguaje natural y estadístico de los datos de redes sociales puede empoderar a los responsables políticos para entender la desinformación que se propaga y desarrollar estrategias específicas para contrarrestarla (Bahja y Safdar, 2020). Bahja y Safda realizaron un análisis basado en diferentes abordajes de los tuits que vinculaban la COVID-19 con la 5G, para el análisis de los tuits y la identificación de temas. Comprender las frecuencias de los temas, las interrelaciones entre ellos y la aparición geográfica de los tuits permite identificar patrones en la propagación de la desinformación y proporcionar a los responsables políticos el conocimiento necesario para idear estrategias de contramedida. La respuesta debería ser multidimensional ya que una teoría conspirativa popular, por ejemplo, en Twitter, como la teoría de la Tierra plana, activa y refuerza la propagación de otras conspiraciones interconectadas al aprovechar algunos hashtags populares que funcionan como amplificadores (Monaci, 2021). Por eso, Twitter fortalece las cascadas informativas relacionadas con diversas conspiraciones, como las teorías de la Tierra plana, la relación COVID-19/5G y las teorías antivacunas.

Tanto las noticias falsas, como las teorías de la conspiración que las sustentan o fundamentan, son informaciones deliberadamente engañosas que se generan con la intención de dañar a alguien o algo u obtener influencia o un beneficio. Gran parte del discurso basado en noticias falsas engloba tanto la información falsa (misinformation) que alguien comparte sin saber que es falsa, como la desinformación (disinformation) que es la información falsa que se comparte con la intención de dañar o engañar, y la mala información (malinformation), información verdadera manipulada que se utiliza para dañar a otros (Giotakos, 2022). Además, las creencias erróneas a menudo surgen de los mismos mecanismos que establecen creencias basadas en la evidencia.

Es conveniente recordar que una de las consecuencias del efecto de la repetición de información, ya sea verdadera o falsa, es que tiende a hacer que la gente crea que es verdadera. Ese efecto se potencia en las redes sociales, donde las noticias falsas negativas y alarmistas se propagan más rápido y ampliamente que las verdaderas. Tampoco es ocioso tener presente que tanto el autoengaño, o creer nuestras propias mentiras, como la capacidad de engañar a otros, podría tener raíces evolutivas. Por todo ello, es importante abordar el problema de las noticias falsas mediante el fomento de la alfabetización en información y la reducción de la polarización en la sociedad (Giotakos, 2022).

Al analizar con cierta perspectiva estos movimientos conspiratorios, Frith et al. (2022) argumentan que las conspiraciones del tipo 5G/COVID-19 no deberían habernos sorprendido, ya que estas conspiraciones relacionadas con las estaciones base de telefonía móvil no son nuevas. El despliegue de cada nueva generación de telefonía móvil ha venido acompañado de la difusión de falsas alertas, llamamientos, moratorias y avisos, muchas veces vinculadas a intereses, económicos u otros, promovidos incluso por “científicos” con sospechosos vínculos o intereses (de Vocht y Albers, 2022).

El debate en torno a la 5G como un riesgo significativo para la salud humana en la literatura revisada por pares fue inicialmente impulsado, en gran medida, por organizaciones o autores relacionados con publicaciones y/o campañas que han venido promoviendo los llamamientos a moratorias para la instalación de las consecutivas tecnologías inalámbricas. Las relacionadas con la 5G se han difundido y justificado en estos últimos tiempos (Hardell y Nyberg, 2020) también con publicaciones y controvertidas “comisiones internacionales” que no ofrecen información sobre su creación, estructura o intenciones como la International Commission on the Biological Effects of Electromagnetic Fields (ICBE-EMF, 2022) (ICBE-EMF, 2022).

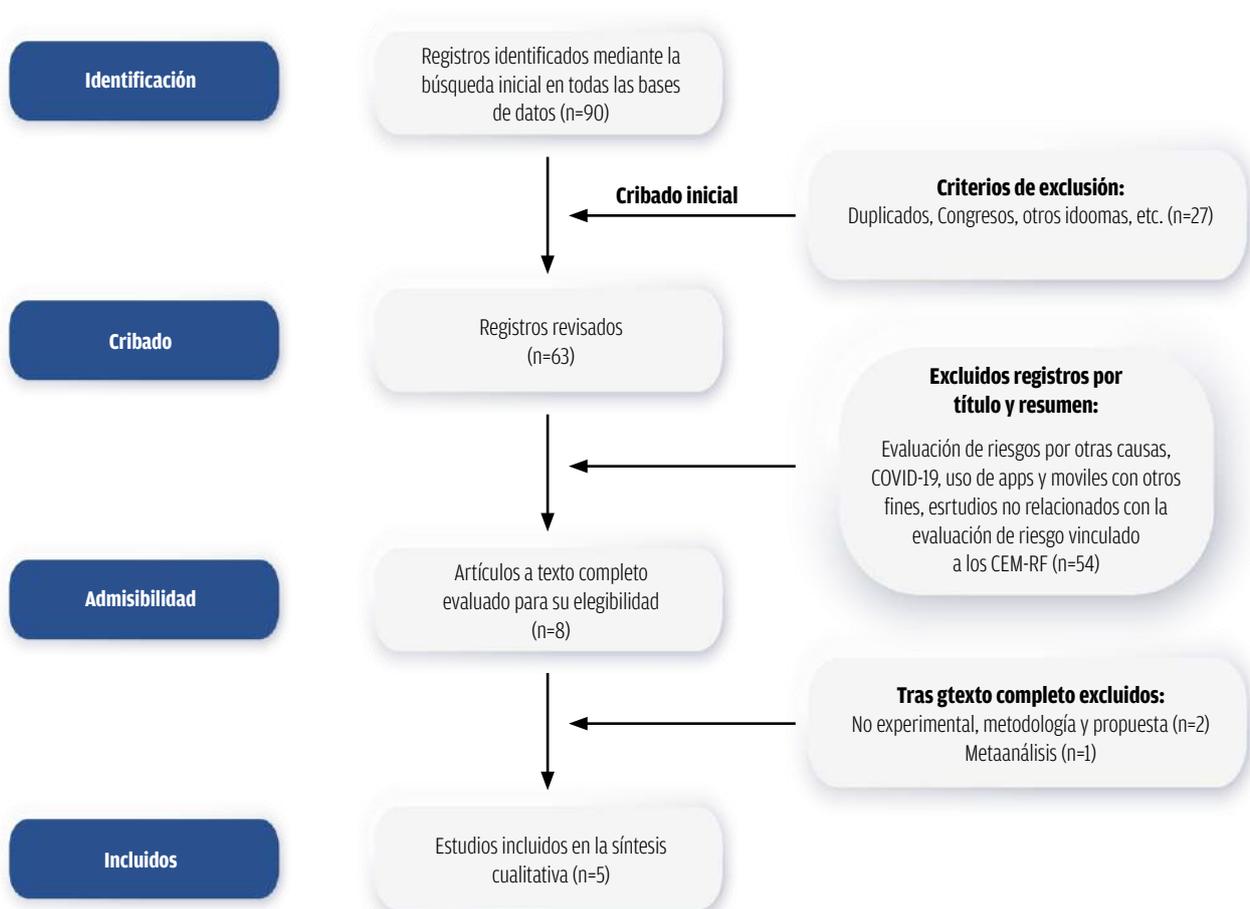
Por tanto, la narrativa en torno a la 5G y los posibles efectos sobre la salud humana debe interpretarse teniendo en cuenta todo lo anterior y, en particular que en esas campañas participan autores u organizaciones que, a menudo, hacen públicos sus posicionamientos bajo el formato de editoriales u opiniones que se confunden con estudios experimentales o revisiones sistemáticas, como Hardell, Héroux, Miller y Moskowitz (de Vocht & Albers, 2022).

Tras la pandemia y la difusión de las conspiraciones comentadas, es preciso analizar los puntos fuertes y las limitaciones de los enfoques convencionales para la evaluación del riesgo y la gestión de la exposición a CEM-RF, en particular de las redes 5G (Mazar y Ball, 2021). Por un lado, no sólo debemos preguntarnos si existen efectos sobre la salud a niveles de exposición por debajo de los límites establecidos por la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), 2020) y, por otro, si esta información llega a la población. También es necesario ofrecer información comprensible sobre los controles que verifican que los niveles de exposición personal de estas redes se mantienen por debajo de esos valores (Ramirez-Vazquez et al., 2023).

Así pues, desde el CCARS mantenemos que para hacer una buena gestión del riesgo es imprescindible hacer una comunicación del riesgo que a su vez favorezca la adecuada percepción de este y se base en la evidencia científica de mayor fortaleza. Y para ello, se debe desarrollar una estrategia multidimensional que englobe aspectos sociales, de comunicación, de revisión y orientación de políticas, diversidad de problemáticas más allá de los efectos sobre la salud, educativas, de participación, etc. (Mazar y Ball, 2021).

En este sentido, el presente informe, se basa en la revisión sistemática de los estudios científicos que han evaluado la percepción del riesgo a los CEM-RF publicados en el periodo 2020-2022 en revistas indexadas en Web of Science, PubMed y EMF-Portal.

Figura 7.1. Diagrama de flujo que muestra las búsquedas en bases de datos, el número de publicaciones identificadas, cribadas y los textos completos finales incluidos en la presente revisión sistemática.



7.3. Metodología

7.3.1. Estrategia de búsqueda bibliográfica

La revisión bibliográfica se realizó de acuerdo con los criterios establecidos para este tipo de revisiones (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses, PRISMA) (Moher et al., 2015). Se realizaron búsquedas de registros en tres bases de datos (PubMed, Web of Science y EMF-Portal) incluyendo artículos publicados entre el 1 de enero de 2020 y el 31 de diciembre de 2022.

Las cadenas de búsqueda utilizadas en cada base de datos fueron:

- EMF-Portal: (title=EMF OR title=EMF-RF OR title="RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD" OR title=MOBILE OR title=CELLULAR OR title="MOBILE PHONE BASE STATION") AND (title="RISK PERCEPTION" OR title="RISK ASSESSMENT") AND (year=2020 OR year=2021 OR year=2022).

- Pubmed: (('EMF'[Title] OR 'EMF-RF'[Title] OR 'RF-EMF'[Title] OR 'RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD'[Title] OR 'MOBILE'[Title] OR 'CELLULAR'[Title] OR 'MOBILE PHONE BASE STATION'[Title]) AND ('RISK PERCEPTION'[Title] OR 'RISK ASSESSMENT'[Title])) AND (('2020/01/01'[Date - Publication] : "2022/12/31"[Date - Publication])).

- WoS: (TI=((('EMF' OR 'EMF-RF' OR 'RF-EMF' OR 'RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD' OR 'MOBILE' OR 'CELLULAR' OR 'MOBILE PHONE BASE STATION') AND ('RISK PERCEPTION' OR 'RISK ASSESSMENT')))) AND DOP=(2020-01-01/2022-12-31).

En la Figura 7.1 se muestra el diagrama de flujo con los resultados obtenidos en cada proceso. Los límites de búsqueda se establecieron en el idioma inglés y artículos de investigación, excluyendo cartas al editor, resúmenes o ponencias en congresos, comentarios, etc.

7.3.2. Criterios de inclusión y exclusión

En una primera fase (fase de cribado e identificación), se excluyeron los trabajos duplicados y no escritos en inglés, así como comentarios, editoriales o comunicaciones o abstracts de congresos. A continuación (fase de admisibilidad), se eliminaron los estudios que no evaluaron percepción del riesgo mediante un diseño experimental vinculado a la exposición a CEM-RF o aquellos que describían técnicas, modelización, simulaciones, etc. generalmente no relacionadas con el objetivo de este capítulo. En la última fase (fase de inclusión), se realizó una lectura completa y se excluyó un último trabajo (Mazar y Ball, 2021) al no incluir resultados experimentales y un metaanálisis (Vijayan y Eslick, 2022) que evaluaba el riesgo de tumores en glándulas salivares y el uso del teléfono móvil.

7.3.3. Extracción de datos

La gestión bibliográfica de los registros, la búsqueda de duplicados, su clasificación, etc. se realizó mediante Zotero 6.0.27 (<http://www.zotero.org>). Los datos relevantes se obtuvieron de cada estudio elegible mediante una extracción estructurada, que fue preparada y aprobada tras el cribado de los estudios incluidos. Para la selección de los trabajos se contó con la ayuda de Jesús González Rubio, profesor de la Universidad de Castilla-La Mancha. El cribado se realizó de forma independiente por dos investigadores y, en caso de duda, se consensuó su inclusión o exclusión.

7.4. Resultados

Tras el proceso de búsqueda, revisión y aplicación de criterios de inclusión y exclusión, se incluyeron 5 trabajos cuyos detalles se recogen en la Tabla 7.1. Estos trabajos cumplen los criterios marcados por los objetivos del trabajo: estudios de evaluación del riesgo percibido y la exposición personal a CEM-RF. Estudios experimentales en los que se evaluara esta posible relación de forma directa.

Estos 4 estudios evaluaron la percepción del riesgo vinculado a diferentes factores, en todos los casos mediante cuestionarios. Dos de ellos evaluaron la relación entre conocimiento sobre CEM-RF y percepción del riesgo específicamente en estudiantes universitarios de Nigeria (Mgbe et al., 2020) y de Corea (Seo et al., 2020). Otro estudio presenta un diseño similar, mediante encuesta y evaluación de conocimientos y riesgos percibidos, pero en población general de la India, diferenciando entre terminales y antenas de telefonía (Pradhan et al., 2022). Por último, dos estudios en Australia presentaron dos objetivos diferentes, por un lado, el efecto del acceso a la información relativa a la exposición personal procedente de redes Wi-Fi (Zelege et al., 2021) y la posible relación entre la ubicación del teléfono, cuando se usa y cuando no, por hombres y su percepción del riesgo (Zelege et al., 2022). Por este motivo, se ha dividido el análisis de los estudios en tres apartados en los que se evalúan diferentes factores que podrían condicionar la percepción del riesgo: conocimientos previos, acceso a niveles de exposición y ubicación del teléfono móvil.

Tabla 7.1. Estudios de evaluación del riesgo a la exposición a CEM-RF incluidos en la revisión sistemática (ordenados por año de publicación).

Año	Publicación	País	Objetivo
2020	Mgbe et al., 2020	Nigeria	Evaluar el nivel de concienciación y los riesgos para la salud percibidos de la exposición a los CEM-RF entre los estudiantes universitarios de distintas disciplinas
2020	Seo et al., 2020	Corea	Examinar la relación entre la percepción de riesgo de los teléfonos móviles y el conocimiento objetivo sobre los CEM-RF
2021	Zelege et al., 2021	Australia	Evaluar si las personas a las que se les proporcionan niveles de exposición a CEM-RF medidos objetivamente procedentes de fuentes Wi-Fi tienen diferentes niveles de percepción del riesgo que aquellas a las que sólo se les proporciona información básica en relación con los CEM-RF
2022	Pradhan et al., 2022	India	Evaluar la percepción del riesgo asociado a la exposición a CEM-RF emitidos por teléfonos móviles y estaciones base
2022	Zelege et al., 2022	Australia	Evaluar la relación entre dónde suelen llevar sus teléfonos móviles los hombres y su percepción del riesgo asociado a la exposición a CEM-RF

7.4.1. Riesgo percibido y conocimientos sobre CEM-RF

Mgbe et al. (2020) evaluaron la conciencia y percepción de los estudiantes universitarios en Enugu, Nigeria, con respecto a los riesgos asociados con la exposición a la radiación de CEM-RF inalámbrico de los equipos de telecomunicaciones. El estudio utilizó un diseño transversal y se analizaron los datos de 576 estudiantes universitarios. Los datos se recopilaban mediante un cuestionario que incluía preguntas sobre el conocimiento de la radiación de los equipos de telecomunicaciones, fuentes de información, comprensión de la radiación de campo electromagnético, preocupaciones sobre la radiación, de-

seo de aprender más y evaluación de la salud. También se incluyeron preguntas sobre la percepción de la susceptibilidad, gravedad y beneficios de la radiación, así como la autoeficacia y las barreras percibidas para tomar precauciones contra la radiación. Los resultados del estudio mostraron que el 82,2% de los estudiantes llevaban sus equipos de telecomunicaciones cerca de sus cuerpos y el 93,4% se consideraban relativamente adictos a sus dispositivos. La mayoría de los estudiantes tenían al menos un equipo de telecomunicaciones, pero el 53,5% tenía más de uno, lo que indica una mayor exposición a la radiación. El estudio también encontró que el 46% de los estudiantes estaban preocupados por los efectos de la radiación de sus dispositivos. Hubo una relación significativa entre la percepción de los riesgos de los CEM-RF y el género, así como el nivel de estudios de los estudiantes. También es relevante el marco cultural ya que un 6,1% de los estudiantes creían que la radiación era un hechizo peligroso de un espíritu maligno. Además, se observó que el 14,7% de los estudiantes obtuvieron información sobre la radiación de Internet, mientras que solo el 1% recibió visitas de profesionales de la salud y el 6,5% consultó a médicos generales. Mgbe et al. concluyeron que la mayoría de los estudiantes universitarios en Enugu, Nigeria, llevaban sus equipos de telecomunicaciones cerca de sus cuerpos y eran relativamente adictos a ellos. Sin embargo, sólo un pequeño porcentaje de los estudiantes tenía una conciencia significativa de los efectos de la radiación de los CEM-RF. Además, se encontró que muchos estudiantes obtenían información sobre la radiación de fuentes no confiables, como Internet, en lugar de profesionales de la salud. Las principales implicaciones de este estudio son la necesidad de aumentar la educación en salud sobre los riesgos de la radiación entre los estudiantes universitarios y la importancia de buscar información de fuentes confiables. Una posible debilidad de este estudio es que no se menciona el método de selección de la muestra ni el tamaño de la población objetivo, lo que dificulta la generalización de los resultados a la población en general. Además, el estudio se basó en datos autoreportados, lo que puede estar sujeto a sesgos y errores de memoria. Además, el estudio no abordó específicamente los posibles factores de confusión que podrían influir en la percepción y conciencia de los estudiantes sobre los riesgos de la radiación de CEM-RF. Por lo tanto, es posible que haya otros factores que puedan haber influido en los resultados del estudio y que no se hayan tenido en cuenta. Además, el estudio se centró únicamente en estudiantes universitarios en Enugu, Nigeria, lo que limita la generalización de los resultados a otras poblaciones y contextos.

