

INFORME SOBRE RADIOFRECUENCIAS Y SALUD (2016-2019)



©2020 by *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: Abril 2020

Impresión: AINERGESA SERVICES S.L, LANGAYO

ISBN: 978-84-936910-8-0

Depósito Legal: M-26979-2020



*INFORME SOBRE
RADIOFRECUENCIAS Y SALUD
(2016-2019)*

Abril 2020

PRESENTACIÓN

Con la publicación de este nuevo informe, el CCARS consolida su trayectoria como referente en España en materia de evaluación del estado de la ciencia sobre los efectos de las emisiones radioeléctricas sobre la salud. Nuestro objetivo es facilitar a la sociedad una información basada en las mejores evidencias científicas desde una posición libre e independiente que tenga en cuenta la dimensión científica, tecnológica, jurídica, institucional y social de exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias.

El CCARS asume la responsabilidad de colaborar con todas las instituciones y organizaciones, públicas y privadas, interesadas en la evaluación y comunicación de riesgos para la salud y la exposición a radiofrecuencias. Ofrece su experiencia y conocimiento a los medios de comunicación y a los responsables políticos en los ámbitos estatal, autonómico y local para informar de forma clara y sencilla.

El presente documento supone la sexta edición del Informe del CCARS y comprende el período de julio de 2016 a diciembre de 2019¹.

Actualmente, la composición del Comité es la siguiente:

- Presidente: Sr. D. Francisco Javier Lafuente Martínez, ex 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.
- Secretario General: Miguel Ángel García García-Tuñón, investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Director Científico: Francisco Vargas, Médico-Epidemiólogo. Diplomado en Métodos Estadísticos, Epidemiológicos y Operacionales aplicados a la Medicina y la Salud Pública por la Universidad Libre de Bruselas. Master en Salud Pública por la Escuela Nacional de Sanidad. Consejero Técnico en el Ministerio de Sanidad.
- Vocales:
 - Fernando Las-Heras Andrés, Ingeniero de Telecomunicación, Doctor Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid

¹ Se incluye en este informe las Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz) de la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), publicadas en marzo de 2020.

y Catedrático de Universidad en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Oviedo

- José Ignacio Alonso Montes, Ingeniero de Telecomunicación y Doctor Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid, y Catedrático en el Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).
- Narcís Cardona, Ingeniero de Telecomunicación por la UPC, Doctor Ingeniero de Telecomunicación y Catedrático de la Universitat Politècnica de València.
- Concepción García Pardo es Doctora Ingeniera en Telecomunicación por la Universidad de Lille 1, (USTL, Francia), y la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT, España) desde 2012.
- Alberto Nájera López es Físico y Doctor en Neurociencias por la Universidad de Salamanca. Es profesor e investigador del área de Radiología y Medicina Física en la Facultad de Medicina de Albacete de la Universidad de Castilla-La Mancha.

Colaboradores

- Agustín Gregorio Zapata, Doctor en Biología y Catedrático de Biología Celular de la Universidad Complutense de Madrid.
- Rafael Herranz Crespo, Licenciado en Medicina y Especialista en Oncología Radioterápica por la Universidad Complutense de Madrid, Profesor Universitario en las Universidades de Zaragoza, del País Vasco, y Complutense de Madrid desde 1973 hasta 2014.
- Ricardo de Ángel, Doctor en Derecho por la Universidad de Granada y Catedrático de Derecho Civil en la Facultad de Derecho de la Universidad de Deusto.

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.

Índice de contenido

	PRESENTACIÓN	5
1	RESUMEN EJECUTIVO	13
2	PRÓLOGO	19
3	METODOLOGÍA.....	21
	3.1 Selección de publicaciones para el informe	21
4	DOSIMETRÍA Y EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN	25
	4.1 Nuevas Fuentes de Radiofrecuencia: Redes 5G	25
	4.1.1 Comunicaciones Móviles 5G: Radiofrecuencia, Espectro y Acceso Radio	25
	4.1.2 Plan Nacional sobre 5G	31
	4.1.3 Exposición electromagnética en 5G	35
	4.1.4 Conclusiones.....	38
	4.2 Tecnologías inalámbricas y niveles de exposición a las ondas electromagnéticas de RF.	39
	4.2.1 Introducción.....	39
	4.2.2 Parámetros técnicos de las redes WLAN: Influencia en los límites de exposición 40	
	4.2.3 Evaluación de la exposición. Estudios sobre las tecnologías inalámbricas.....	47
	4.3 Otros dispositivos inalámbricos en bandas de frecuencias de uso común	59
	4.4 Ondas milimétricas	63
	4.4.1 5G y ondas milimétricas. Análisis y consideraciones	64
	4.5 Normativa y niveles de exposición en España	66
5	ESTUDIOS EXPERIMENTALES IN VIVO E IN VITRO	69
	5.1 Estudios experimentales in vivo.....	70
	5.2 Estudios in vitro	77
6	ESTUDIOS CLÍNICOS Y EPIDEMIOLOGÍCOS	81
	6.1 Estudios Clínicos y Epidemiológicos. Revisión de las evidencias sobre Tumores del Encéfalo y del Sistema Nervioso Central	81
	6.1.1 Epidemiología descriptiva de los tumores primarios cerebrales (encéfalo) y del Sistema Nervioso Central.....	81
	6.1.2 Revisión de evidencias. Estudios de análisis de las tasas de incidencia de tumores cerebrales y del SNC.....	89
	6.1.3 Revisiones sistemáticas y metaanálisis. Estudios casos-control y cohortes	94
	6.1.4 Revisiones y evaluación de evidencias de Agencias y Comités Internacionales	105
	6.1.5 Conclusiones.....	108
	6.1.6 Recomendaciones	110

6.1.7	Anexo 1. Resumen de estudios sobre Tumores Cerebrales y del Sistema Nervioso Central	111
6.2	Efectos de las Radiofrecuencias sobre la salud e Hipersensibilidad Electromagnética (HE).....	120
6.2.1	Definición de la Hipersensibilidad Electromagnética (HE)	120
6.2.2	¿Son seguros los límites de exposición a CEM-RF?	121
6.2.3	Revisión de las evidencias sobre HE y otros efectos sobre la salud.....	127
6.2.4	Evaluación de evidencias de Agencias y Comités Internacionales	130
6.2.5	Revisiones sistemáticas y metaanálisis. Estudios de cohortes y casos-control. Síntomas auto percibidos e hipersensibilidad electromagnética.....	134
6.2.6	Conclusiones.....	148
6.2.7	Anexo 2. Resumen de estudios sobre Hipersensibilidad electromagnética (HE) o IAI-CEM y síntomas de salud inespecíficos.....	150
7	Revisión de los niveles de exposición/recomendaciones de instituciones y organismos de estandarización.	159
7.1	ICNIRP	159
7.1.1	Objetivos y propósito.....	159
7.1.2	Cambios en las restricciones.....	160
7.1.3	Cambios técnicos que afectan a las restricciones básicas.....	161
7.1.4	Cambios técnicos en los niveles de referencia	166
7.2	IEEE	168
7.3	La ITU, el 5G y las ondas milimétricas.....	174
7.4	FCC	176
7.5	Tabla Comparativa Límites	177
8	COMUNICACIÓN DEL RIESGO	179
8.1	Introducción	179
8.2	La controversia social en torno a las infraestructuras de telefonía móvil 181	
8.3	Riesgo y percepción del riesgo	183
8.4	Percepción del riesgo de los campos electromagnéticos	183
8.5	Comunicación del riesgo de los campos electromagnéticos	185
8.6	Comunicación de los límites y valores normales de exposición	187
8.7	Informar sobre la (no) existencia de riesgo	188
8.8	Información sobre medidas de precaución.....	188
8.9	Información sobre la ubicación de la antena.....	189
8.10	Información sobre riesgo en medios de comunicación	191
8.11	Efecto nocebo de la información.....	192
8.12	Cuando las fuentes de información son cuestionables.....	193
8.13	Conclusiones	196

9	CONCLUSIONES.....	197
	Dosimetría y evaluación de la exposición	197
	Nuevas Fuentes de Radiofrecuencia: Redes 5G.....	197
	Tecnologías inalámbricas y niveles de exposición a las ondas electromagnéticas de RF.....	197
	Otros dispositivos inalámbricos en bandas de uso común.....	199
	Ondas milimétricas.....	199
	Estudios Clínicos y Epidemiológicos. Revisión de las	200
	Evidencias sobre Tumores del Encéfalo y del Sistema.....	200
	Nervioso Central.....	200
	Efectos de las Radiofrecuencias sobre la salud e Hipersensibilidad Electromagnética (HE).....	201
	Revisión de los niveles de exposición/recomendaciones de instituciones y organismos de estandarización.....	202
10	RECOMENDACIONES	203
11	RECOMENDACIONES INFORME CCARS 2013-2016.....	205
12	REFERENCIAS	207
13	GLOSARIO, SÍMBOLOS Y ACRÓNIMOS.....	235
14	COMPOSICIÓN CCARS	243
	PÁGINAS WEB CONSULTADAS.....	249