El estudio de Seo et al. (2020) examinó la relación entre la percepción de riesgo de los teléfonos celulares y el conocimiento objetivo de los CEM-RF en Corea. Se encuestó a 3393 participantes de entre 20 y 59 años, residentes en 13 regiones diferentes de Corea del Sur. La encuesta constaba de cinco secciones que incluían preguntas sobre fuentes de CEM-RF, conocimiento objetivo de éstos, percepción de riesgo en diagramas psicométricos e información demográfica. Los datos se analizaron utilizando estadísticas descriptivas, análisis de regresión múltiple jerárquica y análisis factorial. Los resultados mostraron que factores subjetivos como el temor psicológico, el nivel percibido de exposición a las ondas electromagnéticas, el conocimiento personal, la familiaridad y el género influyeron en la percepción de riesgo de los teléfonos celulares. Se encontró que estos factores subjetivos tenían una mayor influencia en la percepción de riesgo que los factores objetivos. Además, se creó un mapa cognitivo de riesgo que mostraba la percepción de controlabilidad y temor de diferentes fuentes de campos electromagnéticos. Las principales conclusiones del estudio fueron que la percepción de riesgo de los teléfonos celulares está influenciada por una combinación de factores subjetivos, psicológicos y objetivos. Se destacó la importancia de considerar las preocupaciones y el conocimiento en los estudios de percepción de riesgo. Algunas posibles debilidades del estudio podrían incluir la falta de representatividad de la muestra, ya que sólo se incluyeron participantes de Corea del Sur, y la posibilidad de sesgos en las respuestas de los participantes debido a la naturaleza autoinformada de la encuesta. Además, el estudio se centró específicamente en la percepción de riesgo de los teléfonos celulares y no abordó otros dispositivos o fuentes de CEM. Esto limita la generalización de los resultados a otras fuentes o instalaciones.

Pradhan et al. (2022) evaluaron las actitudes de los ciudadanos indios hacia los riesgos percibidos relacionados con la exposición a CEM-RF emitidos por teléfonos móviles y estaciones base. El estudio tiene como objetivo profundizar en las razones que alimentan tales percepciones. Para lograr esto, se llevó a cabo una investigación cualitativa inicial que involucró a

un grupo diverso de 25 ciudadanos indios de varios entornos socioeconómicos. Este estudio preliminar fue seguido posteriormente por una encuesta más grande y completa que muestreó a 500 individuos en un intento por identificar las preocupaciones más comúnmente sostenidas con respecto a la exposición a CEM-RF. Los hallazgos revelaron que una proporción significativa de los participantes, independientemente de su estatus social o económico, tenía opiniones favorables hacia los teléfonos móviles y estaban dispuestos a aceptar los riesgos asociados. Sin embargo, mostraron fuertes reservas ante la instalación de estaciones base en sus comunidades. El estudio identificó además que la falta de comprensión sobre las tecnologías de comunicación móvil, las preocupaciones existentes relacionadas con la salud en torno a los teléfonos móviles y las estaciones base, las preocupaciones a nivel comunitario sobre la ubicación de estas estaciones y la influencia de los medios de comunicación contribuyeron significativamente a dar forma a estas percepciones de riesgo. Los autores sugieren que una estrategia de comunicación bien pensada es esencial para aliviar estos temores y mejorar la aceptación general de las infraestructuras de comunicación móvil por parte del público.

7.4.2. Riesgo percibido y acceso a medidas de exposición de Wi-Fi

El estudio de Zeleke et al. (2021) en Australia tuvo como objetivo investigar el impacto de proporcionar información objetiva sobre la exposición personal a CEM-RF de Wi-Fi en la percepción de exposición y riesgo entre los participantes. Se evaluaron variables como la percepción de exposición, la percepción de riesgo, la confianza en protegerse de la exposición a CEM-RF y las medidas preventivas que los participantes tomarían. La muestra consistió en 383 personas, con una edad promedio de 34,3 años. En cuanto a la educación, el 55,3% tenía un título universitario. En cuanto a la ocupación, el 35,5% eran educadores/investigadores y el 25,1% trabajaban en el sector administrativo y financiero. El 95,3% tenía un enrutador Wi-Fi en casa y el 58,9% tenía un televisor inteligente habilitado para Wi-Fi. Los participantes fueron reclutados a través de anuncios y se asignaron aleatoriamente a uno de los tres grupos: grupo de medición personal de exposición, grupo de información sobre exposición y grupo de control. Se realizaron mediciones personales de exposición a CEM-RF durante un período de 24 horas. Sin embargo, los participantes en el grupo de medición personal de exposición. El estudio encontró que los participantes que recibieron información sobre medidas de exposición personal a CEM-RF mostraron una mayor confianza en su capacidad para protegerse de la exposición. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los grupos experimentales en cuanto a la percepción de exposición, la percepción de riesgo y las medidas preventivas que tomarían. Las relaciones entre las variables resultado (percepción de exposición, percepción de riesgo, medidas preventivas y confianza en protegerse) se evaluaron mediante correlaciones. Se encontró una correlación positiva significativa entre la percepción de exposición y la percepción de riesgo ($r = 0,599$, $p < 0$). Asimismo, se encontró una correlación positiva significativa entre la percepción de exposición y la percepción de riesgo ($r = 0,599$, $p < 0,001$). Los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas entre los grupos experimentales en cuanto a la percepción de exposición, la percepción de riesgo y las medidas preventivas que tomarían. Zeleke et al. concluyeron que proporcionar información objetiva sobre la exposición personal a CEM-RF puede ser útil para respaldar juicios basados en evidencia sobre la exposición y los riesgos asociados. Las limitaciones del estudio incluyen el tamaño relativamente pequeño de la muestra, lo que dificulta la investigación de diferencias dentro de los grupos y la realización de comparaciones múltiples. Además, los participantes reclutados a través de anuncios pueden no ser representativos de la población objetivo. En resumen, este estudio encontró que proporcionar información objetiva sobre la exposición personal a CEM-RF de Wi-Fi no tuvo un impacto significativo en la percepción de exposición y riesgo, pero aumentó la confianza de los participantes en su capacidad para protegerse de la exposición a CEM-RF.

7.4.3. Riesgo percibido y ubicación del terminal móvil.

El trabajo de Zeleke et al. (2022) tuvo por objetivo investigar las ubicaciones que utilizan usuarios hombres a la hora de llevar sus teléfonos móviles y la percepción de riesgo. La muestra consistió en hombres reclutados en Melbourne, Australia, a través de anuncios en bibliotecas públicas, universidades, hospitales y clubes deportivos. Participaron un total de 256 hombres de entre 18 y 72 años. Se utilizó un cuestionario estructurado para recopilar datos sobre variables sociodemográficas y se realizaron análisis estadísticos utilizando pruebas t y modelos de regresión lineal para investigar las asociaciones entre las variables predictoras y los resultados. Los resultados mostraron que la mayoría de los participantes eran de áreas metropolitanas, tenían educación superior a la escuela secundaria y eran de origen caucásico o asiático. Las diferencias en las ubicaciones de transporte de teléfonos móviles variaron significativamente entre los grupos ocupacionales. Incluían llevarlo en la mano, dejarlo en una mesa, en una bolsa o en el bolsillo de la camiseta, chaqueta o pantalón (bolsillos delanteros o traseros). El 54% de los hombres guardaban sus teléfonos móviles en una mesa/escritorio cuando no los estaban utilizando. Además, el 34,7% de los hombres llevaban sus teléfonos en contacto cercano con el cuerpo, como en los bolsillos o sostenidos en la mano. De los hombres que llevaban sus teléfonos cerca del cuerpo, el 46% lo guardaba en el bolsillo delantero del pantalón. El 36,7% de los hombres calificaron su exposición a CEM-RF como alta o muy alta. Además, el 21,5% consideró que hablar por teléfono móvil contra la oreja era “peligroso” o “muy peligroso”. Durante las llamadas, el 85% de los hombres sostenían el teléfono contra la oreja. De estos, el 56,7% lo sostenía contra la oreja derecha, el 23,9% contra la oreja izquierda y el 19,4% lo sostenía contra ambas orejas de manera casi igual. El resto de los hombres utilizaba auriculares o el altavoz mientras hacían o recibían llamadas. En cuanto a los resultados, se encontró que la percepción de riesgo de las ubicaciones de transporte de teléfonos móviles no estaba asociada con la edad ni con el nivel educativo. Sin embargo, se observó una asociación significativa entre la etnia y la percepción de riesgo, con los participantes caucásicos mostrando una menor percepción de riesgo en comparación con los no caucásicos. No se encontraron asociaciones significativas entre la ocupación y la percepción de riesgo. Los autores concluyeron que las ubicaciones de transporte de teléfonos móviles y la percepción de riesgo en hombres están influenciadas por factores sociodemográficos como la etnia. Sin embargo, no se encontraron asociaciones significativas con la edad, el nivel educativo ni la ocupación. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar los factores sociodemográficos al investigar la percepción de riesgo relacionada con el uso de teléfonos móviles en hombres. Una posible debilidad de este estudio es que la muestra se limitó a hombres reclutados en Melbourne, Australia, lo que limita la generalización de los resultados a otras poblaciones.

7.5. Discusión y conclusiones

Los estudios incluidos en esta revisión ofrecen diversas perspectivas y metodologías, pero convergen en varios temas críticos, como la influencia de factores sociodemográficos y psicológicos, el nivel de conocimiento acerca de los riesgos y la eficacia de estrategias informativas.

La influencia de factores subjetivos y psicológicos en la percepción del riesgo es una constante en los estudios, subrayando la complejidad intrínseca de cómo las personas evalúan los peligros asociados con los CEM-RF. Este hallazgo resalta la necesidad de abordar el componente emocional y cognitivo en cualquier estrategia de comunicación sobre riesgos. En cuanto a las debilidades generales, la falta de representatividad en las muestras, el uso prevalente de autoreportes y las limitaciones geográficas y demográficas en los estudios acentúan la necesidad de cautela al generalizar los resultados. Estas limitaciones sugieren un margen significativo para mejorar la robustez del cuerpo de investigación, lo que podría incluir la diversificación de las muestras y el empleo de métodos que mitiguen los sesgos inherentes a los informes autoevaluados.

En los estudios de Mgbe et al. (2020) y Seo et al. (2020), la percepción de riesgo está significativamente influenciada por el nivel de conocimiento y la fuente de información. Mgbe et al. descubrieron que un porcentaje sustancial de estudiantes en Nigeria tenía poco conocimiento sobre los riesgos de CEM-RF, y muchos obtenían información de fuentes no confiables como Internet. Similarmente, Seo et al. concluyeron que la percepción de riesgo en Corea del Sur estaba más influenciada por factores subjetivos que por un conocimiento objetivo de los CEM-RF. Ambos estudios ponen de relieve la importancia de la educación y la fuente de información en la percepción del riesgo, aunque Seo et al. añaden una dimensión psicológica al destacar el impacto del temor y otros factores emocionales.

Los factores sociodemográficos también juegan un papel considerable, como se observa en los estudios de Mgbe et al. y Zeleke et al. (2022). Mgbe et al. encontraron una relación significativa entre la percepción del riesgo y variables como el género y el nivel de estudios. De forma análoga, Zeleke et al. (2022) observaron que la etnia tenía un impacto significativo en la percepción de riesgo entre hombres en Melbourne, Australia. Estos hallazgos apuntan hacia la necesidad de estrategias de comunicación adaptadas a diversos grupos sociodemográficos.

Zeleke et al. (2021) se concentraron en el efecto de proporcionar información objetiva sobre la exposición a CEM-RF, especialmente de Wi-Fi. A diferencia de los otros estudios que destacan el impacto de la falta de conocimiento o información errónea, este estudio sugiere que la mera provisión de datos objetivos no cambia significativamente la percepción de riesgo, aunque sí aumenta la confianza en la capacidad para protegerse. Este resultado plantea cuestiones sobre cómo se deben diseñar las intervenciones informativas.

En este punto hay que recordar que la investigación de la percepción del riesgo se originó a finales de los años sesenta con los trabajos de Starr (1969). Los primeros hallazgos indicaron que, en contra de la evaluación cuantitativa de riesgos de los expertos, el público se centraba en los aspectos cualitativos de los problemas de riesgo.

La forma habitual de evaluar la percepción del riesgo es mediante cuestionarios. Pero es imprescindible evaluar hasta qué punto las preocupaciones sobre el factor de riesgo evaluado expresadas en los cuestionarios reflejan preocupaciones en la vida cotidiana. En este sentido Wiedemann et al. (2017) evaluaron la percepción del riesgo de los CEM atendiendo a un enfoque multidimensional. Así, al enfoque tradicional de medir la magnitud de la percepción de riesgo, añadieron la relevancia temática del factor para la persona encuestada (frecuencia en la que piensa en el factor de riesgo) y la relevancia discursiva (frecuencia con la que habla del tema con otras personas). De esta manera pudieron observar que un alto grado de percepción de riesgo no iba acompañado siempre de relevancia temática, esto es, no era una preocupación cotidiana para el sujeto. De esta manera, gracias a esa relevancia temática, pudieron diferenciar entre los sujetos que se mostraban preocupados permanentemente (pensaban frecuentemente en el factor de riesgo) y que achacaban un alto grado de riesgo y los sujetos que también expresaron un alto grado de riesgo pero que no estaban preocupados permanentemente (no solían pensar en el factor de riesgo). Los primeros, además, se creían expuestos permanentemente en su vida diaria a los CEM-RF, pero, a su vez, declaran que aceptarían mejor las antenas de telefonía móvil si se redujeran los niveles de exposición.

Otro factor que condiciona la percepción del riesgo, sobre todo relacionado con nuevas tecnologías, son los posibles beneficios percibidos (Weber et al., 2002). Eso explica, en buena parte, el rechazo a la antena (no se percibe su relación con el funcionamiento del móvil) y el uso del móvil, cuyas prestaciones son disfrutadas de manera inmediata por el usuario.

En definitiva, una medida de la percepción del riesgo univariante o convencional puede dar como resultado una estimación inexacta de la percepción de riesgo por parte de la sociedad. Se podrían dar valores exagerados de percepción de riesgo (alto grado de riesgo asociado a la exposición a CEM) y concluir un rechazo importante a las tecnologías de telecomunicaciones cuando en realidad la mayor parte de las personas no piensan con frecuencia en este factor de riesgo. En cambio, una eva-

luación del riesgo teniendo en cuenta la relevancia de ese factor en la vida cotidiana, proporcionaría una descripción más adecuada. Wiedemann et al. (2017) analizaron las respuestas de 2454 participantes concluyendo que el grupo de sujetos que mostraron una alta preocupación por los CEM-RF presentaba, a su vez, inquietudes más afectivas y morales. Por este motivo, esta característica debe tenerse en cuenta en la comunicación de riesgos. Además, estas personas creían firmemente que incluso niveles bajos de exposición podrían ocasionar daños sobre la salud. Pero que, a pesar de estar permanentemente preocupados por esta exposición, una reducción de esta es un argumento relevante para reducir su percepción del riesgo y, así, aceptar estas tecnologías.

En conclusión, la percepción del riesgo de la exposición a CEM-RF es una función compleja de varios factores, incluidos el nivel de conocimiento, las fuentes de información, y las variables sociodemográficas y psicológicas. Los estudios sugieren que las estrategias de comunicación sobre los riesgos asociados a los CEM-RF deben ser multifacéticas, personalizadas y basadas en evidencia científica para ser efectivas. Se recomienda la realización de investigaciones futuras con muestras más diversificadas y metodologías que mitiguen los sesgos inherentes a los informes autoevaluados para construir un cuerpo de conocimiento más robusto en este ámbito.

La pandemia de COVID-19 sin duda habrá condicionado la percepción del riesgo, ha condicionado la comunicación y la evaluación de su efecto deberá ser revisada en el futuro. Además, el número de estudios que han evaluado la percepción del riesgo es muy reducido y con grandes limitaciones en sus diseños.



Conclusiones



8.1. Estudios Experimentales de Exposición Personal a CEM-RF

8.1.1. Exposición personal a CEM-RF

Diversidad de estudios y metodologías: Los 22 estudios revisados emplean una variedad de metodologías y contextos, incluyendo mediciones en áreas urbanas, suburbanas, escuelas, hospitales y hogares. Se utilizan diferentes herramientas como analizadores de espectro, exposímetros personales y técnicas de trazado de rayos, lo que enriquece los enfoques, pero dificulta la comparabilidad de los resultados.

Heterogeneidad en mediciones: Existe variabilidad entre las mediciones personales y las mediciones de tipo “spot”. Las mediciones personales reflejan la exposición en actividades cotidianas, pero pueden ser afectadas por factores como el apantallamiento corporal, mientras que las mediciones “spot” proporcionan un punto de referencia más controlado.

Limitaciones técnicas: Existen limitaciones como la incapacidad para corregir completamente el “cross-talk” y otros factores que afectan la precisión de las mediciones. Además, no se establece una solución universal al tratamiento de valores por debajo del umbral del aparato.

Resultados de exposición: Los niveles de exposición a CEM-RF están por debajo de los límites recomendados por la ICNIRP o las pautas nacionales. Sin embargo, hay variabilidad espacial y temporal en los niveles de exposición.

Limitaciones de los estudios: Algunos estudios tienen limitaciones como la duración corta o la falta de inclusión de mediciones para la tecnología 5G.

Necesidad de investigaciones futuras: Se sugiere un marco común para homogeneizar resultados y facilitar conclusiones más útiles, considerando que la exposición a CEM-RF es una preocupación global.

8.1.2. Evaluación de la Exposición a CEM en Entornos 5G

Diversidad de aspectos y metodologías: Los 19 estudios abordan la exposición a CEM en el contexto de redes 5G, cubriendo desde modelado y simulación hasta mediciones experimentales en diferentes escenarios.

Falta de métodos estandarizados: Se identifica una carencia de protocolos estandarizados para medir y evaluar la exposición a CEM en entornos 5G, debido a tecnologías como la formación de haces y frecuencias de onda milimétrica.

Variabilidad en la exposición: Se destaca la variabilidad temporal y espacial en la exposición a CEM en entornos urbanos y situaciones variables.

Sobreestimación de la exposición: Algunos estudios se enfocan en proporcionar métodos más realistas para evaluar la exposición a CEM en 5G, lo cual es esencial para la regulación y aceptación pública.

Debilidades de los estudios: Muchos estudios se centran en escenarios específicos o tecnologías particulares, lo que podría limitar la aplicabilidad general de sus hallazgos. Además, la rápida evolución de las tecnologías 5G puede volver obsoletos algunos métodos.

Conclusiones y futuras investigaciones: Los estudios aportan una visión integral de los desafíos en la evaluación de la exposición a CEM en 5G, abordando problemas críticos y proponiendo soluciones. Es necesario continuar desarrollando métodos precisos y aplicables a diversos entornos y tecnologías.

8.2. Estudios Experimentales in vivo e in vitro

Evolución de la investigación sobre CEM-RF: Desde la primera generación de teléfonos móviles hasta la tecnología 5G, se han realizado estudios exhaustivos sobre los posibles efectos adversos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) en humanos, enfocándose principalmente en efectos cancerígenos como gliomas y neurinomas acústicos.

Resultados de estudios previos: El informe CCARS de 2019 concluyó que no se demostró relación entre el uso de teléfonos móviles y la aparición de tumores malignos, basado en estudios epidemiológicos, in vivo e in vitro.

Metodología y enfoques recientes: Los estudios de 2020 a 2022 se centran en efectos carcinogénicos y otros, como alteraciones reproductivas y genotoxicidad. Se emplean modelos in vivo (animales) e in vitro (cultivos celulares), abarcando efectos de CEM-RF en el rango de frecuencia de la 5G.

Importancia de la calidad metodológica: Se destaca la heterogeneidad metodológica y la necesidad de seleccionar trabajos de alto impacto y rigor científico para obtener resultados confiables.

Interpretación prudente de resultados: Se advierte sobre la prudencia en interpretar los resultados, ya que los datos obtenidos in vivo e in vitro no son directamente extrapolables a humanos.

Efectos en la reproducción y espermatogénesis: Un metaanálisis de Yu et al. (2021) sugiere una posible relación entre el uso de teléfonos móviles y disminución de la calidad del espermatozoides en ciertas regiones, aunque los estudios son heterogéneos y los resultados no son concluyentes.

Revisión de efectos de la telefonía 5G: Un estudio de Karipidis et al. (2021) y Woods et al. (2021) revisa los posibles efectos de la 5G en la salud humana, indicando una falta de evidencia confirmada de efectos biológicos relevantes a los niveles actuales de exposición.

Importancia de la metodología rigurosa: Se enfatiza la necesidad de metodologías detalladas, rigurosas y transparentes para garantizar la fiabilidad y reproducibilidad de los resultados en estudios bioelectromagnéticos.

Ausencia de evidencia sólida sobre efectos negativos: La mayoría de los estudios no proporcionan evidencia confirmada de efectos negativos significativos de los CEM-RF en la salud humana, particularmente a niveles de exposición inferiores a los límites de la ICNIRP.

Necesidad de investigaciones futuras: Se subraya la importancia de futuras investigaciones con metodologías estandarizadas y detalladas para obtener resultados más concluyentes y reproducibles.

8.3. Estudios Clínicos y Epidemiológicos

8.3.1. Tumores del sistema nervioso central

Evolución de la clasificación de tumores del SNC: La OMS ha actualizado su clasificación de tumores cerebrales y espinales, lo que ha mejorado las prácticas de diagnóstico y permitido un análisis más detallado y preciso en estudios de epidemiología descriptiva.

Registros de tumores y estudios de revisión: Se han utilizado para evaluar las tasas de incidencia y tendencias a largo plazo. Estos estudios no apoyan la hipótesis de una correlación entre el uso de teléfonos móviles y los tumores encefálicos malignos.

CEM-RF y otras neoplasias: Se ha observado un aumento en la incidencia de cáncer de tiroides, pero las causas aún no están claras. La obesidad y el sobrediagnóstico han sido factores considerados sin poderse descartar otros. Para los tumores de glándulas salivares, los estudios no han podido relacionar su incidencia con el uso de telefonía móvil.

Importancia de la metodología en estudios epidemiológicos: Se subraya la necesidad de seguir realizando estudios epidemiológicos con metodologías fiables y seguimientos a largo plazo, así como revisiones sistemáticas y metaanálisis para aclarar dudas existentes.

8.3.2. Efectos de los CEM-RF sobre la salud humana

Sin cambios significativos en investigaciones recientes: No se han producido cambios relevantes desde la publicación del informe previo de CCARS en lo que respecta a los efectos de los CEM-RF sobre la salud humana.

Influencia de los CEM-RF en la fertilidad masculina y testosterona: La relación entre los CEM-RF y la fertilidad masculina, los niveles de testosterona y otras alteraciones relacionadas no están suficientemente analizadas como para establecer una relación de causa y efecto.

Estudios sobre embarazo y desarrollo infantil inconclusos: Las investigaciones sobre la asociación de los CEM en mujeres embarazadas y las posibles alteraciones en el desarrollo posterior de los niños no son concluyentes.

Síntomas subjetivos como insomnio y cefalea: Los síntomas como insomnio y cefalea atribuidos a los CEM son muy subjetivos y pueden estar influenciados por múltiples factores, incluida la propia preocupación de los individuos.

Revisión sistemática sobre niños y adolescentes: La evidencia sobre los efectos de los CEM-RF de dispositivos de comunicación en síntomas subjetivos, cognición y comportamiento en niños y adolescentes es baja o inadecuada. Se recomienda enérgicamente realizar investigaciones sistemáticas y de alta calidad en estos grupos de edad, considerados como sensibles.

Importancia de la imparcialidad en los estudios: Es crucial que los estudios y análisis sistemáticos sobre los efectos de los CEM-RF no estén influenciados por sesgos ideológicos, políticos o de la industria, para obtener resultados fiables y objetivos.

Investigación sobre 5G y salud: Es necesario más investigación de alta calidad sobre los efectos de 5G en la salud humana.

Calidad de la ciencia en CEM-RF: Se enfatiza la importancia de la calidad científica y la imparcialidad en la investigación de los efectos de los CEM-RF.

8.3.3. Hipersensibilidad electromagnética.

No reconocimiento de la hipersensibilidad electromagnética: La HE no está reconocida como una enfermedad en ninguna parte del mundo. La evidencia científica disponible no permite demostrar una relación causal entre exposición a CEM-RF y los síntomas que sufren las personas que refieren HE.

Prevalencia incierta y potencial impacto en salud pública: Estudios estiman que entre el 1% y el 10% de la población podría experimentar algún tipo de HE, pero estas cifras podrían ser inexactas debido a la falta de criterios diagnósticos claros. La HE podría ser un importante problema de salud pública global, incluso si el riesgo individual de desarrollarla es pequeño.

Síntomas asociados con la HE: Los pacientes con HE reportan predominantemente trastornos del sueño, astenia, dolores de cabeza, problemas de memoria y concentración, mareos, dolores musculoesqueléticos, afecciones de la piel, y trastornos del estado de ánimo.

Necesidad de nuevas direcciones en la investigación: Existe la necesidad de adoptar nuevas direcciones en el estudio de la sensibilidad a CEM, considerando la individualidad genética y epigenética de las respuestas a los CEM.

Desarrollo de políticas de salud para la HE: Actualmente no hay esfuerzos significativos para desarrollar políticas de salud que aborden la HE, independientemente de su causa. Hay una necesidad urgente de que la OMS promueva la investigación para generar una base de evidencia sobre las posibles causas de la HE.

Metodología en estudios de HE: Los estudios sobre HE tienen discrepancias metodológicas, como se evidencia en las diferencias en la prevalencia estimada de HE en diferentes estudios. Es esencial investigar con una metodología más rigurosa y representativa.

8.4. Revisión de los límites a la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia ICNIRP (2020), normativa de exposición para trabajadores, SCHEER, Norma IEC 62232

8.4.1. Revisión de los límites a la exposición a CEM-RF ICNIRP (2020)

Las directrices ICNIRP 2020 introducen varios cambios significativos en comparación con las directrices ICNIRP 1998, especialmente en relación con la exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) por encima de 6 GHz, teniendo en cuenta los avances tecnológicos y la implementación de la 5G. Los cambios principales incluyen:

Restricciones adicionales: Las directrices de 2020 establecen restricciones adicionales para evitar exposiciones excesivas a todo el cuerpo y exposiciones locales breves (menos de 6 minutos).

Reducción del área de promedio para exposición local: Por encima de 6 GHz, se ha reducido el área de promedio para la exposición local en un factor de 5, lo que disminuye la exposición máxima permitida en comparación con las directrices de 1998.

Evaluación de escenarios de exposición complejos: Se han incluido medios adicionales para evaluar el cumplimiento de las directrices y una mayor especificación para evaluar escenarios de exposición complejos.

Diferenciación entre exposición local y exposición a todo el cuerpo: Las directrices de 2020 especifican restricciones tanto para la exposición local como para la exposición a todo el cuerpo, con niveles de referencia presentados en las Tablas 5.6 y 5.7.

Exposición en todo el cuerpo y exposición local para frecuencias superiores a 10 GHz: Se aplican límites de densidad de potencia incidente, pero con una mayor especificación sobre el área promedio aplicable. Para la exposición local, se proporcionan niveles de referencia específicos, que son mayores que los que se proporcionan para el cuerpo entero.

Tiempo promedio de exposición: El tiempo promedio de exposición para cuerpo entero y exposición local se ha fijado en 30 minutos hasta 300 GHz.

Aplicabilidad de los niveles de referencia en campo cercano reactivo: Para frecuencias superiores a 2 GHz, los niveles de referencia no se aplican, y la evaluación a la exposición se basa en las restricciones básicas.

Restricciones básicas y niveles de referencia para exposición breve: ICNIRP 2020 también introduce restricciones y niveles de referencia para la “exposición breve”.

Comparativa de niveles de referencia entre ICNIRP 2020 e ICNIRP 1998: Las principales diferencias en los niveles de referencia para frecuencias superiores a 400 MHz se resumen en la Tabla 5.9.

Directrices para individuos expuestos ocupacionalmente vs. público general: Las directrices diferencian entre exposición ocupacional y del público en general, con límites para la exposición ocupacional derivados de aquellos aplicables al público en general escalándolos por un factor de 5.

8.4.2. Niveles de exposición, recomendaciones y normativa para trabajadores

Regulación vigente en España: La regulación principal sobre emisiones radioeléctricas en España se basa en el Real Decreto 1066/2001. Este reglamento establece restricciones para las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria, para la población en general.

Organismo competente: La Secretaría de Estado de Telecomunicaciones e Infraestructuras Digitales del Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital (desde noviembre de 2023, Ministerio de Transformación Digital) es el organismo encargado de supervisar la aplicación del RD 1066/2001.

Restricciones regulatorias: Estas restricciones limitan el acceso a zonas cercanas a las estaciones radioeléctricas donde se puedan superar los niveles máximos establecidos en el RD 1066/2001.

Valores máximos establecidos: Se distinguen dos tipos de parámetros: restricciones básicas (basadas en efectos sobre la salud y consideraciones biológicas) y niveles de referencia (variables físicas para evaluar la exposición práctica).

Adopción de recomendaciones de ICNIRP: Los valores máximos del RD 1066/2001 corresponden a las recomendaciones de ICNIRP-1998, también adoptadas por la Unión Europea en 1999.

Directiva europea sobre seguridad laboral: La Directiva 2013/35/UE, transpuesta en España mediante el RD 299/2016, establece disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la exposición de trabajadores a campos electromagnéticos.

Guía técnica del INSST: El Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo elabora y mantiene una guía técnica para evaluar y prevenir los riesgos derivados de la exposición a CEM en los lugares de trabajo.

Valores límite de exposición para trabajadores: Se definen valores límite de exposición (VLE) relacionados con efectos para la salud y efectos sensoriales, así como niveles de acción operativos.

Responsabilidad del cumplimiento: En el ámbito laboral, el propietario o titular del centro de trabajo es responsable de garantizar que la exposición no supere los VLE.

Comparación de normativas: Existe una congruencia entre las normativas sobre emisiones electromagnéticas en el ámbito de la instalación de estaciones radioeléctricas y la seguridad laboral en relación con los campos electromagnéticos.

Actualización de normativas y equipos de protección: Se reconoce la ausencia de equipos de protección individual certificados para campos electromagnéticos y la necesidad de adaptar medidas de protección para trabajadores especialmente sensibles.

Compatibilidad electromagnética de equipos: Se debe cumplir el Real Decreto 186/2016 para evitar perturbaciones en el funcionamiento de equipos eléctricos y electrónicos.