Índice de tablas

TABLA 1 VALORES LÍMITE DE RMS PARA INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO (E) Y DENSIDAD DE POTENCIA (S) SEGÚN LAS GUÍAS DE LA ICNIRP DE 1998.	35
TABLA 2 ESTANDARES WI-FI Y PARÁMETROS TÉCNICOS.....	45
TABLA 3 LÍMITES DE EXPOSICIÓN A FRECUENCIAS USADAS POR LAS REDES WLAN.....	47
TABLA 4 RESUMEN DE LOS VALORES DE EXPOSICIÓN “MEDIOS” MEDIDOS (MV/M) EN LOS DISTINTOS CASOS CONSIDERADOS [C. R. BHATT, <i>ET AL.</i> , 2016].....	50
TABLA 5 RESUMEN DE LAS MEDIDAS OBTENIDAS EN DIVERSOS ESTUDIOS REALIZADOS EN ESCUELAS.....	55
TABLA 6. RESULTADOS DE LA INCIDENCIA DE HIPERPLASIA TRAS SER EXPUESTOS EN EL ESTUDIO FALCIONI.	72
TABLA 7. INCIDENCIA DEL SCHWANOMA EN FUNCIÓN DE LA EXPOSICIÓN CON MODULACIÓN GSM	73
TABLA 8. INCIDENCIA DEL GLIOMA EN FUNCIÓN DE LA EXPOSICIÓN CON MODULACIÓN GSM	73
TABLA 9. TASAS DE INCIDENCIA DE CÁNCER (ENCÉFALO Y SISTEMA NERVIOSO CENTRAL) AJUSTADAS POR EDAD A LA POBLACIÓN ESTÁNDAR EUROPEA	83
TABLA 10 TASA DE INCIDENCIA ANUAL DE TUMORES CEREBRALES Y DEL SNC AJUSTADA POR 100.000 PERSONAS (POBLACIÓN DE EEUU AÑO 2000)	84
TABLA 11 TASA DE INCIDENCIA DE CÁNCER	88
TABLA 12 RESUMEN DE ESTUDIOS SOBRE TUMORES CEREBRALES Y DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL.....	119
TABLA 13 NIVELES DE REFERENCIA VIGENTES (RD1066/2001). ELABORACIÓN. F. VARGAS.....	122
TABLA 14 NIVELES DE EXPOSICIÓN AMBIENTAL A RADIOFRECUENCIAS. ELABORACIÓN: F. VARGAS, A. NÁJERA Y N. MIRANDA 2019.	124
TABLA 15 EXPOSICIÓN MEDIA LOCALIZADA DE LA CABEZA CUANDO SE LLAMA POR UN TELÉFONO MÓVIL	129
TABLA 16 RESUMEN DE ESTUDIOS SOBRE HIPERSENSIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA (HE) O IAI-CEM Y SÍNTOMAS DE SALUD INESPECÍFICOS.	158
TABLA 17 LÍMITES DE EXPOSICIÓN (CUERPO ENTERO) EN FRECUENCIAS MILIMÉTRICAS.....	174
TABLA 18 TABLA COMPARATIVA LÍMITES IEEE, ICNIRP Y REAL DECRETO 1066 /2001 PARA PÚBLICO EN GENERAL, CUERPO COMPLETO.....	178

Índice de figuras

FIGURA 1 INTERRELACIÓN CASOS DE USO EN 5G	27
FIGURA 2 CONFIGURACIÓN MIMO MASIVO LINEAL (AZUL), RECTANGULAR (VIOLETA), CILÍNDRICO (MAGENTA) O DISTRIBUIDO (VERDE)	30
FIGURA 3 TECNOLOGÍAS INALÁMBRICA Y MÓVILES. APLICACIONES Y COBERTURA.....	40
FIGURA 4. VARIACIÓN DEL NIVEL DE CAMPO ELÉCTRICO (RMS) CON LA DISTANCIA PARA LA TRANSMISIÓN EN LA BANDA DE 2,4 GHz CON UN DIPOLO CORTO Y DIFERENTES VALORES DE PIRE, EN ESPACIO LIBRE.....	61
FIGURA 5 EVOLUCIÓN VALOR PROMEDIO MEDIDO EN ESPACIOS SENSIBLES: (FUENTE: SETID).....	68
FIGURA 6 ESQUEMA DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL.....	82
FIGURA 7 .PROBABILIDAD (%) DE DESARROLLAR CÁNCER INVASIVO DESDE EL NACIMIENTO HASTA LOS 85 AÑOS, EN ESPAÑA, 2003-2007.TODOS LOS CÁNCERES EXCEPTO MELANOMA (REDECAN).....	87
FIGURA 8 TASAS DE INCIDENCIA DE CÁNCER (ENCÉFALO Y SISTEMA NERVIOSO CENTRAL) EN ESPAÑA, AJUSTADAS POR EDAD A LA POBLACIÓN ESTÁNDAR EUROPEA Y LÍNEAS DE TELEFONÍA MÓVIL.....	89
FIGURA 9 NIVELES DE REFERENCIA PROMEDIO DE TODO EL CUERPO PARA EL PÚBLICO EN GENERAL (EXPOSICIONES > 30 MIN) PARA LAS DIRECTRICES DE LA ICNIRP DE 1998, 2010 (30 kHz A 10 MHz) Y 2020, PARA LA GAMA DE FRECUENCIAS DE 100 kHz A 300 GHz. OBSÉRVESE QUE LAS UNIDADES DE LOS DOS EJES VERTICALES (CAMPO ELÉCTRICO Y DENSIDAD DE POTENCIA) SON INDEPENDIENTES ENTRE SÍ [FUENTE: ICNIRP].....	168

1 RESUMEN EJECUTIVO

Una vez más, el CCARS publica su informe trienal con el objetivo de actualizar las evidencias científicas de mayor calidad en el periodo comprendido entre julio de 2016 y diciembre de 2019. Las conclusiones confirman las evidencias observadas en el anterior informe del CCARS en el sentido de que hasta la fecha actual la evidencia científica muestra que a los niveles habituales de exposición personal a CEM-RF no hay evidencia de riesgo para la salud de las personas.

El proceso de edición del texto se ha ampliado a marzo de 2020 para permitir incluir los cambios de las nuevas directrices que ha publicado recientemente la ICNIRP sobre la exposición a campos electromagnéticos de Radiofrecuencias en el rango de 100 kHz a 300 GHz. El CCARS ha considerado que, debido a la trascendencia de la publicación de estas directrices, merecía la pena retrasar la edición del informe para incorporarlas en el texto definitivo. A la luz de las nuevas directrices de la ICNIRP será necesario que el Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social y el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital valoren la pertinencia de revisar el Real Decreto 1066/2001, que se basó en las directrices de 1998, por si fuese necesario modificar alguna de sus disposiciones.

La metodología aplicada en la revisión de las evidencias es similar a la de informes anteriores. Una vez clasificados los estudios en función de su calidad metodológica se han incluido los que aportan mayor calidad de evidencia en función de los criterios aceptados por la comunidad científica. La información científica (las evidencias) se ha obtenido de los resultados de los estudios clínicos y epidemiológicos que aportan mayor peso de la evidencia, en función del tipo de diseño del estudio, metodología, calidad, validez, consistencia y reproducibilidad.

Este informe no es una revisión sistemática o un meta análisis, pero sí ha seguido una metodología similar a una revisión de alcance, exploratoria o “*scope review*” (Manchado Garabito et al., 2009).

En esta edición del informe se ha incluido un amplio capítulo dedicado a la dosimetría y a la evaluación de la exposición de las nuevas tecnologías basadas en 5G y de los sistemas Wi-Fi.

Otro capítulo novedoso es el que revisa el conocimiento científico sobre la comunicación y percepción del riesgo sobre los campos electromagnéticos.

En relación a la tecnología 5G es un conjunto de novedosos casos de uso que van más allá de los tradicionales sistemas de comunicaciones móviles de banda ancha. Se espera que 5G tenga implicación directa en numerosos sectores económicos (telecomunicaciones, industria, automóvil, robótica, salud...), generando nuevos modelos económicos que produzcan una transformación digital de las sociedades de los países más avanzados.

El desarrollo de los servicios 5G supondrá el despliegue masivo de nuevos elementos de red en el territorio español, ya sea en nuevos emplazamientos o en los emplazamientos que se utilizan para otras tecnologías y servicios.

La tecnología 5G utilizará arquitecturas de radio y de red más eficientes en recursos energéticos y en el uso de señales de niveles más bajos que, junto a la disminución de tamaños de celda, son factores que apuntarían a tener niveles de exposición más bajos cerca de las estaciones base. Estas características se acentúan en el caso de los dispositivos IoT con tecnología 5G ya que, aunque se espera un incremento sustancial de los mismos, los dispositivos IoT se comunicarán en intervalos periódicos de tiempo muy pequeños y con cantidades de datos muy limitadas. Por ello, incluso los dispositivos “wearables”, localizados cerca del cuerpo humano, con sus transmisiones de baja potencia y corta duración, implicarán niveles de exposición muy limitados.

Los niveles de exposición deberán cumplir los límites establecidos en el Real Decreto 1066/2001 y sus posibles adaptaciones a las nuevas directrices de la ICNIRP 2020. La competencia para el establecimiento de estos límites de exposición es estatal y corresponde al Ministerio de Sanidad (actual Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social). El control e inspección de los límites de exposición es competencia del actual Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital a través de la SETID (Secretaría de Estado de Telecomunicaciones e Infraestructuras Digitales)

La exposición habitual a CEM-RF a la que están expuestos los escolares a través de Wi-Fi en la escuela es menor que la exposición debida a otras fuentes presentes en las proximidades.

La exposición en edificios educativos, como escuelas, universidades, jardines de infancia, etc., indica niveles de exposición muy bajos, con valores medios de exposición total en el rango de 0,07–0,54 V/m. Se observaron niveles similares de exposición en otros edificios públicos, como aeropuertos, estaciones de ferrocarril, centros comerciales, etc., con valores medios de exposición total en el rango de 0,15–0,54 V/m. Todos los resultados mostraron que en todos los entornos considerados los niveles de exposición estaban muy por debajo de los niveles de referencia de la ICNIRP y los establecidos en el RD 1066/2001 para exposición pública general (61 V/m).

El valor medio de los niveles máximos de exposición, considerando la banda de frecuencias de CEM-RF completa, fueron en las oficinas (1,14 V/m) y en los transportes públicos (0,97 V/m); y los niveles más bajos de exposición en hogares y apartamentos, con valores medios en el rango de 0,13 a 0,43 V/m. Todos ellos muy por debajo de los valores máximos admitidos.

Una revisión sistemática sobre la exposición a CEM-RF en el entorno cotidiano en Europa y sobre las características clave de los diversos tipos de estudios, estableció que en Europa se han utilizado diferentes enfoques y procedimientos que limitan la comparación entre los mismos. Las exposiciones en los hogares suelen estar en el rango de 0,1-0,4 V/m con contribuciones relevantes del enlace descendente (transmisión desde la estación base al dispositivo móvil), enlace ascendente (transmisión desde el dispositivo móvil a una estación base) de telefonía móvil y DECT, mientras que la contribución de las redes WLAN es relativamente baja. Para una mejor comparación entre países y para evaluar las tendencias temporales, se necesita un enfoque más armonizado entre los estudios.

La revisión de los estudios epidemiológicos de cohortes y caso-control sobre la relación entre el uso del teléfono móvil y tumores cerebrales siguen confirmando que no se observan aumentos del riesgo.