En resumen, la regulación española en materia de exposición a emisiones electromagnéticas, tanto en el ámbito general como en el laboral, sigue las directrices y recomendaciones de ICNIRP y la Unión Europea, estableciendo valores máximos y protocolos de evaluación y cumplimiento para garantizar la seguridad y la salud tanto del público en general como de los trabajadores expuestos a estos campos.

8.4.3. Revisión dictamen SCHEER (2022)

Actualización de normativas: Se considera necesaria la actualización de los anexos de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo y de la Directiva 2013/35/UE en vista de las últimas pruebas científicas disponibles sobre los CEM-RF (100 kHz - 300 GHz).

Rol del SCHEER: El SCHEER, como comité científico independiente, provee asesoramiento a la Comisión Europea en temas relacionados con la seguridad de los consumidores, la salud pública y el medio ambiente, incluyendo la evaluación de riesgos asociados a los campos electromagnéticos.

Metodología de evaluación: El SCHEER utiliza enfoques científicamente aceptados y transparentes en la evaluación del riesgo, identificando incertidumbres y utilizando terminología armonizada basada en términos internacionalmente aceptados.

Bases para las recomendaciones: Las opiniones y recomendaciones del SCHEER se basan en una revisión exhaustiva de la literatura científica y documentos previos, incluyendo la Opinión SCENIRHR de 2015 y las directrices de la ICNIRP 2020.

Tendencias en sistemas de comunicación: Se observa que los nuevos sistemas de comunicaciones móviles e inalámbricos tienden a usar frecuencias más altas y potencias emitidas más bajas cerca del cuerpo humano. No obstante, hay situaciones en las que la concentración de haces o la radiación pulsada intensa pueden aumentar la exposición durante breves periodos.

Evaluación de las directrices ICNIRP 2020: El SCHEER reconoce que las últimas directrices de exposición a los campos de CEM-RF de la ICNIRP 2020 introducen nuevas cantidades dosimétricas y límites a las mismas, que podrían proteger de manera más efectiva a los seres humanos frente a las aplicaciones tecnológicas emergentes de los CEM-RF.

Recomendación de revisión técnica: Se aconseja realizar una actualización técnica de los anexos de la Recomendación 1999/519/CE y de la Directiva 2013/35/UE en relación con los campos electromagnéticos de radiofrecuencia, para reflejar los avances científicos y tecnológicos en este campo.

8.4.4. Revisión Norma IEC 62232

Propósito de la norma: La IEC 62232 proporciona directrices para determinar la intensidad del campo de radiofrecuencia (RF), la densidad de potencia y la tasa de absorción específica (SAR) cerca de las estaciones base para evaluar la exposición humana a la radiación RF. Esta norma es aplicable a una variedad de sistemas de comunicación inalámbrica, incluyendo UMTS, Wi-Fi, LTE y, recientemente, 5G.

Estructura y contenido: La norma es extensa y detallada, abarcando límites de cumplimiento, métodos de evaluación y medición, incertidumbre y presentación de informes. Está diseñada como un documento de referencia para profesionales en el campo.

Evaluación de exposición in situ: La evaluación in situ debe seguir un procedimiento específico, comenzando con un análisis del sitio para identificar fuentes de RF y terminando con el reporte de resultados. Se debe seleccionar el método de medición y la métrica de exposición adecuada, considerando todas las fuentes de RF presentes.

Consideraciones para beamforming en 5G: Para tecnologías como 5G que utilizan *beamforming*, se recomienda conectar un Equipo de Usuario (UE) con el Equipo Bajo Prueba (EUT) para una evaluación global de los niveles de exposición.

Métodos de medición: La norma distingue entre medidas de banda ancha (Caso A) y medidas con equipos selectivos en frecuencia (Caso B). El Caso A cubre el espectro de RF en una única medida, mientras que el Caso B permite una evaluación más detallada y selectiva.

Extrapolación a máximo de exposición: Es necesaria cuando la evaluación no considera la máxima potencia transmitida. Esto es especialmente relevante para 5G, donde se deben considerar factores como la carga de tráfico real, sistemas MIMO, *beamforming* y el uso dinámico del espectro.

Consideraciones específicas para 5G: La norma requiere tener en cuenta diferencias en la ganancia de las antenas de las estaciones base de 5G, variaciones entre diferentes haces y posibles cambios en el tiempo. También se enfatiza en calcular el máximo real frente al teórico, dada la complejidad de las condiciones operativas en 5G.

Configuración del equipamiento y relaciones matemáticas: La IEC 62232 proporciona detalles sobre la configuración de equipos para realizar la extrapolación y las relaciones matemáticas necesarias, tanto para medidores selectivos en frecuencia como para medidores selectivos en código.

8.5. Percepción del Riesgo

Influencia de factores subjetivos y psicológicos: La percepción del riesgo está fuertemente influenciada por factores emocionales y cognitivos, lo que subraya la importancia de abordar estos aspectos en las estrategias de comunicación sobre los riesgos de los CEM-RF.

Impacto del nivel de conocimiento y fuentes de información: La percepción del riesgo varía significativamente con el nivel de conocimiento sobre los CEM-RF y las fuentes de donde se obtiene la información. Estudios específicos indican que la falta de conocimiento y la desinformación pueden llevar a una percepción de riesgo elevada.

Relevancia de factores sociodemográficos: Factores como el género, el nivel educativo y la etnia afectan la percepción del riesgo, lo que sugiere la necesidad de estrategias de comunicación diferenciadas para diversos grupos sociodemográficos.

Limitaciones en la investigación actual: Hay una necesidad de ampliar y diversificar las muestras en estudios futuros, y de utilizar metodologías que reduzcan los sesgos, especialmente aquellos asociados a los informes autoevaluados.

Efectividad limitada de la información objetiva: Proporcionar información objetiva sobre la exposición a CEM-RF no siempre altera significativamente la percepción del riesgo, aunque puede aumentar la confianza en la capacidad para autoprotgerse.

Diferenciación entre preocupación permanente y percepción del riesgo: Algunos sujetos pueden expresar una alta percepción del riesgo sin que esto se refleje en una preocupación constante en su vida diaria.

Influencia de los beneficios percibidos: La aceptación de tecnologías asociadas a CEM-RF, como la telefonía móvil, puede estar influenciada por la percepción de sus beneficios inmediatos.

Necesidad de comunicación de riesgos multifacética: Para ser efectiva, la comunicación de riesgos debe ser personalizada, basada en evidencia científica y abordar las inquietudes afectivas y morales de los individuos.

Futuras investigaciones: Se sugiere la realización de estudios adicionales, particularmente en el contexto de la pandemia de COVID-19, que puedan haber modificado la percepción del riesgo, así como la exploración de estrategias de comunicación más efectivas.



Recomendaciones



Dada la rápida evolución de las tecnologías de telecomunicaciones, especialmente en el ámbito de la 5G, es esencial mantener una investigación continua que evalúe los posibles efectos sobre la salud humana. Esto incluye estudios tanto in vivo como in vitro, que abarquen una amplia gama de frecuencias y escenarios de exposición. Esta investigación debe ser rigurosa y sus conclusiones deben ser extraídas mediante revisiones sistemáticas y metaanálisis de acuerdo con los protocolos más exigentes.

En consonancia con organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), la Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), la Unión Europea (UE), y otros comités y grupos de investigación internacionales, es aconsejable llevar a cabo estudios prospectivos de cohortes a largo plazo. Estos estudios deben ser más extensos y de alta calidad, con un enfoque particular en la mejora de la evaluación de la exposición individual. La precisión en la dosimetría es crucial, tanto en adultos como en niños, para poder responder a la persistente incertidumbre acerca de los efectos a largo plazo y los extensos periodos de latencia asociados con los tumores cerebrales.

Las entidades reguladoras deben mantenerse al día sobre los últimos hallazgos científicos para asegurar que las normativas y límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) sean adecuados y basados en evidencias científicas. Esto es particularmente relevante cuando se introducen nuevas bandas de frecuencia.

Se recomienda la adopción de un marco común para la medición y evaluación de la exposición a CEM-RF. Esto facilitaría la comparación de resultados entre diferentes estudios y regiones, mejorando así la comprensión global del impacto de las tecnologías de telecomunicación.

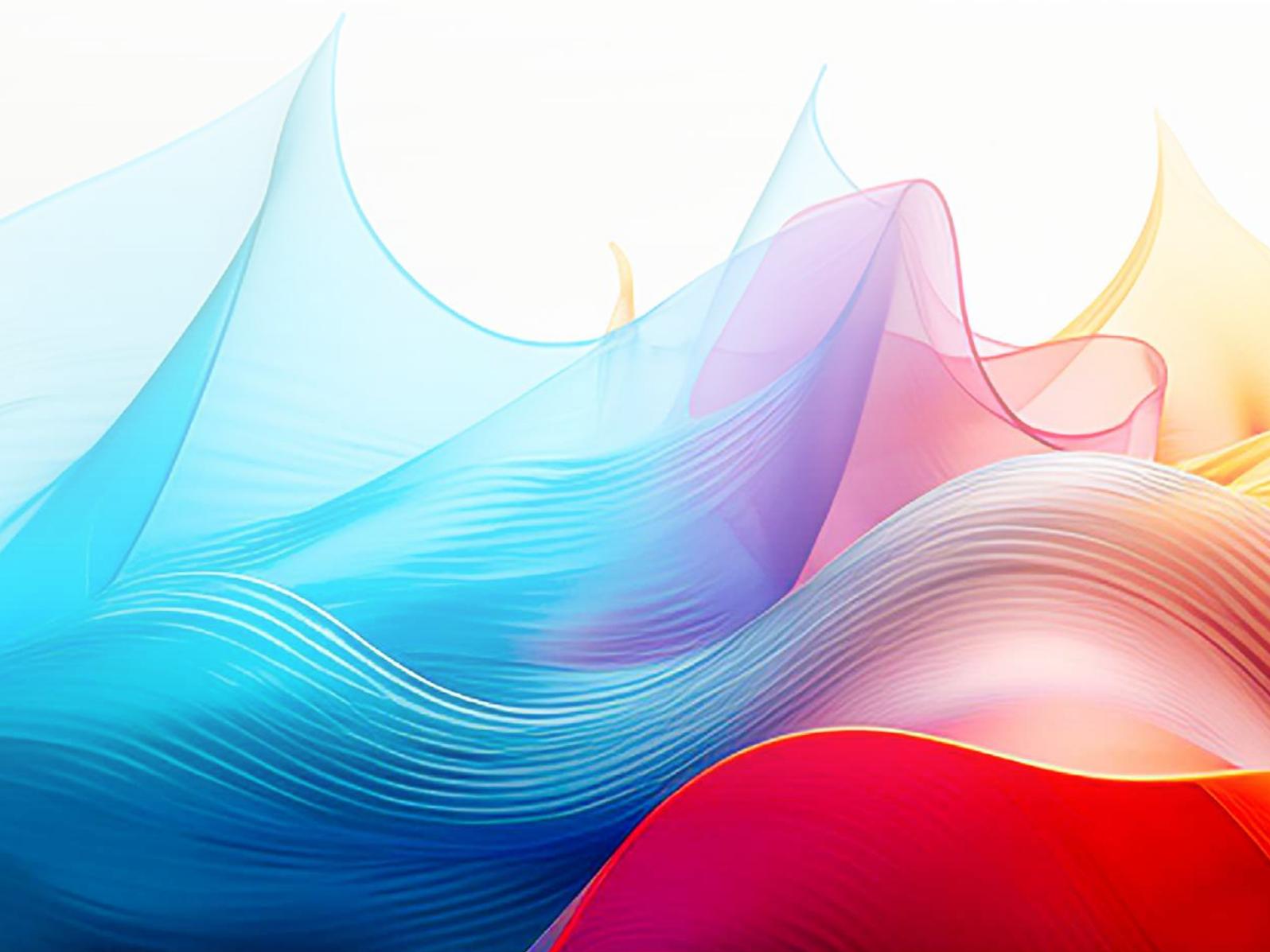
A medida que surgen nuevas aplicaciones y servicios dentro de la tecnología 5G y más allá, es esencial evaluar continuamente su seguridad y su impacto en la exposición a CEM-RF. Esto incluye no solo las frecuencias tradicionales, sino también las bandas de ondas milimétricas y otras innovaciones.

Los estudios demuestran una variabilidad significativa en la exposición a CEM-RF, tanto temporal como espacialmente. Se debe prestar especial atención a esta variabilidad en futuras investigaciones, particularmente en lo que respecta a la exposición a largo plazo y sus posibles efectos en la salud.

Es fundamental mejorar la comunicación y la educación del público sobre los CEM-RF y su impacto en la salud. La información precisa y basada en la ciencia puede ayudar a mitigar preocupaciones infundadas y promover un uso más consciente de las tecnologías de telecomunicaciones. Además, es crucial implementar una estrategia pedagógica orientada a desacreditar mitos y noticias falsas, promover el uso del pensamiento crítico, recurrir a fuentes de información oficiales y confiables, y evitar la difusión de datos no verificados. Al emitir recomendaciones preventivas o de precaución, es importante considerar que estas pueden aumentar la percepción del riesgo. Por lo tanto, se debe evaluar cuidadosamente el balance entre el coste y el beneficio de dichas recomendaciones antes de su publicación.

10

Recomendaciones Informe CCARS (2017-2019)



Se recopila a continuación el capítulo de recomendaciones del anterior informe del CCARS:

Desde la publicación del informe anterior se han producido pocas novedades, por lo que en las recomendaciones 2016 siguen siendo válidas y el CCARS recomienda que se tengan en cuenta.

El próximo despliegue de las nuevas tecnologías basadas en 5G exigirá un notable esfuerzo de información y comunicación de la sociedad para entender qué son las radiofrecuencias, cómo se utilizan en la vida cotidiana y qué mecanismos existen para asegurar el cumplimiento de los límites de exposición.

Los Ministerios de Asuntos Económicos y Transformación Digital y de Sanidad deberían actualizar el Real Decreto 1066/2001 para incorporar y actualizar las nuevas directrices que ha publicado la ICNIRP (2020) y los procedimientos metodológicos para realizar las mediciones de los niveles de exposición.

En coherencia con la OMS, IARC, ICNIRP, UE y otras agencias, comités internacionales y grupos de investigación se recomienda que, como todavía persiste una ligera incertidumbre sobre los efectos a largo plazo, y debido a los largos periodos de latencia de los tumores cerebrales, se deberían realizar estudios de cohortes prospectivos a largo plazo con muestras más amplias y una calidad elevada, especialmente en la evaluación de la exposición individual, con una dosimetría mejorada y precisa en adultos y en la infancia.

Se deberían aumentar los recursos económicos necesarios para investigar en nuestro país los efectos de las RF en la salud, en su dosimetría y en la mejora de la comunicación. Es necesario tener una mayor presencia internacional en los proyectos de investigación y en las actividades de las Agencias y Organismos competentes en la evaluación de riesgos de los CEM (OMS, IARC, UE, ICNIRP).

Persisten algunas personas que mantienen sus dudas e incertidumbre sobre las consecuencias del uso y exposición a las nuevas tecnologías de telecomunicación. Esta inquietud generará respuestas de rechazo a la instalación de nuevas infraestructuras de telecomunicación que dificultan el desarrollo de nuevas tecnologías (5G), la digitalización de la economía y la prestación de un servicio de calidad.

Es necesario aumentar la colaboración y coordinación entre las autoridades estatales, autonómicas y locales con los sectores implicados (Industria, compañías operadoras de Telecomunicaciones, Colegios Profesionales, Sociedades científicas, Consumidores, etc.) para que la sociedad conozca y entienda los métodos que se utilizan en la evaluación, gestión y comunicación de los efectos de los CEM y las RF. Esta colaboración debe propiciar un diálogo abierto y transparente que facilite una información objetiva e independiente que permita una implantación y desarrollo ordenado de las nuevas tecnologías de telecomunicaciones basado en las mejores evidencias científicas.

Las autoridades competentes, y especialmente el Ministerio de Sanidad, deberían realizar campañas de información y educación sobre los efectos de los CEM, sus usos, aplicaciones y los sistemas disponibles que garantizan una exposición segura. Esta información debe ser objetiva y basada en las mejores evidencias científicas aportadas por las agencias y organismos nacionales e internacionales que cuentan con acreditada experiencia, responsabilidad y competencia.