El análisis de las tendencias de las tasas de incidencia de tumores del SNC en periodos largos de tiempo puede ayudar a identificar factores de riesgo relacionados con la etiología (causas) y prevención de la enfermedad. En nuestro país no se observa una relación entre el número de usuarios de telefonía móvil y la incidencia de tumores

cerebrales según los datos publicados por la Red Española de Registros de Cáncer (REDECAN).

En relación con las evidencias epidemiológicas sobre el riesgo de cáncer los meta análisis de los estudios sobre tumores de cabeza, malignos (gliomas) o benignos (meningiomas), neurinomas del acústico, glándula pituitaria o glándulas salivares en relación con uso prolongado igual o superior a 10 años del teléfono móvil no observan ningún aumento del riesgo. Aunque algunos estudios caso-control han informado de aumentos significativos del riesgo en personas con uso moderado del teléfono móvil, estas observaciones no son consistentes con las tendencias temporales de las tasas de incidencia de tumores cerebrales a pesar del aumento de la exposición. Según los autores de una revisión sistemática reciente (2018) las evidencias sobre la asociación entre exposición a RF y riesgo de cáncer se han debilitado desde la clasificación por parte de la IARC (2011) de los CEM-RF como 2b.

Las últimas revisiones sistemáticas de las agencias y comités especializados en evaluación del riesgo de los CEM (SSM, 2019, *Health Council of Nederland, 2016 o Istituto Superiore de Sanita, 2019*) coinciden en que los resultados apuntan hacia una ausencia de asociación entre el uso del teléfono móvil y el aumento del riesgo de tumores. Según una revisión sistemática reciente (Röösli et al., 2019) la evidencia actual de los estudios in vitro, in vivo y epidemiológicos no indican una asociación con el uso del teléfono móvil y el desarrollo de tumores en los órganos y tejidos más expuestos.

De los resultados de la mayoría de los estudios revisados se deduce que no se observa un efecto carcinógeno derivado de la exposición a CEM-RF a los niveles habituales de la población.

Globalmente, la evidencia revisada confirma que es más plausible que el ligero aumento del riesgo de glioma, observado en algunos estudios, en usuarios intensivos y de largo plazo puede ser una combinación de azar, sesgos o factores de confusión y en el análisis combinado de datos, como la propia IARC ya estableció cuando publicó su declaración (2011) sobre la carcinogenicidad como 2b de los CEM-RF emitidos por los teléfonos móviles. Esta afirmación es coherente con el SCENIHR que concluyó, en su última revisión sistemática (2015), que la evidencia de la relación entre glioma y uso del teléfono móvil es más débil desde el año 2011.

La mayoría de las agencias, comités y grupos de investigación coinciden en afirmar 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 recomienda 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.

Los estudios experimentales de provocación con voluntarios que declaran padecer una Intolerancia Ambiental Idiopática atribuida a los CEM (IAI-CEM) no consiguen demostrar que sean capaces de detectar cuando están expuestos a los CEM.

Los estudios clínicos controlados confirman que no hay una relación causal entre la exposición a las diversas fuentes de RF y los síntomas de HE. No hay un efecto atribuible a la exposición experimental en ensayos clínicos con voluntarios que declaran sentir electrosensibilidad. El efecto “nocebo” y/o otros desórdenes mentales o médicos pueden explicar los síntomas en muchos individuos con IAI-CEM.

Las nuevas evidencias publicadas siguen confirmando que no se observan efectos adversos para la salud derivados de la exposición a las RF de las antenas de telefonía móvil, transmisión de Radio y TV, sistemas inalámbricos (Wi-Fi) utilizados en el trabajo, la escuela o el hogar. Los niveles de exposición observados en los estudios publicados siguen siendo cientos o miles de veces inferiores a los considerados seguros por la ICNIRP, OMS, UE y el RD 1066/2001.

Los comunicadores y periodistas, como principales generadores y transmisores de información, deben contar con fuentes fiables y rigurosas. El CCARS debe estar a su disposición y responder ante bulos e informaciones falsas como fuente primaria de información al servicio de los informadores. Así, a la hora de comunicar riesgos o medidas de precaución, debe lograr una cobertura equilibrada y rigurosa que refleje el estado actual del conocimiento.

Las recomendaciones de precaución o preventivas pueden incrementar la percepción del riesgo, por esta razón hay que evaluar el coste beneficio de la recomendación antes de hacerla.

Es importante informar de los patrones y niveles de exposición habituales a CEM-RF. El conocimiento de estos niveles referidos a los niveles de seguridad (ICNIRP) o a los niveles máximos permitidos legalmente, puede ayudar a reducir el riesgo independientemente de si la duda se refiere a posibles efectos perjudiciales sobre la salud como sí no.

En los últimos meses, el Ministerio de Sanidad Consumo y Bienestar Social, el Ministerio de Ciencia e Innovación y el Ministerio de Universidades, junto con, entre otras, la Organización Médica Colegial, están haciendo un gran esfuerzo por denunciar y dar respuesta a las pseudociencias y las pseudoterapias.

Con el fin de reducir el impacto negativo de informaciones falsas es necesario dotar a la sociedad de los medios y las herramientas más adecuadas para desmentir bulos, desmontar creencias erróneas y desbaratar los intereses económicos de quienes hacen negocio con el desconocimiento y el miedo a los CEM.

La Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) publicó, en marzo del 2020, unas nuevas directrices (“*guidelines*”) para la protección de las personas a la exposición campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) en el rango de los 100 kHz a 300 GHz [ICNIRP, 2020]. Estas nuevas directrices sustituyen la parte de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia de las directrices de ICNIRP (1998), así como la parte de 100 kHz a 10 MHz de las directrices de baja frecuencia del ICNIRP (2010).

Globalmente las directrices de la ICNIRP 2020 no establecen niveles de exposición más restrictivos que las anteriores de 1998. Se han introducido restricciones adicionales para tener en cuenta situaciones en las que las restricciones de la ICNIRP (1998) no daban cuenta adecuadamente de los nuevos desarrollos tecnológicos, como aspectos relacionados con las tecnologías 5G.

2 PRÓLOGO

La exposición a los Campos Electromagnéticos (CEM), al ser ubicua, invisible y generalizada, genera en una parte de la sociedad una percepción del riesgo elevada y un cierto grado de incertidumbre sobre sus efectos en la salud. Estos sectores sociales reclaman la adopción de medidas de protección frente a los CEM. Los responsables de adoptar decisiones de prevención y control deben dar respuestas efectivas, aceptables y fundamentadas en las mejores evidencias.

Desde su fundación, el CCARS ha promovido el análisis riguroso de las evidencias científicas asumiendo las discrepancias, pero siempre utilizando el método científico y el pensamiento crítico. Las ideas alarmistas, la negación de evidencias contrastadas, no basadas en la ciencia, y la difusión de noticias falsas disfrazadas de “hechos alternativos” generan una percepción del riesgo distorsionada.

Para despejar las dudas es necesario analizar las mejores evidencias científicas disponibles para tomar decisiones apropiadas de prevención y control. Sin embargo, la calidad de las fuentes de información es desigual y en muchos casos muy deficiente. Al mismo tiempo, el análisis de la bibliografía científica está sometido a diferentes sesgos, intereses e interpretaciones de los resultados que provocan controversias y generan confusión, miedo (muy contagioso) e incertidumbre en algunos sectores de la sociedad. En una época dominada por las noticias falsas, las mentiras, la inmediatez, los bulos o el rechazo a los expertos, es más necesaria una información basada en sólidas evidencias científicas. Estos aparentes desacuerdos pueden ser utilizados para justificar posiciones muy extremas sobre las medidas a tomar frente a los CEM.

El volumen de información es muy difícil de procesar, resumir y evaluar en función de su grado de calidad. Cada día es más difícil gestionar de forma adecuada la ingente cantidad de artículos que se publican y disponemos de menos tiempo para su búsqueda y lectura.

Por ello, crece la preocupación social por los efectos de los campos electromagnéticos (CEM) sobre los seres humanos, de manera que en estos últimos años se han realizado numerosas investigaciones científicas sobre estos efectos. Los nuevos estudios nos han

proporcionado un conocimiento muy sólido sobre la interacción de la materia con los campos electromagnéticos, pero respetando el rigor que debe tener todo estudio científico, debemos decir que no es completo.

El progreso científico mejora la calidad de vida de las personas, por lo que frenarlo hasta tener la más absoluta certeza y total confirmación de su inocuidad (algo que en ciencia es casi imposible y en el mejor de los casos llevaría muchos años) puede tener un efecto negativo en la calidad de vida de las personas.

Consecuentemente, los comités internacionales que analizan los estudios científicos y proponen recomendaciones para proteger a la población de la exposición a campos electromagnéticos, intentan aplicar principios de precaución sin obstaculizar el avance del progreso.

El Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud es una entidad independiente cuya misión es informar a la sociedad de los avances en el conocimiento científico sobre los efectos biológicos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF).

En este informe 2016-2019, se recogen las mejores evidencias científicas separando lo que es conocimiento científico de especulaciones o hechos no contrastados, y los criterios para definir los límites de exposición a campos electromagnéticos por parte de los organismos nacionales e internacionales.

Se describe cómo se miden los niveles de exposición a los que está expuesta la población por parte de las distintas tecnologías inalámbricas que tenemos hoy en día. En esta edición del informe se hace especial hincapié en la tecnología 5G, ya que es la gran novedad que ha aparecido desde el anterior informe de 2016. A continuación, se hace una revisión de los estudios científicos más sólidos y recientes sobre tumores e hipersensibilidad electromagnética, estudios experimentales y comunicación y percepción del riesgo.

El informe incluye una síntesis de las revisiones sistemáticas realizadas por organismos y agencias competentes y de las iniciativas internacionales para el estudio de los efectos de los campos electromagnéticos de RF sobre los seres vivos que el lector puede consultar para ampliar la información. Finalmente, se recogen las principales conclusiones, recomendaciones y referencias utilizadas para elaborar este informe.

3 METODOLOGÍA

Este informe no es una revisión sistemática o un meta análisis según los criterios establecidos (Gisbert & Bonfill, 2004), pero sí ha seguido una metodología similar a una revisión de alcance, exploratoria o "scope review" (Manchado Garabito et al., 2009).