Las actividades informativas deben favorecer un uso razonable de las nuevas telecomunicaciones, especialmente durante la infancia y adolescencia (medio escolar, uso problemático y excesivo, seguridad en Internet y redes sociales, etc.), un uso respetuoso con los demás ciudadanos (intimidad, medios de transporte público, lugares de ocio, etc.) y un uso seguro

(conducción de vehículos). Es necesaria una labor pedagógica para aprender a desmentir bulos y noticias falsas, aplicar el pensamiento crítico, utilizar fuentes de información oficial y fiable y no propagar informaciones no contrastadas. Las recomendaciones de precaución o preventivas deben tener en cuenta que pueden incrementar la percepción del riesgo, por lo que se debe evaluar el coste beneficio de la recomendación antes de hacerla.

11

Bibliografía por capítulos



11.1. Estudios experimentales de exposición personal

- 1999/519/CE: Recomendación del Consejo, de 12 de julio de 1999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz), (30 de julio de 1999). <http://data.europa.eu/eli/reco/1999/519/oj>
- Aris A, Yiannis K, Vasiliki S, Constantin K, Charilaos T, & Kiki T. (2020). RF-EMF Exposure Levels in Sensitive Land use In Greece: Educational Units Census in the Municipality of Korydallos. *Radiat Prot Dosimetry*, 190(2), 193-199. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncaa090>
- Bechta, K., Grangeat, C., Du, J., & Rybakowski, M. (2022). Analysis of 5G Base Station RF EMF Exposure Evaluation Methods in Scattering Environments. *IEEE ACCESS*, 10, 7196-7206. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3142673>
- Bechta K, Grangeat C, Du J, & Rybakowski M. (2022). Analysis of 5G Base Station RF EMF Exposure Evaluation Methods in Scattering Environments. *IEEE Access*, 10, 7196-7206. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3142673>
- Besset D, Selmaoui B, Delanaud S, de Seze R, Leke A, & Stéphan-Blanchard E. (2021). Individual Exposure to Environmental Radiofrequency Electromagnetic Fields in Hospitalized Preterm Neonates. *Bioelectromagnetics*, 42(5), 432-434. <https://doi.org/10.1002/bem.22349>
- Bhatt, C. R., Henderson, S., Brzozek, C., & Benke, G. (2022). Instruments to measure environmental and personal radiofrequency-electromagnetic field exposures: An update. *Physical and Engineering Sciences in Medicine*, 45(3), 687-704. <https://doi.org/10.1007/s13246-022-01146-y>
- Bolte, J. F. B. (2016). Lessons learnt on biases and uncertainties in personal exposure measurement surveys of radiofrequency electromagnetic fields with exposimeters. *Environment International*. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.06.023>
- Bolte, J. F. B., van der Zande, G., & Kamer, J. (2011). Calibration and uncertainties in personal exposure measurements of radiofrequency electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*. <https://doi.org/10.1002/bem.20677>
- Bonato, M., Dossi, L., Chiaramello, E., Fiocchi, S., Gallucci, S., Tognola, G., Ravazzani, P., & Parazzini, M. (2021). Human RF-EMF Exposure Assessment Due to Access Point in Incoming 5G Indoor Scenario. *IEEE JOURNAL OF ELECTROMAGNETICS RF AND MICROWAVES IN MEDICINE AND BIOLOGY*, 5(3), 269-276. <https://doi.org/10.1109/JERM.2020.3042696>
- Bonato, M., Dossi, L., Chiaramello, E., Fiocchi, S., Tognola, G., & Parazzini, M. (2021). Stochastic Dosimetry Assessment of the Human RF-EMF Exposure to 3D Beamforming Antennas in indoor 5G Networks. *APPLIED SCIENCES-BASEL*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/app11041751>
- Brzozek, C., Zeleke, B. M., Abramson, M. J., Benke, K. K., & Benke, G. (2021). Radiofrequency electromagnetic field exposure assessment: A pilot study on mobile phone signal strength and transmitted power levels. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 31(1), 62-69. <https://doi.org/10.1038/s41370-019-0178-6>

- Celaya-Echarri, M., Azpilicueta, L., Karpowicz, J., Ramos, V., Lopez-Iturri, P., & Falcone, F. (2020). From 2G to 5G Spatial Modeling of Personal RF-EMF Exposure Within Urban Public Trams. *IEEE ACCESS*, 8, 100930-100947. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2997254>
- Chiaraviglio L, Lodovisi C, Franci D, Pavoncello S, Merli E, Aureli T, Blefari-Melazzi N, Migliore MD, & Alouini MS. (2022). EMF Exposure in 5G Standalone mm-Wave Deployments: What Is the Impact of Downlink Traffic? *IEEE Open J Commun Soc*, 3, 1445-1465. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2022.3200423>
- Colombi D, Ghasemifard F, Joshi P, Xu B, Di Paola C, & Törnevik C. (2022). Methods and Practices for In Situ Measurements of RF EMF Exposure From 5G Millimeter Wave Base Stations. *IEEE Trans Electromagn Compat*, 64(6), 1986-1993. <https://doi.org/10.1109/TEMC.2022.3212543>
- Colombi, D., Joshi, P., Xu, B., Ghasemifard, F., Narasaraju, V., & Tornevik, C. (2020). Analysis of the Actual Power and EMF Exposure from Base Stations in a Commercial 5G Network. *APPLIED SCIENCES-BASEL*, 10(15). <https://doi.org/10.3390/app10155280>
- Colombi, D., Xu, B., Sanjurjo, D. A., Joshi, P., Ghasemifard, F., Di Paola, C., & Tornevik, C. (2022). Implications of ICNIRP 2020 Exposure Guidelines on the RF EMF Compliance Boundary of Base Stations. *FRONTIERS IN COMMUNICATIONS AND NETWORKS*, 3. <https://doi.org/10.3389/frcmn.2022.744528>
- De Giudici, P., Genier, J.-C., Martin, S., Doré, J.-F., Ducimetière, P., Evrard, A.-S., Letertre, T., & Ségala, C. (2021). Radiofrequency exposure of people living near mobile-phone base stations in France. *Environmental Research*, 194, 110500. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110500>
- Elbasheir MS, Saeed RA, & Edam S. (2022). Measurement and Simulation-based Exposure Assessment at a Far-Field for a Multi-Technology Cellular Site up to 5G NR. *IEEE Access*, 10, 56888-56900. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3177732>
- Franci, D., Coltellacci, S., Grillo, E., Pavoncello, S., Aureli, T., Cintoli, R., & Migliore, M. D. (2020). Experimental Procedure for Fifth Generation (5G) Electromagnetic Field (EMF) Measurement and Maximum Power Extrapolation for Human Exposure Assessment. *ENVIRONMENTS*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/environments7030022>
- Galan-Jimenez, J., & Chiaraviglio, L. (2021). Measuring the impact of ICNIRP vs. Stricter-than-ICNIRP exposure limits on QoS and EMF from cellular networks. *COMPUTER NETWORKS*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.107824>
- Gallucci, S., Bonato, M., Benini, M., Chiaramello, E., Fiocchi, S., Tognola, G., & Parazzini, M. (2022). Assessment of EMF Human Exposure Levels Due to Wearable Antennas at 5G Frequency Band. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(1). <https://doi.org/10.3390/s23010104>
- Gallucci S, Bonato M, Benini M, Chiaramello E, Fiocchi S, Tognola G, & Parazzini M. (2022). Assessment of EMF Human Exposure Levels Due to Wearable Antennas at 5G Frequency Band. *Sensors*, 23(1), 104. <https://doi.org/10.3390/s23010104>
- Hamiti E, Ahma L, Kukaj M, & Maloku E. (2022). Measurements and Analysis of Personal Exposure to RF-EMF Inside and Outside School Buildings: A Case Study at a Kosovo School. *IEEE Access*, 10, 52866-52875. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3174223>

- Héliot F, Loh TH, Cheadle D, Gui Y, & Dieudonne M. (2022). An Empirical Study of the Stochastic Nature of Electromagnetic Field Exposure in Massive MIMO Systems. *IEEE Access*, 10, 63100-63112. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3182236>
- Iakovidis S, Apostolidis C, Manassas A, & Samaras T. (2022). Electromagnetic Fields Exposure Assessment in Europe Utilizing Publicly Available Data. *Sensors*, 22(21), 8481. <https://doi.org/10.3390/s22218481>
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. (2020). Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Phys*, 118(5), 483-524. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001210>
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). (1998). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. *Health Physics*, 74(4), 494-522.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). (2020). Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Physics*, 118(5), Article 5. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001210>
- Iyare, R. N., Volskiy, V., & Vandenbosch, G. A. E. (2021). Comparison of peak electromagnetic exposures from mobile phones operational in either data mode or voice mode. *ENVIRONMENTAL RESEARCH*, 197. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110902>
- Jalilian, H., Eeftens, M., Ziaei, M., & Rössli, M. (2019). Public exposure to radiofrequency electromagnetic fields in everyday microenvironments: An updated systematic review for Europe. *Environmental Research*, 176, 108517. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.05.048>
- Joshi, P., Ghasemifard, F., Colombi, D., & Tornevik, C. (2020). Actual Output Power Levels of User Equipment in 5G Commercial Networks and Implications on Realistic RF EMF Exposure Assessment. *IEEE ACCESS*, 8, 204068-204075. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3036977>
- Knafl, U., Lehmann, H., & Riederer, M. (2008). Electromagnetic field measurements using personal exposimeters. *Bioelectromagnetics*, 29(2), Article 2. <https://doi.org/10.1002/bem.20373>
- Kurnaz C & Aygun T. (2020). Exposure assessment of radio frequency electromagnetic field levels in hospitals of Samsun Province, Turkey. *Environ Sci Pollut Res*, 27(27), 34005-34017. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09669-1>
- Lee, A.-K., & Choi, H.-D. (2020). Brain EM Exposure for Voice Calls of Mobile Phones in Wireless Communication Environment of Seoul, Korea. *IEEE ACCESS*, 8, 163176-163185. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3020831>
- López, A. N., Gonzalez-Rubio, J., Montoya, J. M. V., Garde, E. A., Najera Lopez, A., Gonzalez-Rubio, J., Villalba Montoya, J. M. J. M., Arribas, E., Nájera López, A., Gonzalez-Rubio, J., Villalba Montoya, J. M. J. M., & Arribas Garde, E. (2015). Using multiple exposimeters to evaluate the influence of the body when measuring personal exposition to radio frequency electromagnetic fields. *Compel-the International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, 34(4), Article 4. <https://doi.org/10.1108/COMPEL-10-2014-0268>

- López, I., Rivera, M., Félix, N., & Maestú, C. (2022). It is mandatory to review environmental radiofrequency electromagnetic field measurement protocols and exposure regulations: An opinion article. *Frontiers in Public Health*, 10, 992645. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.992645>
- Lundgren J, Helander J, Gustafsson M, Sjoberg D, Xu B, & Colombi D. (2021). A Near-Field Measurement and Calibration Technique: Radio-Frequency Electromagnetic Field Exposure Assessment of Millimeter-Wave 5G Devices. *IEEE Antennas Propag Mag*, 63(3), 77-88. <https://doi.org/10.1109/MAP.2020.2988517>
- Mallik M, Tesfay AA, Allaert B, Kassi R, Egea-Lopez E, Molina-Garcia-Pardo JM, Wiart J, Gaillot DP, & Clavier L. (2022). Towards Outdoor Electromagnetic Field Exposure Mapping Generation Using Conditional GANs. *Sensors*, 22(24), 9643. <https://doi.org/10.3390/s22249643>
- Markussen, A. C., Sjoemoen, T.-M., Unander, E. H., & Klaeboe, L. (2022). Regular measurements of EMF in a representative Norwegian city-constant exposure over time despite introduction of new technologies. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(10), 694. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10231-4>
- Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. (2022). Informes anuales sobre la exposición a emisiones radioeléctricas. <https://avancedigital.mineco.gob.es/inspeccion-telecomunicaciones/niveles-exposicion/Paginas/informes-anuales-emisiones-radioelectricas.aspx>
- Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas, Pub. L. No. Real Decreto 1066/2001, BOE-A-2001-18256 36217 (2001). <https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/09/28/1066>
- Ministerio de Sanidad. (2021). Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente. <https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/pesma/>
- Mohammed, M. O. A., Elzaki, A. A., Babiker, B. A., & Eid, O. I. (2022). Spatial variability of outdoor exposure to radiofrequency radiation from mobile phone base stations, in Khartoum, Sudan. *Environmental Science and Pollution Research International*, 29(10), 15026-15039. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16555-x>
- Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L. A., & PRISMA-P Group. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Reviews*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1>
- Morelli MS, Gallucci S, Siervo B, & Hartwig V. (2021). Numerical Analysis of Electromagnetic Field Exposure from 5G Mobile Communications at 28 GHz in Adults and Children Users for Real-World Exposure Scenarios. *Int J Environ Res Public Health*, 18(3), 1073. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031073>
- Muhammad NA, Seman N, Apandi NIA, Han CT, Li Y, & Elijah O. (2021). Stochastic Geometry Analysis of Electromagnetic Field Exposure in Coexisting Sub-6 GHz and Millimeter Wave Networks. *IEEE Access*, 9, 112780-112791. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3103969>

- Najera, A., Ramirez-Vazquez, R., Arribas, E., & Gonzalez-Rubio, J. (2020). Comparison of statistic methods for censored personal exposure to RF-EMF data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(2), Article 2. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-8021-z>
- Olorunsola AB, Ikumapayi OM, Oladapo BI, Alimi AO, & Adeoye AOM. (2021). Temporal variation of exposure from radio-frequency electromagnetic fields around mobile communication base stations. *Sci Afr*, 12, e00724. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00724>
- OMS. (2016). ¿Qué son los campos electromagnéticos? <https://www.who.int/es/news-room/questions-and-answers/item/electromagnetic-fields>
- Onishi, T., Ikuyo, M., Tobita, K., Liu, S., Taki, M., & Watanabe, S. (2021). Radiofrequency Exposure Levels from Mobile Phone Base Stations in Outdoor Environments and an Underground Shopping Mall in Japan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(15). <https://doi.org/10.3390/ijerph18158068>
- Paniagua JM, Rufo M, Jiménez A, & Antolín A. (2020). Dimensionless coefficients for assessing human exposure to radio-frequency electromagnetic fields indoors and outdoors in urban areas. *Environ Res*, 183, 109188. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109188>
- Ramirez-Vazquez R, Arabasi S, Al-Taani H, Sbeih S, Gonzalez-Rubio J, Escobar I, & Arribas E. (2020). Georeferencing of Personal Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields from Wi-Fi in a University Area. *Int J Environ Res Public Health*, 17(6), E1898. <https://doi.org/10.3390/ijerph17061898>
- Ramirez-Vazquez R, Escobar I, Thielens A, & Arribas E. (2020). Measurements and analysis of personal exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields at outdoor and indoor school buildings: A case study at a Spanish school. *IEEE Access*, 8, 195692-195702. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3033800>
- Ramirez-Vazquez, R., Escobar, I., Vandenbosch, G. A. E., Vargas, F., Caceres-Monllor, D. A., & Arribas, E. (2023). Measurement studies of personal exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A systematic review. *Environmental Research*, 218, 114979. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114979>
- Ramirez-Vazquez R, Gonzalez-Rubio J, Escobar I, Suarez Rodriguez CDP, & Arribas E. (2021). Personal Exposure Assessment to Wi-Fi Radiofrequency Electromagnetic Fields in Mexican Microenvironments. *Int J Environ Res Public Health*, 18(4), 1857. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041857>
- Röösli, M., Frei, P., Bolte, J., Neubauer, G., Cardis, E., Feychting, M., Gajsek, P., Heinrich, S., Joseph, W., Mann, S., Martens, L., Mohler, E., Parslow, R. C., Poulsen, A., Radon, K., Schüz, J., Thuroczy, G., Viel, J.-F., & Vrijheid, M. (2010). Conduct of a personal radiofrequency electromagnetic field measurement study: Proposed study protocol. *Environmental Health*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-9-23>
- Sagar, S., Dongus, S., Schoeni, A., Roser, K., Eeftens, M., Struchen, B., Foerster, M., Meier, N., Adem, S., & Röösli, M. (2018). Radiofrequency electromagnetic field exposure in everyday microenvironments in Europe: A systematic literature review. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 28(2), 147-160. <https://doi.org/10.1038/jes.2017.13>