La revisión de la evidencia tiene en cuenta el grado de calidad de los estudios. La baja calidad de algunos de los estudios recuperados en la búsqueda inicial ha provocado que no fueran incluidos en la revisión. Una vez clasificados los estudios en función de su calidad metodológica se han incluido los que aportan mayor calidad de evidencia en función de los criterios aceptados por la comunidad científica. La información científica (las evidencias) se ha obtenido de los resultados de los estudios clínicos y epidemiológicos que aportan mayor peso de la evidencia, en función del tipo de diseño del estudio, metodología, calidad, validez, consistencia y reproducibilidad.

3.1 Selección de publicaciones para el informe

Para el **capítulo 3** la selección de publicaciones se han empleado principalmente artículos científicos que han pasado por un proceso de revisión previo o informes de revisiones de organismos científicos y de estandarización. Se han considerado informes técnicos elaborados por Comités Técnicos, por ejemplo, ICES del IEEE, de reconocido prestigio que, a juicio de los revisores, tenían la suficiente entidad científico-técnica.

En lo relativo a los artículos científicos, se consultaron las siguientes bases de datos: IEEE Xplore, EMF Portal, Scopus, Pubmed, ResearchGate. En sucesivas búsquedas, se emplearon palabras clave como, "exposure", "5G", "MIMO", "Beamforming", "Wi-Fi in Schools and Kindergaten", "exposure assessments", "indoor environments", "radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF)", "RF-EMF and Wi-Fi", "personal RF-EMF exposure", "electromagnetic exposure", "radiation exposure", "IoT", "millimeter", dependiendo del apartado en el que se realizaba la revisión. Se obtuvieron un elevado número de referencias bibliográficas, que dependió del apartado a revisar. Destacar el elevado número de referencias bibliográficas sobre exposición a campos electromagnéticos en 5G y el cada vez mayor número de artículos sobre exposición

acumulativa procedentes de diversas fuentes (Wi-Fi, diferentes sistemas de telefonía móvil, emisiones de TV, DECT, etc). Tras un proceso de selección de la bibliografía encontrada, se seleccionaron un número de referencias bibliográficas, en general, procedentes de revistas con procesos de revisión por pares. En los casos que hubiese un reducido número de estudios, se han seleccionado publicaciones de congresos de reconocido prestigio internacional y con revisión por pares. En la elaboración del informe se han referenciado aquellas que se han considerado más significativas dentro de los correspondientes apartados.

También se han considerado las referencias de organizaciones y organismos internacionales científicos, técnicos y de estandarización de amplio reconocimiento internacional (ICNIRP, IEEE, OMS, ITU, FCC, OMS, ARPANSA, SCENIHR, etc.)

En la redacción del **capítulo 4** se identificaron las publicaciones relevantes utilizando los siguientes buscadores: Web of Science, Science Citation Index, Scopus, Pubmed, Google Scholarship, EMF Portal, Cochrane y Up to date.

En la revisión de las evidencias del **capítulo 5**, sobre tumores cerebrales, se identificaron 171 referencias de las que, finalmente, se han incluido 48 artículos, en función de su calidad metodológica, que aportan mayor calidad de evidencia en función de los criterios aceptados por la comunidad científica. Los artículos científicos revisados son los publicados en el periodo comprendido entre julio de 2016 y diciembre de 2019, recuperados de las bases de datos siguientes: EMF-Portal, Web of Science (WOS), Medline- Pub Med, Scielo, Cochrane, DIDDW, RSCI, BIOS, CCC, SCOPUS y Up to date. Los criterios de búsqueda fueron los siguientes: “radiofrecuency”, “EMF” and “cancer “electromagnetic field,” “base station,” “mobile phone,” and “cellular phone” and “brain tumor”, “glioma”, sin ningún criterio de exclusión específico.

Los motivos de exclusión son los siguientes: baja calidad metodológica, artículos de opinión, ausencia de datos sobre la exposición, participación duplicada, objetivos del estudio no relacionados con la relación entre tumores y exposición a RF, etc.

Se han incluido también las revisiones realizadas por agencias y comités internacionales especializados en la evaluación de riesgos de los CEM y su relación con los tumores cerebrales (SSM, *Health Council of Netherlands* y *Interagency Committee on the Healths*

Effects of Non Ionising fields, NZ).

La información científica (las evidencias) se han obtenido de los resultados de los estudios clínicos y epidemiológicos que aportan mayor peso de la evidencia, en función del tipo de diseño del estudio, metodología, calidad, validez, consistencia y reproducibilidad.

En el Anexo 1. Resumen de estudios sobre Tumores Cerebrales y del Sistema Nervioso Central se resumen los resultados de esta revisión.

En el capítulo de Hipersensibilidad se han incluido 34 artículos científicos que cumplen los criterios de calidad metodológica señalados, publicados en inglés, en el periodo comprendido entre julio de 2016 y diciembre de 2019 recuperados de las bases de datos siguientes: Emf-Portal, Web os Science (WOS), Medline- Pub Med, Scielo, Cochrane SCOPUS y Up to date.

Los criterios de búsqueda fueron los siguientes: “radiofrequency”, “EMF”, “hypersensibility”, “adverse effects”, “Health effects”, “electro hypersensitivity”, “EHS,” “idiopathic environmental intolerance,” “IEI-EMF,” “prevalence,” “electromagnetic field,” “base station,” “mobile phone,” and “cellular phone”, sin ningún criterio de exclusión específico. Se incluyeron también las recientes revisiones realizadas por agencias y comités internacionales especializados en la evaluación de riesgos de los CEM (ANSES y SSM). En el apartado 6.1.7 se resumen los resultados de esta revisión sobre Hipersensibilidad. En un Anexo de este capítulo se resumen los resultados de esta revisión.

4 DOSIMETRÍA Y EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

4.1 Nuevas Fuentes de Radiofrecuencia: Redes 5G

4.1.1 Comunicaciones Móviles 5G: Radiofrecuencia, Espectro y Acceso Radio

La quinta generación de sistemas de comunicaciones móviles, más conocida como 5G (*Fifth Generation* en inglés) nace en 2012 y se considera una evolución de la tecnología de acceso radio de las actuales redes de cuarta generación, LTE (en inglés *Long Term Evolution*). Es lo que también se conoce como *New Radio* (NR), cuyas especificaciones por parte del organismo de estandarización de los sistemas de comunicaciones móviles 3GPP (*Third Generation Partnership Program*) fueron publicadas a finales de 2017. Sin embargo, 5G no es únicamente una técnica de acceso radio, sino que se define como un conjunto de novedosos casos de uso que van más allá de los tradicionales sistemas de comunicaciones móviles de banda ancha.

Se espera que 5G tenga implicación directa en numerosos sectores económicos (telecomunicaciones, industria, automóvil, robótica, salud...), generando nuevos modelos económicos que produzcan una transformación digital de las sociedades de los países más avanzados. Las instituciones europeas y nacionales tienen un gran interés en favorecer y agilizar el despliegue de redes 5G, ya que se espera que esta tecnología tenga implicación directa en numerosos sectores económicos (telecomunicaciones, industria, automóvil, robótica, salud...), generando nuevos modelos económicos que produzcan una transformación digital de las sociedades de los países más avanzados.

4.1.1.1 Casos de Uso

La revolución que supone la tecnología 5G no estriba únicamente en los sistemas de comunicaciones móviles tradicionales. Se contempla que 5G abra la puerta a numerosas aplicaciones en numerosos ámbitos, en función de las necesidades. En este sentido, se contemplan 3 diferentes casos de uso o aplicaciones (Dahlman, Parkvall, & Sköld, 2018):

- *Enhanced Mobile Broadband (eMBB)*, en castellano: Banda Ancha Móvil Mejorada. Se corresponde con las actuales redes móviles de banda ancha, pero

permitiendo una experiencia de usuario mejorada como, por ejemplo, mayores tasas de transmisión de datos. Se espera que se puedan llegar a alcanzar velocidades en movilidad mayores a 100 Mbps con picos de hasta 1 Gbps, permitiendo, por ejemplo, la recepción de contenidos en ultra alta definición (UHD), o realidad virtual (Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital, 2018).

- *Massive Machine-Type Communications (mMTC)*, en castellano: Comunicaciones Masivas Máquina a Máquina (también denominadas *Machine to Machine, M2M*). Este caso de uso contempla aplicaciones que se caracterizan por un número masivo de dispositivos, como por ejemplo: sensores remotos, actuadores, monitorización de varios equipamientos. En este caso de uso, el requerimiento clave son dispositivos de bajo coste y muy bajo consumo energético, permitiendo duración de baterías de varios años. Estos dispositivos manejan pequeños volúmenes de datos, no siendo crítico alcanzar una alta velocidad de datos. Un ejemplo claro sería el *Internet of Things (IoT, Internet de las cosas)*, o el big data.
- *Ultra-Reliable Low-Latency Communication (URLLC)*, en castellano: Comunicaciones Ultra Fiables de Baja Latencia. Este tipo de servicios requieren una latencia muy baja y una muy alta fiabilidad. En este tipo de aplicaciones se incluyen seguridad de tráfico, control automático de dispositivos, o automatización en la industria, medicina remota o fabricación inteligente.

Estos casos de uso, ilustrados en la Figura 1, no se deben entender como casos cerrados y únicos. Es posible que, dependiendo de la aplicación final, el servicio implementado sea una mezcla de ellos. Por ejemplo, podrá haber servicios que requieran alta confiabilidad, pero que no necesiten de una baja latencia.

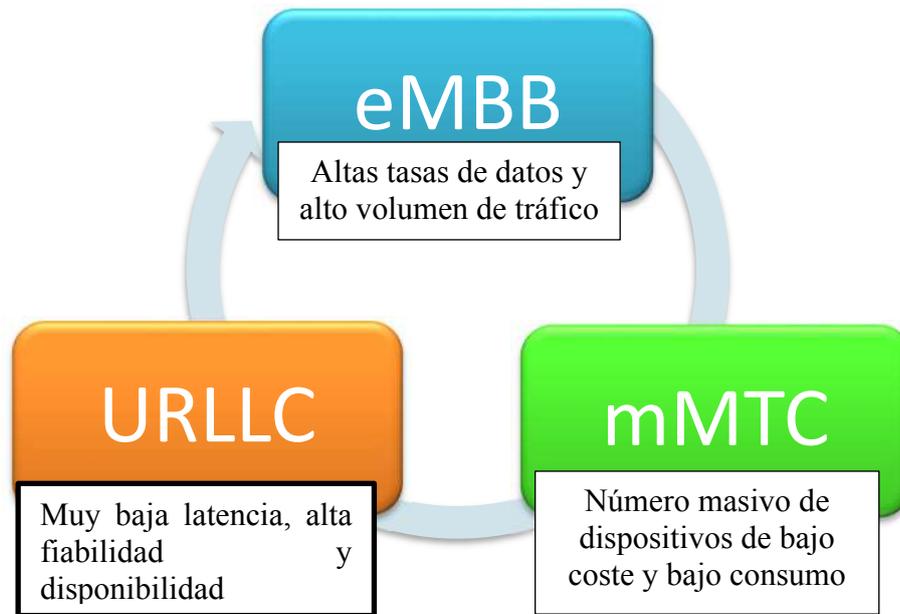


Figura 1 Interrelación Casos de Uso en 5G

Estos casos de uso también tienen influencia en el uso de las bandas de frecuencias asignadas a 5G, tal como se detalla a continuación.

4.1.1.2 Bandas de Frecuencia para Comunicaciones 5G

5G puede desplegarse tanto en las bandas actualmente asignadas a comunicaciones móviles (*IMT* de sus siglas en inglés *International Mobile Telecommunications*) como en nuevas bandas que puedan ser identificadas en las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones (*WRC* de sus siglas en inglés *World Radiocommunications Conference*) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (*ITU* de sus siglas en inglés *International Telecommunications Union*). Durante la estandarización, el 3GPP ha focalizado sus actividades en las siguientes bandas (Dahlman et al., 2018):

- **Baja Frecuencia**, en torno a los 600 ó 700 MHz (dependiendo del país), que se prevé que sean usados por sistemas tradicionales de comunicaciones móviles de banda ancha. En esta banda, por su frecuencia y condiciones de propagación, se puede ofrecer una buena cobertura, incluso en interiores.

- **Frecuencia Media**, en el rango de 3-6 GHz, que permitirá proveer tanto una amplia cobertura, como una alta capacidad y altas tasas de datos, debido a un ancho de banda más amplio.
- **Altas frecuencias**, por encima de los 24 GHz, también denominada banda de comunicaciones milimétricas (*mmWave*). Esta banda está pensada para una cobertura en puntos localizados (hotspot) que provean una muy alta capacidad y a la vez tasas de datos muy altas. Se espera que en esta banda sea donde se implementen técnicas como *massive MIMO*, *beamforming*, o sistemas de antenas avanzados (ver Sección Tecnologías Radio en 5G). Esto crea una diferencia notable respecto de requerimientos de radiofrecuencia, medidas y certificación.

En el propio estándar del 3GPP estas bandas de frecuencias se agrupan en las FR1 (Frequency Range 1), que incluyen todas las bandas por debajo de 6 GHz; y las FR2 (Frequency Range 2), que incluyen todas las bandas por encima de 24,25 GHz, llegando incluso a los 52,6 GHz (Parkvall, Dahlman, Furuskar, & Frenne, 2017).

De forma más concreta, en Europa se han identificado las siguientes bandas para el despliegue de 5G (European Commission, Networks, Spectrum, & Group, 2019):

- **Banda de 700 MHz**, para sistemas de comunicaciones móviles de amplia cobertura (eMBB) en todas las áreas. Actualmente en dicha banda en Europa se encuentra ubicada la Televisión Digital Terrestre (TDT), por lo que, primeramente, se ha de proceder a la liberación del segundo dividendo digital (Diario Oficial de la Union Europea, 2017).
- **Banda de 3,4 a 3,8 GHz** se considera como la banda **primaria** para la introducción de servicios basados en 5G de alta capacidad, los cuales pueden situar a Europa como líder en el despliegue de 5G. Esta banda puede albergar servicios eMBB y mMTC dándose un compromiso entre cobertura y capacidad.

- **Banda de 26 GHz (24,25-27,5 GHz)**, es una banda de comunicaciones milimétricas. Se considera como una banda pionera para la implementación de 5G. Es en esta banda donde se prevé que se desarrollen la tecnología más novedosa, proveyendo de una muy alta capacidad y servicios altamente innovadores, generando nuevos modelos de negocio. Por tanto, se contemplan los casos de uso eMBB, URLLC y mMTC.

4.1.1.3 Tecnologías Radio en 5G

SEÑAL TRANSMITIDA Y ANCHO DE BANDA

Al igual que 4G, 5G soporta multiplexación ortogonal por división en la frecuencia (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, OFDM) con prefijo cíclico tanto en el enlace de subida (desde el usuario a la estación base) como en el de bajada (de la estación base hacia el usuario). El usar la misma modulación en ambos enlaces favorece las futuras comunicaciones dispositivo a dispositivo (mMTC) previstas en el estándar. Sin embargo, a diferencia de 4G el espaciado entre portadores es variable, permitiendo adaptarse al tamaño de la celda y a los requerimientos. El espaciado entre portadores puede ser de 15, 30 y 60 kHz para bandas de frecuencias bajas y medias, y de 60, 120 y 240 Hz para bandas de frecuencias altas.

Respecto al ancho de banda del canal también es variable pudiendo ser de 50, 100 ó 200 MHz para bandas bajas de frecuencia, o de 200 y 400 MHz para las bandas altas. Además, el espaciado entre portadoras y el ancho de banda puede mezclarse dentro de una misma señal 5G permitiendo diferentes niveles de servicios.

TECNOLOGÍAS DE ANTENA

Para lograr las altas tasas de transferencia de datos previstas por 5G, se hace uso, entre otras estrategias, de técnicas de antena. Todas ellas están basadas en el empleo de varios elementos radiantes (también denominados *arrays*), tanto en transmisión, como en recepción. Es lo que tradicionalmente se ha conocido como sistemas MIMO (de sus siglas en inglés *Multiple Input Multiple Output*), que aprovechan las diferentes trayectorias recorridas por la señal transmitida desde los múltiples elementos radiantes hacia el receptor o receptores. Según como se ordenen y se combinen estas múltiples señales transmitidas se pueden implementar diferentes estrategias para incrementar las

capacidades y características del sistema de transmisión. A continuación, se describen las estrategias multiantena más relevantes para 5G.

MIMO Masivo (Massive MIMO)

Como su propio nombre indica, los sistemas MIMO masivos se basan en la disposición de decenas o cientos de elementos radiantes en una misma antena, dando servicio a decenas de usuarios simultáneamente (Larsson, Edfors, Tufvesson, & Marzetta, 2014). Dichos elementos radiantes pueden estar acoplados en un mismo sistema o distribuidos, tal y como se muestra en la **Figura 2**.

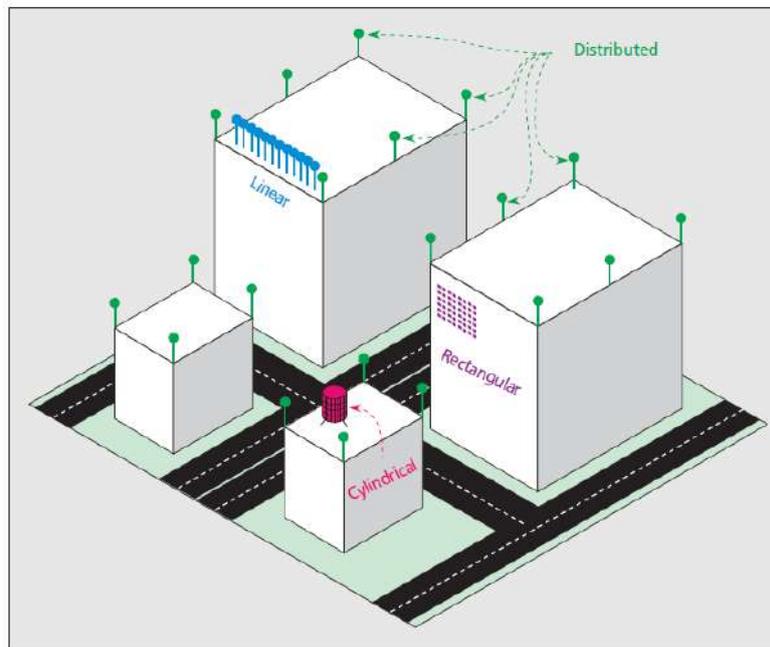


Figura 2 Configuración MIMO masivo lineal (azul), rectangular (violeta), cilíndrico (magenta) o distribuido (verde)
(Larsson et al., 2014).

Beamforming y Beam Steering

Las agrupaciones de múltiples antenas pueden configurarse no sólo para proveer de mayor capacidad a los sistemas de 5G, sino también para ampliar la cobertura mediante la combinación de las señales de cada elemento radiante. De esta forma, la técnica de *Beamforming* (en español conformación de haz) se basa en transmitir la misma señal por todos los elementos del array de antenas, pero manipulando su amplitud y fase para modificar el diagrama de radiación del sistema de antenas. Así, se puede lograr que el diagrama de radiación tenga un haz principal (o lóbulo de radiación) en la dirección que interese focalizar la señal, y minimizarla en aquellas zonas en las que no interese.

Un paso más allá de esta técnica es *Beam Steering* (en español, direccionamiento de haz), que consiste en ser capaces de controlar y variar en el tiempo el haz o lóbulo creado con el objetivo de ir siguiendo a un usuario objetivo. La diferencia con beamforming se encuentra precisamente en la capacidad de ir variando la dirección a la cual apunta el haz.

En la implementación de 5G se contempla que a bajas frecuencias, se emplee Massive MIMO para distinguir usuarios espacialmente (técnica multiusuario) y proveerles de mayor velocidad (caso de uso eMBB), mientras que a altas frecuencias, se emplee *beamforming/beam steering* para conseguir áreas de cobertura más extensas (Parkvall et al., 2017).