- Salem MA, Lim HS, Chua MY, Chien SF, Zarakovitis CC, Ng CY, & Abd Rahman NZ. (2022). Investigation of EMF Exposure Level for Uplink and Downlink of 5G Network Using Ray Tracing Approach. *Int J Technol*, 13(6), 1298-1307. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i6.5928>
- SCHEER. (2022, agosto 22). Public consultation on the Preliminary Opinion on scientific evidence on radiofrequency. https://health.ec.europa.eu/consultations/scheer-public-consultation-preliminary-opinion-scientific-evidence-radiofrequency_en
- Schiavoni A, Bastonero S, Lanzo R, & Scotti R. (2022). Methodology for Electromagnetic Field Exposure Assessment of 5G Massive MIMO Antennas Accounting for Spatial Variability of Radiated Power. *IEEE Access*, 10, 70572-70580. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3188269>
- Schmutz, C., Burgler, A., Ashta, N., Soenksen, J., Karim, Y. B., Shen, C., Smith, R. B., Jenkins, R. H., Mireku, M. O., Mutz, J., Maes, M. J. A., Hirst, R., Chang, I., Fleming, C., Mussa, A., Kesary, D., Addison, D., Maslanyj, M., Toledano, M. B., ... Eeftens, M. (2022). Personal radiofrequency electromagnetic field exposure of adolescents in the Greater London area in the SCAMP cohort and the association with restrictions on permitted use of mobile communication technologies at school and at home. *ENVIRONMENTAL RESEARCH*, 212. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113252>
- Selmaoui, B., Mazet, P., Petit, P.-B., Kim, K., Choi, D., & de Seze, R. (2021). Exposure of South Korean Population to 5G Mobile Phone Networks (3.4-3.8 GHz). *BIOELECTROMAGNETICS*, 42(5), 407-414. <https://doi.org/10.1002/bem.22345>
- Šuka, D., Pejović, P., & Simić-Pejović, M. (2020). Characterization of exposure to electromagnetic emissions from public mobile systems using the time-averaged and integral-based measure. *Radiation Protection Dosimetry*, 190(2), 226-236. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncaa091>
- Šušnjara A, Dodig H, Poljak D, & Cvetković M. (2021). Stochastic-Deterministic Thermal Dosimetry Below 6 GHz for 5G Mobile Communication Systems. *IEEE Trans Electromagn Compat*, 63(5), 1667-1679. <https://doi.org/10.1109/TEMC.2021.3098431>
- Velghe, M., Aerts, S., Martens, L., Joseph, W., & Thielens, A. (2021). Protocol for personal RF-EMF exposure measurement studies in 5th generation telecommunication networks. *Environmental Health : A Global Access Science Source*, 20(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s12940-021-00719-w>
- Wali, S. Q., Sali, A., Allami, J. K., & Osman, A. F. (2022). RF-EMF Exposure Measurement for 5G Over Mm-Wave Base Station With MIMO Antenna. *IEEE ACCESS*, 10, 9048-9058. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3143805>
- Xu, B., Anguiano Sanjurjo, D., Colombi, D., & Törnevik, C. (2021). A Monte Carlo Analysis of Actual Maximum Exposure From a 5G Millimeter-Wave Base Station Antenna for EMF Compliance Assessments. *Frontiers in Public Health*, 9, 777759. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.777759>
- Xu B, Colombi D, Törnevik C, Ghasemifard F, & Chen J. (2021). On Actual Maximum Exposure From 5G Multicolumn Radio Base Station Antennas for Electromagnetic Field Compliance Assessment. *IEEE Trans Electromagn Compat*, 63(5), 1680-1689. <https://doi.org/10.1109/TEMC.2021.3090107>

11.2. Estudios experimentales in vitro e in vivo

- Adlkofer, F. (2014). Whether or not the genotoxic effects of exposure to continuous wave (CW) radio frequency electromagnetic fields (RF-EMF) in HL-60 cells are reproducible, is still an open question. *Mutation Research. Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 771, 71-72. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2014.04.010>
- Bartosova, K., Neruda, M., & Vojtech, L. (2021). Methodology of Studying Effects of Mobile Phone Radiation on Organisms: Technical Aspects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(23), 12642. <https://doi.org/10.3390/ijerph182312642>
- Begimbetova, D. A., Baiskhanova, D. M., Matkarimov, B. T., & Shulgau, Z. T. (2020). In Vitro and In Vivo Effects of Radio-Frequency Electromagnetic Fields. *Eurasian Journal of Applied Biotechnology*, 2, Article 2. <https://doi.org/10.11134/btp.2.2020.1>
- Belyaev IY. (2005). Non-thermal Biological Effects of Microwaves. *Microwave Review*, 11(2), 13-29.
- Halasova, E., Tothova, B., Sivonova, M. K., Okajcekova, T., Skovierova, H., Spanik, P., Pavelek, M., & Frivaldsky, M. (2020). Effect of acute intermediate frequency electromagnetic field exposure on human neural cells. En P. Hockicko & J. Dubovan (Eds.), 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELEKTRO (ELEKTRO 2020). IEEE. <https://doi.org/10.1109/elektro49696.2020.9130239>
- Halgamuge, M. N., Skafidas, E., & Davis, D. (2020). A meta-analysis of in vitro exposures to weak radiofrequency radiation exposure from mobile phones (1990-2015). *Environmental Research*, 184, 109227. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109227>
- Hansen, J. W., Swartz, E. M., Cleveland, J. D., Asif, S. M., Brooks, B., Braaten, B. D., & Ewert, D. L. (2020). A Systematic Review of In Vitro and In Vivo Radio Frequency Exposure Methods. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 13, 340-351. <https://doi.org/10.1109/RBME.2019.2912023>
- Henschenmacher, B., Bitsch, A., de Las Heras Gala, T., Forman, H. J., Fragoulis, A., Ghezzi, P., Kellner, R., Koch, W., Kuhne, J., Sachno, D., Schmid, G., Tsaionun, K., Verbeek, J., & Wright, R. (2022). The effect of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF) on biomarkers of oxidative stress in vivo and in vitro: A protocol for a systematic review. *Environment International*, 158, 106932. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106932>
- Karipidis, K., Mate, R., Urban, D., Tinker, R., & Wood, A. (2021). 5G mobile networks and health-a state-of-the-science review of the research into low-level RF fields above 6 GHz. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 31(4), 585-605. <https://doi.org/10.1038/s41370-021-00297-6>
- Kim, K., Lee, Y. S., Kim, N., Choi, H.-D., Kang, D.-J., Kim, H. R., & Lim, K.-M. (2020). Effects of Electromagnetic Waves with LTE and 5G Bandwidth on the Skin Pigmentation In Vitro. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(1), 170. <https://doi.org/10.3390/ijms22010170>

- Liu, K., Li, Y., Zhang, G., Liu, J., Cao, J., Ao, L., & Zhang, S. (2014). Association between mobile phone use and semen quality: A systemic review and meta-analysis. *Andrology*, 2(4), 491-501. <https://doi.org/10.1111/j.2047-2927.2014.00205.x>
- Martinelli, I., Cinato, M., Keita, S., Marsal, D., Antoszewski, V., Tao, J., & Kunduzova, O. (2022). Cardiac Cell Exposure to Electromagnetic Fields: Focus on Oxidative Stress and Apoptosis. *Biomedicines*, 10(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10050929>
- Pinto, R., Ardoino, L., Giardullo, P., Villani, P., & Marino, C. (2022). Protocol for a systematic review of the in vivo studies on radiofrequency (100 kHz-300 GHz) electromagnetic field exposure and cancer. *Systematic Reviews*, 11(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s13643-022-01898-4>
- Pinto, R., Ardoino, L., Villani, P., & Marino, C. (2023). In Vivo Studies on Radiofrequency (100 kHz-300 GHz) Electromagnetic Field Exposure and Cancer: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 2071. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032071>
- Portelli, L. A., Schomay, T. E., & Barnes, F. S. (2013). Inhomogeneous background magnetic field in biological incubators is a potential confounder for experimental variability and reproducibility. *Bioelectromagnetics*, 34(5), 337-348. <https://doi.org/10.1002/bem.21787>
- Romeo, S., Zeni, O., Scarfi, M. R., Poeta, L., Lioi, M. B., & Sannino, A. (2022). Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure and Apoptosis: A Scoping Review of In Vitro Studies on Mammalian Cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), 2322. <https://doi.org/10.3390/ijms23042322>
- Singh, K. V., Gautam, R., Meena, R., Nirala, J. P., Jha, S. K., & Rajamani, P. (2020). Effect of mobile phone radiation on oxidative stress, inflammatory response, and contextual fear memory in Wistar rat. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(16), 19340-19351. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07916-z>
- Speit, G. (2014). Genotoxic effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF) reported by the REFLEX project are not reproducible. *Mutation Research. Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 771, 73-74. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2014.04.011>
- Speit, G., Gminski, R., & Tauber, R. (2013). Genotoxic effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF) in HL-60 cells are not reproducible. *Mutation Research*, 755(2), 163-166. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2013.06.014>
- Sundaram, V., Mohammed, S., & Zyuzikov, N. (2022). Effects of 150 kHz intermediate frequency electromagnetic radiation on fertility indicators in male rats. *Heliyon*, 8(12), e12228. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12228>
- Tsoy, A., Saliev, T., Abzhanova, E., Turgambayeva, A., Kaiyrylkyzy, A., Akishev, M., Saparbayev, S., Umbayev, B., & Askarova, S. (2019). The Effects of Mobile Phone Radiofrequency Electromagnetic Fields on -Amyloid-Induced Oxidative Stress in Human and Rat Primary Astrocytes. *Neuroscience*, 408, 46-57. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2019.03.058>
- Wood, A., Mate, R., & Karipidis, K. (2021). Meta-analysis of in vitro and in vivo studies of the biological effects of low-level millimetre waves. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 31(4), 606-613. <https://doi.org/10.1038/s41370-021-00307-7>

Yu, G., Bai, Z., Song, C., Cheng, Q., Wang, G., Tang, Z., & Yang, S. (2021). Current progress on the effect of mobile phone radiation on sperm quality: An updated systematic review and meta-analysis of human and animal studies. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 282, 116952. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116952>

11.3. Estudios clínicos y epidemiológicos

Alkayyali T, Ochuba O, Srivastava K, Sandhu JK, Joseph C, Ruo SW, Jain A , Waqar A, Poudel S. (2021) An Exploration of the Effects of Radiofrequency Radiation Emitted by Mobile Phones and Extremely Low Frequency Radiation on Thyroid hormones and Thyroid Gland Histopathology. *Cureus* 13(8): e17329. <https://doi.org/10.7759/cureus.17329>

ANSES – Les Cahiers de la Recherche No 20 - Santé, Environnement, Travail – novembre 2022.

Balmori A. (2022) Evidence for a health risk by RF on humans living around mobile phone base stations: From radiofrequency sickness to cancer. *Environmental Research* 214 113851. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113851>

Benke G, Abramson MJ, Zeleke BM, Kaufman J, Karipidis K, Kelsall, McDonald S, Brzozek C, Feychting M, Brennan S. (2022), The effect of long-term radiofrequency exposure on cognition in human observational studies: A protocol for a systematic review. *Environment International* 106972. 159 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106972>

Bodewein L, Dechent D, Graefrath D, Kraus T, Krause T, Driessen S. (2022) Systematic review of the physiological and health-related effects of radiofrequency electromagnetic field exposure from wireless communication devices on children and adolescents in experimental and epidemiological human studies. *PLOS ONE* | <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268641>

Bosch-Capblanch X, Esu E, Dongus S, Oringanje CM, Jalilian H, Eysers J, Oftedal G, Meremikwu M, Róosli M. (2022) The effects of radiofrequency electromagnetic fields exposure on human self-reported symptoms: A protocol for a systematic review of human experimental studies. *Environment International* Volume 158, January 106953 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106953>

Brahim Selmaoui and YvanTouitou. (2021) Association Between Mobile Phone Radiation Exposure and the Secretion of Melatonin and Cortisol, Two Markers of the Circadian System: A Review. *Bioelectromagnetics* 42:5--17 (2021).

Bushberg JT, Chou CK, Foster KR, Kavet R, Maxson DP, Tell RA, and Ziskin MC. (2020) IEEE Committee on Man and Radiation—COMAR Technical Information Statement: Health and Safety Issues Concerning Exposure of the General Public to Electromagnetic Energy from 5G Wireless Communications Networks. *Health Phys.* 119(2):236–246. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001301>

Cabre-Riera A, van Wel L, Liorni IL, Koopman-Verhoeff ME, Imaz, Ibarluzea J, Huss A, Wiart J, Vermeulen R, Joseph W, Capstick M , Vrijheid M, Cardis E, Róosli , Eeftens ME, Thielens A, Tiemeier H, Guxens M. (2022) Estimated all-day and evening whole-brain radiofrequency electromagnetic fields doses, and sleep in preadolescents. *Environmental Research* 204; 112291 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112291>

- Cao J, Yan W, Li G, Zhan Z, Xinyu Hong X, Yan H. (2022). Incidence and survival of benign, borderline, and malignant meningioma patients in the United States from 2004 to 2018. *I. J. Cancer.*; 151:1874–1888. <https://doi.org/10.1002/ijc.34198>
- Carlberg M, Koppel T, Hedendahl LK and Hardell L. (2020), Is the Increasing Incidence of Thyroid Cancer in the Nordic Countries Caused by Use of Mobile Phones? *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, 9129; <https://doi.org/10.3390/ijerph17239129>
- Castaño-Vinyals G, Sadetzki S, Vermeulen R et al. (2022). Wireless phone use in childhood and adolescence and neuroepithelial brain tumours: Results from the international MOBI-Kids study. *Environment International* 160 107069. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.107069>
- Chou CK. (2022). Controversy in Electromagnetic Safety. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19, 16942. <https://doi.org/10.3390/ijerph192416942>
- Cioffi G, Yeboa DN, Kelly M, Nirav Patil N et al, (2020) Epidemiology of vestibular schwannoma in the United States, 2004–2016. *Neuro-Oncology Advances* 2(1), 1–8, <https://doi.org/10.1093/noajnl/vdaa135>
- Deltour I, Poulsen AH, Johansen C, Feychting M, Johannesen TB, Auvinen A, Schüz J. (2022). Time trends in mobile phone use and glioma incidence among males in the Nordic Countries, 1979–2016. *Environment International* 168; 107487 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107487>
- De Sisto J, Lucas JT, Xu K et al;. (2021) Comprehensive molecular characterization of pediatric radiation-induced high-grade glioma. *NATURE COMMUNICATIONS* 12:5531. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25709-x>
- de Vocht F. (2021). Interpretation of Timetrends (1996–2017) of the Incidence of Selected Cancers in England in Relation to Mobile Phone Use as a Possible Risk Factor. *Bioelectromagnetics* 42:609. <https://doi.org/10.1002/bem.22375>. Epub Oct11.
- de Vocht F and Patricia Albers P. (2022) The population health effects from 5G: Controlling the narrative. *Front. Public Health* 10:1082031. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1082031>
- Dieudonné M. (2020). Electromagnetic hypersensitivity: a critical review of explanatory hypotheses. *Environmental Health* 19:48. <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00602-0>
- Dongus S, Jalilian H, Schürmann D, Rösli M. Health effects of Wi-Fi radiation: a review based on systematic quality evaluation. (2021) *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52:19, 3547-3566, <https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1951549>
- Encuesta sobre Equipamiento y Uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en los Hogares (2022) 29 de noviembre de 2022/ <https://doi.org/10.1093/neuonc/noab150>
- FDA - U.S. FOOD & DRUG ADMINISTRATION. (2020). Review of Published Literature between 2008 and 2018 of Relevance to Radiofrequency Radiation and Cancer February. <https://www.fda.gov/media/135043/download>