4.1.2 Plan Nacional sobre 5G

El Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (actual Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital) publicó en 2018, el Plan Nacional de 5G con la finalidad de establecer las directrices para permitir el desarrollo de la tecnología 5G en España. Este plan surge también de la necesidad de cumplir con los objetivos establecidos en 2016 en el Plan de Acción de 5G en Europa (Commission, 2016). El objetivo de este plan europeo es favorecer la coordinación entre los Estados Miembros para situar a Europa en el liderazgo del desarrollo de la tecnología 5G. Entre las acciones del plan europeo para alcanzar dicho liderazgo se encuentran (Ministerial Declaration, 2017), entre otras: incrementar la cantidad de espectro disponible; facilitar el despliegue de *small cells* (emplazamientos de pequeño tamaño y cobertura limitada), o priorizar las obligaciones de cobertura y conectividad en las grandes ciudades a lo largo de las principales vías de comunicación de las mismas.

A nivel nacional, el objetivo del Plan Nacional es situar a España entre los países más avanzados en el desarrollo de 5G y estar preparados para explotar al máximo los beneficios que esta tecnología puede proporcionar. La hoja de ruta establecida por el Ministerio establece tres fases:

- Fase 1 (2018): contempla la licitación de las primeras bandas de frecuencias, la convocatoria de proyectos pilotos y de I+D+i así como la definición de la hoja de ruta para el Segundo Dividendo Digital (SDD) en la banda de 700 MHz.

- Fase 2 (2019-2020): durante esta fase se preveía el desarrollo de los proyectos piloto licitados, así como el desarrollo de casos de uso. Durante esta fase se debía de liberar el SDD, así como la evaluación de posibles nuevas acciones.
- Fase 3 (2020): Con todo lo anterior, esta última fase (actualidad) contempla el despliegue comercial de redes 5G en España.

4.1.2.1 Ejes de Actuación

El Plan Nacional de 5G se estructura en torno a 4 ejes principales de actuación:

1. Gestión y Planificación del Espectro Radioeléctrico

En el Plan de 5G se contemplaron acciones dedicadas a garantizar la disponibilidad de las bandas de frecuencia necesarias para la implantación satisfactoria de los servicios 5G. Las acciones en este eje se amplían brevemente en la Sección 5.1.2.1

2. Impulso a Experiencias Piloto

El plan 5G contemplaba la financiación de proyectos piloto para facilitar a operadores, suministradores, fabricantes de equipos, desarrolladores de servicios y aplicaciones, experimentar con la tecnología 5G con el objetivo de desarrollar la tecnología adecuadamente e identificar nuevos modelos de negocio.

Se previó financiar una o varias convocatorias de acciones piloto (actualmente se han realizado dos), en las que los diferentes actores puedan desplegar, testear, evaluar, y desarrollar la tecnología 5G en diferentes escenarios y casos de uso.

Desde el punto de vista de los operadores los pilotos permitirían evaluar la tecnología 5G (MIMO masivo, *beamforming*, virtualización de red...) en despliegues en distintos escenarios. Desde la perspectiva del usuario final, estas experiencias pueden identificar nuevas ventajas, beneficios, modelos de negocio, etc. que va a traer esta tecnología. En cuanto a los desarrolladores de aplicaciones y servicios, universidades y centros de investigación, estos proyectos pilotos van a actuar como catalizadores del incremento del tejido empresarial, innovación, y transformación digital.

Actualmente, la primera convocatoria de pilotos se encuentra en pleno desarrollo con un proyecto piloto en Andalucía y otro en Galicia. En Andalucía se contemplan 32 casos de uso relacionados con la realidad virtual y aumentada, aplicaciones con drones, y reconocimiento facial (Piloto 5G Andalucía, n.d.). Las pruebas y despliegues abarcarán las provincias de Málaga, Cádiz, Sevilla, Huelva y Jaén. El piloto de Galicia abarca 8 casos de uso y contempla casos de uso de coche conectado, supervisión de infraestructuras con drones, y aplicación de 5G a la industria 4.0 incluyendo un caso de uso de diagnóstico oftalmológico mediante robótica controlada remotamente.

En el momento de redactar este informe, la segunda convocatoria de pilotos se encuentra en evaluación (Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, n.d.).

3. Aspectos Regulatorios

Al margen de las acciones relacionadas con la gestión y ordenación del espectro, el Plan de 5G contemplaba iniciativas en el ámbito de la identificación y desarrollo de los mecanismos legales necesarios para proporcionar un marco jurídico adecuado para incentivar y facilitar las inversiones en tecnología 5G.

4. Coordinación y Cooperación Internacional

Coordinación de las medidas incluidas en plan mediante infraestructuras de gobernanza, así como acciones de cooperación internacional y seguimiento de los trabajos de estandarización del 5G.

4.1.2.2 Reordenación Bandas de Frecuencias y Segundo Dividendo Digital

Tal como se mencionó anteriormente, en 5G se espera emplear básicamente 3 bandas de frecuencias. La situación en España para esas tres bandas es diversa:

- **Banda de 700 MHz**: en esta banda, se encontraban ubicados servicios de TDT tanto en Europa como en España. Por tanto, de acuerdo con la Decisión (UE) 2017/899 (Diario Oficial de la Union Europea, 2017) se ha de proceder a liberar la banda 694-792 MHz para su uso por parte de los sistemas de 5G antes del 30 de Junio de 2020. El proceso para esta liberación ha venido marcado por la Hoja de Ruta del Segundo Dividendo Digital (Secretaría de Estado para la Sociedad de

la Información y la Agenda Digital, 2018). Así, la TDT pasa a estar ubicada en la banda 470-694 MHz.

- **Banda de 3,4 a 3,8 GHz** está considerada como prioritaria para servicios de eMBB. Se prevé su ordenación, por un lado, en la banda de 3,4 a 3,6 GHz, donde se tendrán 4 licenciatarios de 2x20 MHz (160 MHz en total) y el resto se dejará para otros usos. En la banda de 3,6 a 3,8 GHz, están en proceso de liberación actualmente, pues estaba en uso por radioenlaces.
- **Banda de 26 GHz (24,25-27,50 GHz)**, está aún por determinar las condiciones técnicas de su utilización que permitan una licitación de la mayor cantidad de espectro contiguo posible. El objetivo será que en esta banda se puedan implementar servicios eMBB. Actualmente, y de forma inmediata se podrían emplear 400 MHz en la parte baja de la banda y otros 500 MHz en la parte alta (con limitaciones). El resto de la banda está actualmente en uso por radioenlaces.

4.1.2.3 Despliegue de Infraestructuras

El desarrollo de los servicios 5G supondrá el despliegue de nuevos elementos de red en el territorio español, ya sea en nuevos emplazamientos o en los emplazamientos que se utilizan para otras tecnologías y servicios. De acuerdo al Plan, un despliegue ágil y eficiente se puede ver facilitado si se reduce el número de elementos de red desplegados y se adoptan procedimientos administrativos y urbanísticos más eficientes.

Es por esto que, el Plan de 5G anima a la compartición entre operadores de infraestructuras de todo tipo: emplazamientos, equipamientos, elementos de red, frecuencias, etc. para optimizar los costes de despliegue, tanto en zonas poco pobladas (para hacer posible la inversión), como en los centros de las grandes ciudades (donde ya hay una gran cantidad de infraestructuras instaladas). Esta compartición de infraestructuras ya estaba contemplada con anterioridad en la Ley General de Telecomunicaciones (LGTel) de 2014 en su artículo 32 (Boletín Oficial del Estado (BOE), 2014). La LGTel también regula, en sus artículos 34 a 38, mecanismos de coordinación de las competencias de las Administraciones Públicas a la hora del despliegue de una red de telecomunicaciones.

Por otro lado, el Real Decreto 330/2016 tenía el objetivo de incentivar el despliegue de redes de comunicaciones mediante el establecimiento de derechos de acceso a infraestructuras físicas existentes, la coordinación de obras civiles y la mejora en el acceso a la información sobre infraestructuras existentes, obras civiles previstas y procedimientos aplicables a la concesión de permisos.

Se espera que toda esta legislación agilice el proceso de despliegue de infraestructura 5G a partir de 2020, consiguiendo una ampliación progresiva de la cobertura.

4.1.3 Exposición electromagnética en 5G

La Comisión Internacional para la Protección de la Radiación No Ionizante (ICNIRP, de sus siglas en inglés *International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection*), publicó en 1998 pautas y valores límite para la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), 1998). Sus límites son la base para otras recomendaciones de otro tipo de organizaciones tales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU de sus siglas en inglés *International Telecommunications Union*) y gobiernos de todo el mundo. Los valores RMS (Root Mean Square) establecidos por la ICNIRP para medidas de exposición electromagnética son los recogidos en la **Tabla 1**. En el estándar del IEEE C95.1-2019 (Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE, 2019) se recogen los mismos valores. Es importante mencionar que, justo antes de la finalización de este informe, se han publicado las nuevas guías de la ICNIRP, en marzo de 2020, que contemplan cambios sobre todo en las frecuencias correspondientes a 5G, especialmente, para bandas altas. Para más información, el lector puede remitirse a la sección de este informe sobre iniciativas internacionales donde se detallan más estas nuevas guías y las diferencias con las guías de 1998.

Frecuencia (GHz)	E (V/m)	S (W/m ²)
0,4 – 2	$1.375 \times \sqrt{f}$	$f/200$
2 – 300	61	10

Tabla 1 Valores límite de RMS para intensidad de campo eléctrico (E) y densidad de potencia (S) según las guías de la ICNIRP de 1998.

Dada la reciente publicación de las guías de la ICNIRP de 2020, se debe tener en cuenta que todos los estudios analizados y mencionados a continuación están referidos a las guías de la ICNIRP de 1998. Estas guías establecían que para frecuencias por debajo de 10 GHz estos valores deben estar promediados espacialmente y en el tiempo durante un periodo de 6 minutos (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), 1998). Por su parte, el estándar IEEE C95.1-2019 fija el tiempo de promediado en 30 minutos (Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE, 2019). Lo que sí se debe tener en cuenta es que el tiempo de promediado puede afectar al valor medido. Por tanto, se ha de asegurar que el tiempo de promediado siempre es mayor que la velocidad de fluctuación de los niveles de medida para que dicha estimación sea fiable (Keller, 2019).