- Fan Y, Zhang X, Gao C, Jiang S, Wu H, Liu Z and Dou T. (2022) Burden and trends of brain and central nervous system cancer from 1990 to 2019 at the global, regional, and country levels Archives of Public Health 80:209 <https://doi.org/10.1186/s13690-022-00965-5>
- Farashi, S Bashirian, S Khazaei, M Khazaei, A Farhadinasab. (2022). Mobile phone electromagnetic radiation and the risk of headache: A systematic review and meta-analysis. International Archives of Occupational and Environmental Health,
- FDA Summary of the Food and Drug Administration's (FDA) Review of the Scientific Evidence Regarding the Safety of Radio Frequency Radiation (RFR) (2020) September 24, <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/cell-phones/scientific-evidence-cell-phone-safety>
- Forjaz G, Barnholtz-Sloan JS, Kruchko C et al., (2021). An updated histology recodes for the analysis of primary malignant and nonmalignant brain and other central nervous system tumors in the Surveillance, Epidemiology, and End Results Program. Neuro-Oncology Advances 3(1) ,1-1. <https://doi.org/10.1093/noajnl/vdaa175>
- Frank JW. Electromagnetic fields, 5G and health: what about the precautionary principle? (2021) J Epidemiol Community Health; 75:562-566. <https://doi.org/10.1136/jech-2019-213595>
- Grimes DR. Radiofrequency Radiation and Cancer. (2022) A Review. JAMA Oncol. 8(3):456-461. <https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2021.5964>
- Goldbrunner R, Stavrinou P, Jenkinson MD et al. (2021), EANO guideline on the diagnosis and management of meningiomas. Neuro-Oncology 23 (11), 1821-1834, | <https://doi.org/10.1093/neuonc/noab150>
- Grochans S, Cybulska AM, Siminska D , Korbecki J , Kojder K, Chlubek D and Baranowska-Bosiacka I. (2022).Epidemiology of Glioblastoma Multiforme–Literature Review. Cancers, 14, 2412. <https://doi.org/10.3390/cancers14102412>
- Hardell L. (2021) Health Council of the Netherlands and evaluation of the fifth generation, 5G, for wireless communication and cancer risks. World J Clin Oncol June 24; 12(6): 393-403 <https://doi.org/10.5306/wjco.v12.i6.393>
- Hardell L and Nyberg R (2020) Appeals that matter or not on a moratorium on the deployment of the fifth generation, 5G, for microwave radiation. MOLECULAR AND CLINICAL ONCOLOGY <https://doi.org/10.3892/mco>.
- Hardell L, and Carlberg M. (2020). Health risks from radiofrequency radiation, including 5G, should be assessed by experts with no conflicts of interest. ONCOLOGY LETTERS 20: 15, <https://doi.org/10.3892/ol.2020.11876>
- Health Council of the Netherlands | Background document (2020)/16Ae Background document to the advisory report 5G and health, The Hague, September 2, 2020
- International Commission on the Biological Effects of Electromagnetic Fields (ICBE-EMF) (2022) Environmental Health 21:92. <https://doi.org/10.1186/s12940-022-00900-9>

- Kacprzyk A, Stefura S, Krzysztoćk M, Rok T, Rokita E, Tatoña G. (2021). The Impact of Mobile Phone Use on Tinnitus: A Systematic Review and Meta -Analysis. *Bioelectromagnetics* 42:105--114 <https://doi.org/10.1002/bem.22316>
- Karipidis K, Mate R, Sanagou M, Brzozek C, Urban D, Elwood M. (2021) Mobile phone use and trends in the incidence of cancers of the parotid and other salivary glands. *Cancer Epidemiology* 73 101961. <https://doi.org/10.1016/j.canep.2021.101961>
- Karipidis K, Mate R, Urban D, Tinker R, Wood A. (2021). 5G mobile networks and health—a state-of-the-science review of the research into low-level RF fields above 6 GHz. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* 31:585–605. <https://doi.org/10.1038/s41370-021-00297-6>
- Kenny RPW, Millar EB, Adesanya A, Richmond C, Beyer F, Calderon C , Rankin J , Toledano M, Feychting M. Pearce MS, Craig D, Fiona Pearson F. (2022) The effects of radiofrequency exposure on male fertility and adverse reproductive outcomes: A protocol for two systematic reviews of human observational studies with meta-analysis. *Environment International* 158. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106968>
- Kitahara CM and Chneider AB. Epidemiology of Thyroid Cancer. *Cancer Progress and Priorities*. (2022) *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 31:1284–97. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-21-1440>
- Kitahara CM, Pfeiffer RM, Sosa JA, Shiels MS. (2020) Impact of Overweight and Obesity on US Papillary Thyroid Cancer Incidence Trends (1995–2015). *J Natl Cancer Inst* 112(8): djz202. <https://doi.org/10.1093/jnci/djz202>
- Lagorio S, Blettner M, Baaken D, Feychting M, Karipidis K, Loney T, Orsini N, Roosli M, Paulo MS, Elwood M. (2021). The effect of exposure to radiofrequency fields on cancer risk in the general and working population: A protocol for a systematic review of human observational studies *Environment International* 157. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106828>
- Lee YS, Youn, Lee S (2020) Molecular characteristics of meningiomas *Journal of Pathology and Translational Medicine*; 54: 45-63. <https://doi.org/10.4132/jptm.2019.11.05>
- Leszczynski D. (2022). The lack of international and national health policies to protect persons with self-declared electromagnetic hypersensitivity. *Rev Environ Health*. <https://doi.org/10.1515/reveh-2022-0108>
- Leszczynski D. (2022) Review of the scientific evidence on the individual sensitivity to electromagnetic fields (EHS). *Rev Environ Health*; 37(3): 423–450. <https://doi.org/10.1515/reveh-2021-0038>
- Li DK, Chen H, Ferber JR, Hirst AK, Odouli R. (2020) Association Between Maternal Exposure to Magnetic Field Nonionizing Radiation During Pregnancy and Risk of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder in Offspring in a Longitudinal Birth Cohort. *JAMA Network Open.*; 3(3):e201417. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen>
- Louis DN, Perry A, Wesseling P, Brat DJ, Cree IA, Figarella-Branger D, et al. (2021). The 2021 WHO classification of tumors of the central nervous system: a summary. *Neuro Oncol.*; 23b (8):1231–51

- Low JT, Ostrom QT, Cioffi G, Neff C, Waite KA, Kruchko C and Barnholtz-Sloan JS.(2022) Primary brain and other central nervous system tumors in the United States (2014-2018): A summary of the CBTRUS statistical report for clinicians. *Neuro-Oncology Practice* 9(3), 165–182, | <https://doi.org/10.1093/nop/npac015>
- Luo J, Li H, Deziel NC, Huang H, Zhao N, Ma S, Ni X, Udelsman R, Zhang Z. (2020) Genetic susceptibility may modify the association between cell phone use and thyroid cancer: a population-based case-control study in Connecticut. *Environ Res.* March; 182: 109013. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109013>.
- Maluin SM, Osman K, Jaffar FHF, Ibrahim SF. (2021) Effect of Radiation Emitted by Wireless Devices on Male Reproductive Hormones: A Systematic Review. *Frontiers in Physiology* September | Volume 12 | Article 732420. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.732420>
- Marinelli JP, Nassiri AM, Habermann EB, Lohse, CM, Holton SJ, Carlson ML. (2021). Underreporting of Vestibular Schwannoma Incidence Within National Brain Tumor and Cancer Registries in the United States. *Otol Neurotol.* July 01; 42(6): e758–e763. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000003049>
- Martin S, Giudici P, Genier JC, Doré E, Ducimetière P, Evrard AS, Letertre T, Claire Ségala C. (2021) Health disturbances and exposure to radiofrequency electromagnetic fields from mobile-phone base stations in French urban areas *Environmental Research* Volume 193, February, 110583. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110583>
- Megwalu UC. Thyroid Cancer Incidence and Mortality Trends in the United States: 2000–2018, *VideoEndocrinology.* (2022) , <https://doi.org/10.1089/ve.2022.0019>.
- Melhem JM, Detsky J, Lim-Fat MJ, Perry JR. Updates in IDH-Wildtype Glioblastoma. *Neurotherapeutics* (2022) 19:1705–1723. <https://doi.org/10.1007/s13311-022-01251-6>
- Miller KD, Ostrom QT, Kruchko C, et al. (2021) Brain and Other Central Nervous System Tumor Statistics, *CA CANCER J CLIN* 2021; 71:381–406. <https://doi.org/10.3322/caac.21693>.
- Miranda-Filho A, Lortet-Tieulen J, Bray F, Cao B, Francesch S, Vaccarell S, Dal Maso L. Thyroid cancer incidence trends by histology in 25 countries: a population-based study. *Lancet Diabetes Endocrinol* 2021; 9: 225–34. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(21\)00027-9](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(21)00027-9)
- Morelli MS, Gallucci S, Siervo B, Hartwig V. (2021). Numerical Analysis of Electromagnetic Field Exposure from 5G Mobile Communications at 28 GHZ in Adults and Children Users for Real-World Exposure Scenarios. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 1073. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031073>
- Muhammad Waseem Khan a,b, Jukka Juutilainen a, Anssi Auvinen c,d, Jonne Naarala a, Eero Pukkala c,e, P`aivi Roivainen a (2021) Cohort study on adult hematological malignancies and brain tumors in relation to magnetic fields from indoor transformer stations. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 233 / 113712. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113712>

- Nyberg NR, McCredden JE, Weller SG and Hardell L. (2022) The European Union prioritises economics over health in the rollout of radiofrequency technologies. *Rev Environ Health*. <https://doi.org/10.1515/reveh-2022-0106>
- Okechukwu CE. (2020). Does the Use of Mobile Phone Affect Male Fertility? A Mini Review. *J Hum Reprod Sci*; 13:174-83. <https://doi.org/10.4103/jhrs.JHRS>.
- Ostrom QT, Patil N, Cioffi G, Waite K, Kruchko C, Barnholtz- Sloan JS. (2020) CBTRUS statistical report: primary brain and other central nervous system tumors diagnosed in the United States in 2013–2017. *Neuro Oncol.*; 22 (Supplement_1):iv1–96
- Ostrom QT, Patil N, Cioffi G, Waite K, Kruchko C, Barnholtz- Sloan JS. (2021) Statistical Report: Primary Brain and Other Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2014–2018. *Neuro-Oncology* 23(S3), iii1–iii105. | <https://doi.org/10.1093/neuonc/noab200>
- Ostrom QT, Price M, Neff,C, Cioffi G, Waite KA, Kruchko , Barnholtz-Sloan JS. (2022) CBTRUS Statistical Report: Primary Brain and Other Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2015–2019. *Neuro-Oncology* 24(S5), v1–v95,| <https://doi.org/10.1093/neuonc/noac202>
- Pareja-Peña F, Burgos-Molina AM, Sendra-Portero F, Ruiz-Gómez MJ. (2020). Evidence of the (400 MHz – 3GHz) radiofrequency electromagnetic field influence on brain tumor induction. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL HEALTH RESEARCH*, VOL. 32, NO. 1, 121–130 <https://doi.org/10.1080/09603123.2020.1738352>
- Pinto R, Ardoino L, Giardullo P, Villani P and Marino C. (2022). Protocol for a systematic review of the in vivo studies on radiofrequency (100 kHz–300 GHz) electromagnetic field exposure and cáncer. *Systematic Reviews* 11:29 <https://doi.org/10.1186/s13643-022-01898-4>
- Pophof B, Burns J, Danker-Hopfe H, Dorn H, Egblomass´e-Roidl C, Eggert T, Fuks K, Henschenmacher B, Kuhne J, Sauter C, Gernot Schmid G. (2021). A protocol for a systematic review. *Environment International* 157 106783. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106783>
- Revanth MP, Aparna S, Madankumar PD. Impact of mobile phone radiation on salivary gland: A systematic review (2021). *J Oral Res Rev*; 13:168-73. Website: www.jorr.org https://doi.org/10.4103/jorr.jorr_11_21
- Röösli M, Dongus S, Jalilian H, Feychting M, Eyers J, Esu E,Oringanje CM, Meremikwu M, Xavier Bosch-Capblanch X. (2021) The effects of radiofrequency electromagnetic fields exposure on tinnitus, migraine and non-specific symptoms in the general and working population: A protocol for a systematic review on human observational studies. *Environment International* 157 106852. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106852>
- Red Española de Registros de Cáncer (REDECAN), (2022) Tendencias de la incidencia de los cánceres del encéfalo en España entre 1985 y 2015 y su posible relación con el uso de teléfonos móviles.
- Schuz J, Pirie K, Reeves GK, Floud F, Beral V. (2022) Cellular Telephone Use and the Risk of Brain Tumors: Update of the UK Million Women Study. *NCI J Natl Cancer Inst* 114(5): djac042 <https://doi.org/10.1093/jnci/djac042>

- Siegel RL, Miller KD, Fuchs HE, Jemal A. Cancer statistics, (2022). *CA Cancer J Clin* 2022; 72:7-33. <https://doi.org/10.3322/caac.21708>
- Sofri T, Rahim HA, Abdulmalek MF, Rani KA, Omar MH, Yasin MNM, Jusno M, Soh PJ. (2022). Health Effects of 5G Base Station Exposure: A Systematic Review <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. VOLUME 10.
- SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields Report number: 2021:08 ISSN: 2000-0456 Available at: www.ssm.se
- Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Laversanne M, Soerjomataram I, Jemal A, Bray F. Global Cancer Statistics (2021); GLOBOCAN. *CA Cancer J Clin* 71:209-249. <https://doi.org/10.3322/caac.21660>
- Tatoña G, Kacprzyk A, Roka T, Pytlarczyk M, Pawlak R, Rokita E. (2022). A survey on electromagnetic hypersensitivity: the example from Poland. *ELECTROMAGNETIC BIOLOGY AND MEDICINE*, VOL. 41, NO. 1, 52–59 <https://doi.org/10.1080/15368378.2021.1995873>
- Tettamantia G, Auvineb A, Kerstedt T, Kojob K, Ahlboma A, Sirpa Heinavaara S, Elliott P, Schuzk J, Deltourk I, Kromhout H, Toledano MB, Poulsen AH, Johansenm, Vermeulen L, C, Feychtinga M, Hillerto P. The COSMOS Study Group. (2020) Long-term effect of mobile phone use on sleep quality: Results from the cohort study of mobile phone use and health (COSMOS). *Environment International* 140 105687 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105687>
- Villeneuve, PJ.; Momoli, F, Parent, MÉ.; Siemiatycki, J, Turner, MC, Krewski, D. (2021). Cell phone use and the risk of glioma: Are case-control study findings consistent with Canadian time trends in cancer incidence? *Environ. Res.*, 200, 111283. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111283>
- Wanis HA, Møller H, Ashkan K, and Davies EA. (2021) The incidence of major subtypes of primary brain tumors in adults in England 1995-2017. *Neuro-Oncology* 23(8),1371–1382. |doi:10.1093/neuonc/noab076 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>
- Weed DL. (2022). Do cell phones cause brain tumors? another piece of the puzzle. *J Natl Cancer Inst.*; 114 (5):643-644. <https://doi.org/10.1093/jnci/djac043>
- Wen PY, Packer R. (2021) The 2021 WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System: clinical implications. *Neuro-Oncology* 23(8), 1215–1217, | <https://doi.org/10.1093/neuonc/noab120>
- Westergaard-Nielsen M, Eriksen JG, Larsen SR, Agander KT, Ulhøi BP, Charabi B, Klug TE, Jacobsen H, Johansen J, Kristensen CA, Andersen E, Andersen M, Andreasen S, Bjørndal K. (2021) Salivary gland carcinoma in Denmark: a national update and follow-up on incidence, histology, and outcome. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 278:1179. <https://doi.org/10.1007/s00405-020-06205-2>.
- Whitehouse JP, Howlett M, Federico A, Kool M, Endersby R, G. Gottardo NG. (2021). Defining the molecular features of radiation-induced glioma: A systematic review and meta-analysis. *Neuro-Oncology Advances* 3(1), 1–16, <https://doi.org/10.1093/noajnl/vdab109>

Wild CP, Weiderpass E, Stewart BW, editors (2020). World Cancer Report: Cancer Research for Cancer Prevention. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer (IARC). Available from: <http://publications.iarc.fr/586>

Withrow DR, Anderson H, Armstrong GT, et al. (2022) Pooled Analysis of Meningioma Risk Following Treatment for Childhood Cancer. *JAMA Oncol.* 8(12):1756-1764. <https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2022.4425>

Wood A, Mate R, Karipidis K. Meta-analysis of in vitro and in vivo studies of the biological effects of low-level millimetre waves. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* (2021) 31:606–613 <https://doi.org/10.1038/s41370-021-00307-7>

World Health Organization. (2020). 5G Mobile Networks and Health. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/5gmobile-Mnetworks-and-health>

Zurek M, Rzepakowska A, Jasak K and Niemczyk K. (2022). The Epidemiology of Salivary Glands Pathologies in Adult Population over 10 Years in Poland—Cohort Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19, 179. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010179>

11.4. Revisión de niveles de exposición ICNIRP 2020, normativa para trabajadores, SCHEER y norma IEC 62232

1999/519/CE: Recomendación del Consejo, de 12 de julio de 1999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz) (OJ L 199 30.07.1999, p. 59, ELI: <http://data.europa.eu/eli/reco/1999/519/oj>). 1999.

Comisión Europea, Dirección General de Empleo, Asuntos Sociales e Inclusión, Guía no vinculante de buenas prácticas para la aplicación de la Directiva 2013/35/UE sobre campos electromagnéticos. Volumen 1, Guía práctica, Oficina de Publicaciones, 2015, <https://data.europa.eu/doi/10.2767/626645>; 2015.

Corrección de errores de la Directiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (campos electromagnéticos) (decimoctava Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE). *ES Diario Oficial de la Unión Europea*, 24.5.2004, L 184/1-9. 2004.

Directiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 26 de junio de 2013 sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos) (vigésima Directiva específica con arreglo al artículo 16, apartado 1, de la Directiva 89/391/CEE), y por la que se deroga la Directiva 2004/40/CE. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 29.6.2013. Págs: L 179/1-21. 2004.

Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos en los lugares de trabajo - Código: GT.126.1.19, NIPPO: 871-19-061-1. <https://www.insst.es/>. 2019.

- ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure To Time-Varying Electric, Magnetic And Electromagnetic Fields (Up To 300 GHz). International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP Publication. Published In: Health Physics 74 (4):494-522; 1998.
- ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). Health Phys 118(5):483-524; 2020.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) (2020). Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). Health 41 Physics 118(5):483-524. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001210>
- International Electrotechnical Commission (IEC). 62232:2022 Determination of RF field strength, power density and SAR in the vicinity of base stations for the purpose of evaluating human exposure. Edition 3.0. 2022-10-14
- Orden CTE/23/2002, de 11 de enero, por la que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones. BOE núm. 11 sábado 12 enero 2002, págs 1528-1536. 2002.
- Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas. BOE núm. 234 sábado 29 septiembre 2001, págs 36217-36227.
- Real Decreto 123/2017, de 24 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico. Núm. 57 miércoles 8 de marzo de 2017 Sec. I. Pág. 17029-17095. 2017.
- Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos. BOE Núm. 113, martes 10 de mayo de 2016 Sec. I. Págs. 31015-31038. 2016.
- Real Decreto 299/2016, de 22 de julio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos. BOE núm. 182, viernes 29 de julio de 2016, Págs. 52811-52829. 2016.
- Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks - SCHEER -. Opinion on the need of a revision of the annexes in the Council Recommendation 1999/519/EC and Directive 2013/35/EU, in view of the latest scientific evidence available with regard to radiofrequency (100 kHz – 300 GHz), The SCHEER aprobó este documento el 15 de agosto de 2022.
- Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER) (2018), Memorandum on Weight of Evidence and Uncertainties – Revision 2018. <https://doi.org/10.2875/386011>
- Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR) (2015) Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). <https://doi.org/10.2772/75635>.

11.5. Percepción del riesgo

- Ahmed, W., Vidal-Alaball, J., Downing, J., & Lopez Segui, F. (2020). COVID-19 and the 5G Conspiracy Theory: Social Network Analysis of Twitter Data. *JOURNAL OF MEDICAL INTERNET RESEARCH*, 22(5), e19458. <https://doi.org/10.2196/19458>
- Aurengo, A. (2014). Exposition aux ondes électromagnétiques. La santé publique ne doit pas être un enjeu politique. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 198(1), 147-150. [https://doi.org/10.1016/S0001-4079\(19\)31366-4](https://doi.org/10.1016/S0001-4079(19)31366-4)
- Bahja, M., & Safdar, G. A. (2020). Unlink the Link Between COVID-19 and 5G Networks: An NLP and SNA Based Approach. *IEEE ACCESS*, 8, 209127-209137. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3039168>
- Boehmert, C., Freudenstein, F., & Wiedemann, P. (2020). A systematic review of health risk communication about EMFs from wireless technologies. *JOURNAL OF RISK RESEARCH*, 23(5), 571-597. <https://doi.org/10.1080/13669877.2019.1592211>
- Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS). (2020). Informe sobre radiofrecuencias y salud (2016-2019). [https://ccars.org.es/attachments/article/264/Informe%20sobre%20Radiofrecuencias%20y%20Salud%202016%20-%202019%20\(CCARS\).PDF](https://ccars.org.es/attachments/article/264/Informe%20sobre%20Radiofrecuencias%20y%20Salud%202016%20-%202019%20(CCARS).PDF)
- de Vocht, F., & Albers, P. (2022). The population health effects from 5G: Controlling the narrative. *Frontiers in Public Health*, 10, 1082031. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1082031>
- European Commission. (2020, junio 9). 5G and the coronavirus: The one myth we've all heard of. Medium. <https://europeancommission.medium.com/5g-and-the-coronavirus-the-one-myth-weve-all-heard-of-10d33de26045>
- Fioranelli, M., Sepehri, A., Roccia, M. G., Jafferany, M., Olisova, O. Y., Lomonosov, K. M., & Lotti, T. (2020). RETRACTED: 5G Technology and induction of coronavirus in skin cells. *Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents*, 34(4). <https://doi.org/10.23812/20-269-E-4R>
- Frith, J., Campbell, S., & Komen, L. (2022). Looking back to look forward: 5G/COVID-19 conspiracies and the long history of infrastructural fears. *MOBILE MEDIA & COMMUNICATION*. <https://doi.org/10.1177/20501579221133950>
- Giotakos, O. (2022). Fake news in the age of COVID-19: Evolutional and psychobiological considerations. *Psychiatrike = Psychiatriki*, 33(3), 183-186. <https://doi.org/10.22365/jpsych.2022.087>
- Hardell, L., & Nyberg, R. (2020). Appeals that matter or not on a moratorium on the deployment of the fifth generation, 5G, for microwave radiation. *Molecular and Clinical Oncology*, 12(3), 247-257. <https://doi.org/10.3892/mco.2020.1984>
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). (2020). Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Physics*, 118(5), Article 5. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001210>

- International Commission on the Biological Effects of Electromagnetic Fields (ICBE-EMF). (2022). Scientific evidence invalidates health assumptions underlying the FCC and ICNIRP exposure limit determinations for radiofrequency radiation: Implications for 5G. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 21(1), 92. <https://doi.org/10.1186/s12940-022-00900-9>
- Jungmann, S. M., Brand, S., Kolb, J., & Witthoeft, M. (2020). Do Dr. Google and Health Apps Have (Comparable) Side Effects? An Experimental Study. *CLINICAL PSYCHOLOGICAL SCIENCE*, 8(2), 306-317. <https://doi.org/10.1177/2167702619894904>
- Langford, A., & Wessely, S. (2015). Breaking news: Can the media make you sick? *JOURNAL OF PSYCHOSOMATIC RESEARCH*, 79(3), 173-174. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2015.06.007>
- Langguth, J., Filkukova, P., Brenner, S., Schroeder, D. T., & Pogorelov, K. (2023). COVID-19 and 5G conspiracy theories: Long term observation of a digital wildfire. *INTERNATIONAL JOURNAL OF DATA SCIENCE AND ANALYTICS*, 15(3), 329-346. <https://doi.org/10.1007/s41060-022-00322-3>
- Mazar, H., & Ball, D. J. J. (2021). Strengths and Limitations of Conventional Approaches to the Risk Assessment and Management of EMF Exposure From 5G and B5G Networks. *FRONTIERS IN COMMUNICATIONS AND NETWORKS*, 2. <https://doi.org/10.3389/frcmn.2021.731172>
- Mgbe EK, Mgbe CG, Ajare CE, & Nnamani AO. (2020). Awareness and Perception of Undergraduate Students towards Risk Associated with Wireless Electromagnetic Field Radiation Exposure in Enugu, South-East Nigeria: A Cross-sectional Study. *J Clin of Diagn Res*, 14(7), TC01-TC09. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2020/43369.13853>
- Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L. A., & PRISMA-P Group. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Reviews*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1>
- Monaci, S. (2021). The Pandemic of Conspiracies in the COVID-19 Age: How Twitter Reinforces Online Infodemic. *ONLINE JOURNAL OF COMMUNICATION AND MEDIA TECHNOLOGIES*, 11(4), e202120. <https://doi.org/10.30935/ojcm/11203>
- OMS. (2005). Estableciendo un diálogo sobre los riesgos de los campos electromagnéticos (Vol. 1). Departamento de protección del ambiente humano, Organización Mundial de la Salud.
- Pradhan R, Rowley J, & Sagar M. (2022). A study of risk perception of radiofrequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure from mobile phones and base stations in India. *Contemp South Asia*, 30(3), 366-379. <https://doi.org/10.1080/09584935.2022.2072472>
- Ramirez-Vazquez, R., Escobar, I., Vandenbosch, G. A. E., Vargas, F., Caceres-Monllor, D. A., & Arribas, E. (2023). Measurement studies of personal exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A systematic review. *Environmental Research*, 218, 114979. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114979>
- Rovetta, A., & Bhagavathula, A. S. (2020). Global Infodemiology of COVID-19: Analysis of Google Web Searches and Instagram Hashtags. *JOURNAL OF MEDICAL INTERNET RESEARCH*, 22(8), e20673. <https://doi.org/10.2196/20673>

- Rubik, B., & Brown, R. R. (2021). Evidence for a connection between coronavirus disease-19 and exposure to radiofrequency radiation from wireless communications including 5G. *Journal of Clinical and Translational Research*, 7(5), 666-681.
- Seo MS, Choi JW, Kim KH, & Choi HD. (2020). The Relationship between Risk Perception of Cell Phones and Objective Knowledge of EMF in Korea. *Int J Environ Res Public Health*, 17(19), E7207. <https://doi.org/10.3390/ijerph17197207>
- Slovic, P. (1987). Perception of Risk. *Science*, 236(4799), 280-285. <https://doi.org/10.1126/science.3563507>
- Starr, C. (1969). Social Benefit Versus Technological Risk. *Science*, 165(3899), 1232-. <https://doi.org/10.1126/science.165.3899.1232>
- Vijayan, K., & Eslick, G. D. (2022). A meta-analysis of the risk of salivary gland tumors associated with mobile phone use: The importance of correct exposure assessment. *REVIEWS ON ENVIRONMENTAL HEALTH*. <https://doi.org/10.1515/reveh-2022-0055>
- Weber, E., Blais, A.-R., & Betz, N. (2002). A Domain-Specific Risk-Attitude Scale: Measuring Risk Perceptions and Risk Behaviors. *J Behav Decis Mak*, 15, 263.
- WHO. (2020a). COVID-19 Mythbusters – World Health Organization. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/myth-busters>
- WHO. (2020b). WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19—11 March 2020. <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>
- Wiedemann, P. M., Freudenstein, F., Boehmert, C., Wiart, J., & Croft, R. J. (2017). RF EMF Risk Perception Revisited: Is the Focus on Concern Sufficient for Risk Perception Studies? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(6), 620. <https://doi.org/10.3390/ijerph14060620>
- Wilson, R. S., Zwickle, A., & Walpole, H. (2019). Developing a Broadly Applicable Measure of Risk Perception. *Risk Analysis: An Official Publication of the Society for Risk Analysis*, 39(4), 777-791. <https://doi.org/10.1111/risa.13207>
- Zelege, B. M., Brzozek, C., Bhatt, C. R., Abramson, M. J., Freudenstein, F., Croft, R. J., Wiedemann, P., & Benke, G. (2021). Wi-fi related radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF): A pilot experimental study of personal exposure and risk perception. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 19(1), 671-680. <https://doi.org/10.1007/s40201-021-00636-7>
- Zelege, B. M., Brzozek, C., Bhatt, C. R., Abramson, M. J., Freudenstein, F., Croft, R. J., Wiedemann, P. M., & Benke, G. (2022). Mobile phone carrying locations and risk perception of men: A cross-sectional study. *PloS One*, 17(6), e0269457. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269457>
- Zhu, N., Zhang, D., Wang, W., Li, X., Yang, B., Song, J., Zhao, X., Huang, B., Shi, W., Lu, R., Niu, P., Zhan, F., Ma, X., Wang, D., Xu, W., Wu, G., Gao, G. F., Tan, W., & China Novel Coronavirus Investigating and Research Team. (2020). A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. *The New England Journal of Medicine*, 382(8), 727-733. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001017>

12

Siglas y acrónimos



5G: Quinta Generación

AAPC: Average annual percentage change

ADN: Ácido Desoxirribonucleico

AIHW: Australian Institute of Health and Welfare

ANFR: Agencia Nacional de Frecuencias (Francia)

ANSES: Agence Nationale de la Sécurité Sanitaire de l'Alimentation de l'Environnement et du Travail (France)

APC: Annual percent change

AAPC: Average annual percent change

ARPANSA: Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency

A: Péptido Beta Amiloide

BWDM: Medidores de Densidad de Potencia de Banda Ancha

CBTRUS: Central Brain Tumor Registry of the United States

CCARS: Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud

CDC: Centers for Disease Control and Prevention

CDMA2000: Acceso Múltiple por División de Código 2000

CE: Comunidad Europea

CEM: Campos Electromagnéticos

CEM-RF: Campos Electromagnéticos de Radiofrecuencia

COMAR: Committee on Man and Radiation

CORT: Corticosterona

DECT: Digital Enhanced Cordless Telecommunications

DP: Densidad de Potencia

DUT: Dispositivo Bajo Prueba (del inglés "Device Under Test")

EA: Enfermedad de Alzheimer

EBTM: Estaciones base de telefonía móvil

E-field: Campo Eléctrico

ELF: Extremely Low Frequency (Frecuencia Extremadamente Baja)

EUT: Equipo Bajo Prueba

FDA: Food and Drug Administration

FSH: Hormona Estimulante del Folículo

GB: Glioblastoma

GJU: Universidad Germano-Jordana

GRADE: Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluation

GSM: Sistema Global para Comunicaciones Móviles

GSMA: Global System for Mobile Communications

HE: Hipersensibilidad electromagnética

HPA: Eje Hipotalámico-Pituitario-Suprarrenal

IARC: Internacional Agency for Research of Cancer

IC: Intervalo de confianza

ICBE-EMF: International Commission on the Biological Effects of Electromagnetic Fields

ICES: Internacional Comité de Seguridad Electromagnética

ICNIRP: Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante

ICTA: Autoridad de Tecnologías de la Información y la Comunicación

IEC: Comisión Electrotécnica Internacional

IEEE: Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

IL: Interleukina

INE: Instituto Nacional de Estadística

IoT: Internet of Things/Internet de las cosas

IR: Índices de riesgo

LTE: Long-Term Evolution

MEN: Meningioma

mMIMO: Múltiples Entradas y Múltiples Salidas Masivas

MMP: Potencial de Membrana Mitocondrial

mmW: Onda Milimétrica

mmW: Onda Milimétrica

MRT: Técnica de Transmisión de Máxima Tasa

NCI: National Cancer Institute

NCRAS: National Cancer Registration and Analysis Service (England)

NF2: Neurofibromatosis tipo 2

NICU: Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales

NORDCAN: Nordic Cancer

NPCR: National Program of Cancer Registries

NR: New Radio

NTP: National Toxicology Program

OHAT: Office of Health Assessment and Translation

OMS: Organización Mundial de la Salud

OMS: Organización Mundial de la Salud

PDE: Dispositivos de Exposición Personal Distribuida

PEM: Medidores de Exposición Personal

PESMA: Plan Estratégico de Salud y Medioambiente

PET: Tomografía por emisión de positrones

PIC: Citocinas Proinflamatorias

PRISMA: Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

QoS: Calidad del Servicio

REDECAN: Red Española de Registros de Cáncer

RF: Radiofrecuencia

ROS: Especies Reactivas de Oxígeno

RR: Riesgo relativo

SAR: Tasa de Absorción Específica

SCAMP: Study of Cognition, Adolescents and Mobile Phones

SCHEER: Comité Científico de Salud, Medio Ambiente y Riesgos Emergentes

SEER: The Surveillance, Epidemiology, and End Results

SNC: Sistema Nervioso Central

SNS: Sistema Nacional de Salud

SV: Schwannoma vestibular

TC: Tomografía computarizada

TI: Tasa de incidencia

TIC: Tecnologías de Información y Comunicación

TM: Teléfono móvil

TNF: Factor de Necrosis Tumoral

UE: Equipo de usuario

UMTS: Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles

WCDMA: Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha

WHO: World Health Organization (Organización Mundial de la Salud)



Informe sobre Radiofrecuencias y Salud (2020-2022)

Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS)

2023