Debido a las numerosas innovaciones que incorpora 5G NR respecto a su interfaz radio y las nuevas tecnologías de antena centradas en direccionamiento y seguimiento de haz hacia el usuario, se ha de considerar cómo realizar las mediciones de exposición de la forma más fiable posible teniendo en cuenta cómo es o puede ser una transmisión de señal 5G. A continuación, se apuntan algunos factores a tener en cuenta (Chiaraviglio et al., 2018; Pawlak, Krawiec, & Zurek, 2019; Thors, Furuskar, Colombi, & Tornevik, 2017):

- *Massive MIMO*: puede emplearse en diferentes configuraciones en función de la banda y de la funcionalidad que se desee. En bandas de frecuencias bajas y medidas (FR1), mMIMO permitirá el envío simultáneo de diferentes flujos de información hacia diferentes usuarios mediante multiplexación o separación espacial, incrementando así la capacidad. Por otro lado, mMIMO se empleará para la configuración de haces dirigidos hacia el usuario para mejorar la cobertura en bandas de frecuencia altas (FR2). Sin embargo, en ambos casos, toda la potencia de transmisión de la celda, no estará concentrada en un único usuario, sino que se repartirá entre los diferentes usuarios objetivo (Chiaraviglio et al., 2018; Keller, 2019; Werner, Knipe, & Iskra, 2019).
- *Beamforming*: los haces directivos hacia el usuario tendrán como resultado la concentración de la potencia radiada en direcciones concretas. Esto puede, por un lado, reducir el número de estaciones bases necesarias, y por otro, incrementar la potencia en ubicaciones concretas. Igualmente, esta concentración no implicaría

que toda la potencia transmitida por la celda se radie hacia un usuario concreto, sino que sea repartida entre diferentes usuarios (Chiaraviglio et al., 2018; Keller, 2019).

- Transmisión en bandas *Milimétricas* (> 6 GHz): las pérdidas que experimenta una onda electromagnética en su recorrido desde el transmisor hacia el receptor aumentan con la frecuencia. Por tanto, para frecuencias en la banda de milimétricas en torno a 26 GHz (FR2), es posible que la potencia de señal recibida sea relativamente baja (Chiaraviglio et al., 2018). Por otro lado, a frecuencias milimétricas la mayor parte de la energía electromagnética que impacta sobre el cuerpo humano se absorbe en la piel y no penetra en capas inferiores (Pawlak et al., 2019). De aquí en adelante, esta sección se centrará en la exposición en 5G en bandas medias y bajas (FR1) para frecuencias por debajo de 6 GHz.

Al margen de estas nuevas tecnologías características de 5G, es importante señalar que 5G, al igual que 4G, puede emplear multiplexación por división en el tiempo (TDD, Time Division Multiplexing). Esto hace que el usuario no reciba información de forma constante en el tiempo, sino a ráfagas, lo cual puede influir tanto en la forma de medir la exposición como a los propios niveles medidos en sí.

Teniendo en cuenta los factores anteriormente mencionados, es altamente improbable que la potencia total de una estación base se concentre en un único haz durante el máximo tiempo posible (Keller, 2019). Para documentar este hecho, los fabricantes de estaciones base de 5G han publicado un análisis estadístico de algunos escenarios realistas tanto teóricos como prácticos y los han recogido en la nueva norma IEC de 2019 (International, Electrotechnical, & Commission: (IEC), 2019). El resultado es que, en aproximadamente el 95% de los casos, la exposición total es, al menos, 4 veces menor que el máximo teórico de exposición. Por ello, los operadores han propuesto establecer el percentil 95 como la medida de referencia para la exposición en el entorno de las estaciones, en lugar del máximo teórico actual. Sin embargo, queda a voluntad del regulador de cada país establecer uno u otro parámetro.

Otro asunto importante es la metodología de medición de exposición en 5G. La literatura reciente recoge diferentes propuestas para medir adecuadamente la exposición a campos

electromagnéticos de señales 5G, especialmente aquellas provenientes de estaciones base (BS, *Base Station* en inglés). Al igual que ocurría en 2G (sistema GSM), 3G (sistema UMTS/HSDPA), y 4G (LTE), la potencia transmitida por una BS depende mucho de la carga del sistema y del usuario. Por tanto, para las medidas de exposición se han de usar canales que no dependan de la carga del sistema. En 5G se plantea usar los bloques SS (Synchronization Signal) y PBCH (Physical Broadcast Channel), para, posteriormente, usar estos valores para extrapolar y proporcionar el valor máximo teórico de exposición.

En (Thors et al., 2017) se propone un modelo teórico usando mMIMO. Este modelo se basa principalmente en un modelo estadístico de cómo los usuarios se distribuyen dentro de la celda, y para varios casos considerados se concluye que los niveles máximos de potencia son significativamente menores que los teóricos. Por su parte, en (Keller, 2019) se proponen dos métodos teóricos diferentes para estimar la exposición total: uno basado en la medida selectiva en frecuencia de la intensidad de campo de SS/PBCH (similar a lo que se hace en la norma IEC 62232 de 2017 (International Electrotechnical Commission: (IEC), 2017)); y otro basado en la medida selectiva en código del SS. Finalmente, (Aerts et al., 2019) proponen y evalúan in-situ su metodología de medida y extrapolación del máximo de exposición para una frecuencia de 3,5 GHz, evaluando el bloque SS en diferentes casos y configuraciones. Los valores de intensidad de campo resultaron ser mucho menores que los exigidos por la ICNIRP.

4.1.4 Conclusiones

Los sistemas 5G por sí mismos no suponen, desde el punto de vista electromagnético, una diferencia notable con su predecesor, el sistema 4G/LTE. La mayor diferencia en la interfaz radio se encuentra en técnicas de antena que permitirán mejorar la experiencia de usuario y favorecer nuevos casos de uso y aplicaciones.

Sin embargo, la novedad se encuentra en las bandas de frecuencias utilizadas, ya que en 5G se contempla que en el futuro se desplieguen servicios 5G en bandas de milimétricas en torno a 26 GHz. Para bandas de frecuencias medias y bajas (700 MHz, y 3,6 GHz) aplican los mismos límites de exposición que aplican a los sistemas de banda ancha móvil tradicional y que vienen marcados por las pautas de la ICNIRP. Lo que realmente supone un reto en 5G es la metodología de medida de la exposición, ya que las particularidades

de su interfaz radio hacen que las medidas deban de adaptarse para medir lo más fielmente posible.

4.2 Tecnologías inalámbricas y niveles de exposición a las ondas electromagnéticas de RF.

4.2.1 Introducción

Desde principios de los años 2000, cuando la conectividad inalámbrica e Internet evolucionaron hacia tecnologías cotidianas, éstas han llegado a impregnar nuestras vidas domésticas y laborales, revolucionando la forma en que compartimos y accedemos a la información. Las redes Wi-Fi, que conectan un dispositivo electrónico, (ordenador, smartphone, tablets.....) a Internet, han permitido la interconexión de miles de millones de dispositivos, desde básculas de baño y enchufes eléctricos "inteligentes" hasta equipos que transmiten películas y música. Las redes Wi-Fi están presentes o se instalan en nuestros teléfonos inteligentes y ordenadores portátiles, en el hogar y en el lugar de trabajo, en cafés y aeropuertos y, por supuesto, en las escuelas de todo el mundo. El "aprendizaje digital" y la conectividad inalámbrica se han arraigado tanto en las escuelas que muchos educadores consideran ahora, que el acceso a Internet de alta velocidad es un requisito imprescindible para una enseñanza efectiva. Además, se ha convertido en una medida para salvar la brecha social, permitiendo a todos los estudiantes un acceso fiable a Internet para disponer de contenidos pedagógicos.

Las redes inalámbricas de área local (WLAN) se han desplegado en otros lugares públicos, como pequeñas tiendas y grandes almacenes, centros comerciales, oficinas (L. Verloock, et al., 2010), estaciones de ferrocarril (L. Hardell, et al., 2016), aeropuertos, etc., es decir, en lugares donde un elevado número de personas pasan parte de su tiempo de ocio o trabajo.

En este escenario, uno de los grupos más investigados y en el que se ha centrado una gran parte de los estudios ha sido el de los niños y jóvenes de diferentes edades, siendo numerosas las investigaciones sobre los niveles de exposición a campos electromagnéticos de RF en guarderías y colegios (Wi-Fi in Schools Australia), (Forster,

K and Moulder, J; 2013), (Foster, K.R; 2019). No obstante, son cada vez más numerosos los estudios e investigaciones dedicados a analizar la exposición en otros entornos, como hospitales y centros de atención médica, universidades y locales comerciales (cafeterías, locales de comida rápida, comercio en general), centros de visitantes turísticos y habitaciones de hotel, basados principalmente en mediciones puntuales y personales. Sin embargo, la mayoría de los estudios que presentan resultados sobre los niveles de exposición a CEM-RF en estos escenarios no se han centrado, sólo, en un estudio profundo de las exposiciones a redes Wi-Fi en el interior de los mismos, sino que han incluido medidas de las emisiones provenientes de otras fuentes.

La Figura 3 da una idea de las tecnologías móviles e inalámbricas que impregnan nuestras vidas.

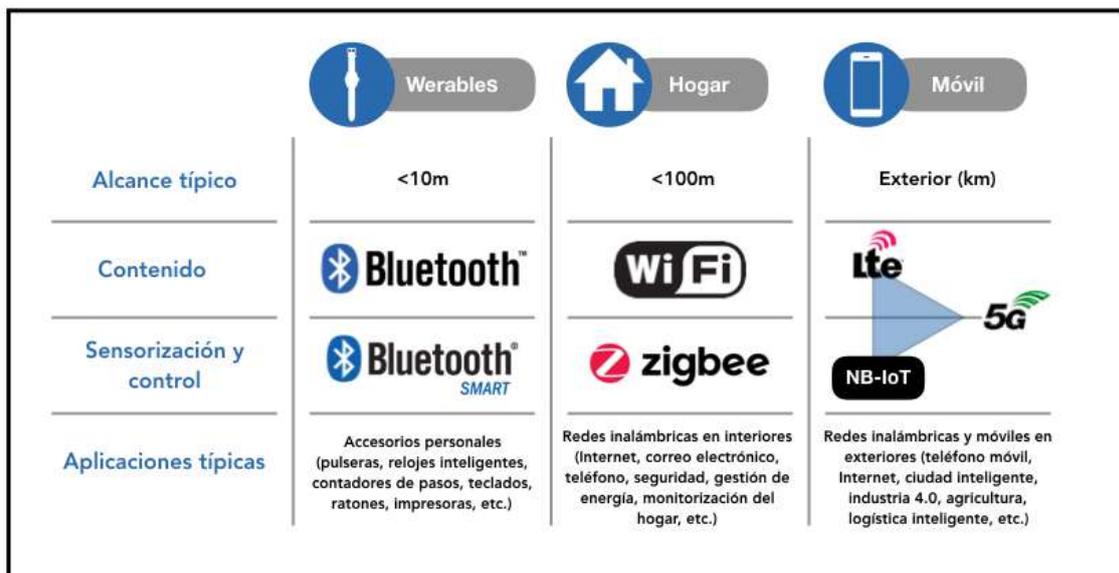


Figura 3 Tecnologías inalámbrica y móviles. Aplicaciones y cobertura

4.2.2 Parámetros técnicos de las redes WLAN: Influencia en los límites de exposición

La necesidad de “conectividad” ha convertido a la tecnología Wi-Fi en una popular tecnología inalámbrica. La expresión Wi-Fi se utiliza como denominación genérica para los productos que incorporan cualquier variante del standard 802.11.

Seguidamente se analizan algunos aspectos técnicos de las tecnologías inalámbricas (espectro, frecuencia y potencia de transmisión, ancho de banda del canal y velocidad de transmisión, esquemas de modulación, etc.) que se consideran de interés y que tienen influencia en el análisis de los campos de RF que estos equipos emiten.

4.2.2.1 Frecuencias y espectro.

Las bandas de frecuencia asignadas al Wi-Fi y a otros dispositivos de comunicaciones digitales varían ligeramente de un país a otro, pero en la mayor parte de los casos son similares a las que se usan en Europa.

Así, por ejemplo, gran parte de las redes Wi-Fi se despliegan en la banda de 2,400-2,483 GHz (2,412 – 2,452 GHz en USA) [IEEE802.11b] [IEEE802.11g]. Esta es una parte de la banda ISM (*Industrial-Scientific-Medical*) que es usada para otros propósitos, incluyendo una amplia variedad de dispositivos de comunicación digital comúnmente usados en el hogar (Bluetooth and ZigBee, interfaces inalámbricas, algunos teléfonos sin hilos), así como otros dispositivos no utilizados en comunicaciones, como los hornos de microondas. Existe otra banda de frecuencia en torno a los 5 GHz, donde también se están desplegando algunos estándares, como el IEEE 802.11a, IEEE 802.ac y IEEE 802.ax [IEEE 802.11a], o bien en la banda ISM de 5,725-5,850 GHz., donde se despliega el IEEE 802.11n [IEEE 802.11n]. Actualmente existe otro estándar, en concreto el IEEE 802.11ad [IEEE 802.11ad], que trabaja en la banda de 60 GHz, aunque no existen despliegues comerciales y son escasos los equipos disponibles.

La diferencia fundamental, entre las tecnologías inalámbricas (Wi-Fi) y las tecnologías móviles (LTE/5G) radica en el “tipo de espectro” usado en su despliegue. El espectro en el que se despliegan los sistemas de telefonía móvil es un espectro “licenciado”, espectro que es adquirido por los operadores para proporcionar los servicios de comunicaciones. Sin embargo, las redes Wi-Fi se despliegan en bandas “no licenciadas”, es decir, bandas que han sido reservadas por los respectivos gobiernos para el “uso libre” o “uso común” de las mismas. Este uso está basado en un conjunto de reglas, como la limitación de potencia, que deben cumplirse para su despliegue.

En España las tecnologías Wi-Fi se rigen, en materia de frecuencia y uso del espectro electromagnético por lo que marca el CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias) y las normas de Utilización Nacional UN-85, UN-128 y UN-164.

4.2.2.2 Potencia de transmisión

Como se ha comentado, en España el CNAF aprobado en 2017 por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, regula el despliegue de estos dispositivos. Las normas UN indican los parámetros técnicos que deben utilizarse en su despliegue, entre ellos la potencia que deben transmitir y los escenarios en los que pueden desplegarse. En concreto, para los sistemas Wi-Fi que se están desplegando las normas que aplican son:

1. Norma UN - 85. RLANs y datos en 2400 a 2483,5 MHz.

La banda de frecuencias 2.400-2.483,5 MHz, designada en el Reglamento de Radiocomunicaciones para aplicaciones Industriales, Científicas y Médicas (ICM), se podrá utilizar, bajo la consideración de “uso común” para el despliegue de *sistemas de transmisión de datos de banda ancha y de acceso inalámbrico a redes de comunicaciones electrónicas incluyendo redes de área local*. Lo más importante, a los efectos que estamos considerando, es que limita la potencia máxima radiada, indicando que la **potencia total de transmisión será de 100 mW, de PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) conforme a la Decisión de Ejecución (UE) 2017/1483**. Señala, además, que la densidad de potencia será de 100 mW/kHz, con modulación por salto de frecuencia y 10 mW/MHz con otros tipos de modulación. En ambos casos se deberán utilizar técnicas de acceso y mitigación de interferencias.

2. Norma UN-128. RLAN en 5 GHz.

Regula el despliegue y uso de los sistemas de acceso inalámbrico a redes de comunicaciones, incluidas las redes de área local. Establece dos bandas de frecuencia para su utilización que también tienen la consideración de uso común. En concreto:

➤ **Banda 5.150 – 5.350 MHz:**

En esta banda el uso por el servicio móvil en sistemas de acceso inalámbrico incluyendo comunicaciones electrónicas y redes de área local, se restringe para su **utilización únicamente en el interior de recintos. La PIRE máxima será de 200 mW, siendo la densidad máxima media de 10 mW/MHz en cualquier banda de 1 MHz.** Este valor se refiere a la potencia promediada sobre una ráfaga de transmisión ajustada a la máxima potencia. Adicionalmente, **en la banda 5.250-5.350 MHz** el transmisor deberá emplear técnicas de control de potencia (TPC) que permitan como mínimo un factor de reducción de 3 dB de la potencia de salida. **En caso de no usar estas técnicas, la PIRE máxima deberá ser de 100 mW.**

➤ **Banda 5.470 – 5.725 MHz:**

Esta banda puede ser utilizada para el despliegue de los sistemas de acceso inalámbrico, tanto en el interior como el exterior de recintos. **La PIRE será inferior o igual a 1 W.** Este valor se refiere a la potencia promediada sobre una ráfaga de transmisión ajustada a la máxima potencia. Adicionalmente, en esta banda de frecuencias el transmisor deberá emplear técnicas de control de potencia (TPC) que permitan como mínimo un factor de reducción de 3 dB de la potencia de salida. **En caso de no usar estas técnicas, la PIRE máxima deberá ser de 500 mW.**

3. Norma UN-164. Sistemas de datos de banda ancha en 60 GHz.

Esta norma regula el despliegue de sistemas de transmisión de datos a muy alta velocidad para aplicaciones de banda ancha y de corto alcance, conocidas como MGWS de sus iniciales en inglés (*Multiple Gigabit Wireless Systems*), en aplicaciones de interior, y para operar en la banda de frecuencias de 57-66 GHz, coexistiendo con otras aplicaciones en parte o en la totalidad de la banda de frecuencias, por lo que estos sistemas han de disponer adecuadas técnicas de acceso y compartición del espectro (por ejemplo LBT *Listen before Talk*, *DAA Detect and Avoid*).

Las aplicaciones WLAN/WPAN, tendrán una potencia máxima de PIRE 40 dBm o 10.000 mW y la densidad espectral de potencia no excederá el valor de 13 dBm/MHz. Estas aplicaciones tienen la consideración de uso común.

4.2.2.3 Conclusiones

La utilización de estas frecuencias para las aplicaciones indicadas se considera de uso común. El uso común no garantiza la protección frente a otras utilizaciones ni puede causar perturbaciones a servicios existentes legalmente autorizados. Por otra parte, **las anteriores normas son tajantes en cuanto a los límites de las potencias transmitidas por los Puntos de Acceso (PA). En la banda de 2,45 GHz el límite es de 10 mW, mientras que en las bandas de 5,2 GHz y 5,5 GHz es de 0,2 W y 1 W, respectivamente.** Estos valores de potencia de transmisión son similares a los establecidos en la Unión Europea y sustancialmente más bajos que las potencias de transmisión permitidas en Estados Unidos y Canadá.

4.2.2.4 _Modulaciones y esquemas de transmisión.

La transmisión de los dispositivos Wi-Fi consiste en un tren de pulsos de RF, cuyo rango de duración va de unas décimas de ms a 10 ms., aproximadamente, dependiendo de la cantidad de datos transmitidos por ráfaga (“burst”). El número de pulsos y el ciclo de trabajo de transmisión, es decir, la fracción de tiempo que la fuente transmite (PAs o tarjetas de usuario) depende de la velocidad de transmisión. Por lo tanto, la velocidad de transmisión determina el número de pulsos y, en consecuencia, la cantidad total de energía de RF requerida para transmitir un número dado de bits de datos. Como se muestra en la Tabla 2, las velocidades de transmisión soportadas por las redes inalámbricas varían considerablemente dependiendo de la versión del estándar del IEEE 802.11 soportado. Varían desde los 1 – 2 Mbit/s del estándar original a un máximo de 600 Mbit/s para el 802.11n. La velocidad de transmisión real desde un dispositivo determinado variará con el tiempo, dependiendo, entre otros factores, de los protocolos de transmisión y de anticolisión en el diseño de las redes, de la calidad de la señal, de la congestión de la red debida a la presencia de usuarios usando el mismo canal y la capacidad de la red fija para transmitir o recibir datos de las redes inalámbricas. Todos estos factores hacen que las redes inalámbricas estén diseñadas para funcionar con bajos ciclos de trabajo y duración de pulsos cortos, reduciendo, por tanto, la cantidad de potencia a transmitir.

Estándar	Bandas de frecuencia (GHz)	Anchura de banda del canal (MHz)	Velocidad máxima de transmisión (Mbit/s)	Modulación
IEEE 802.11 (1997)	2,4	22	2 Mbit/s	DSSS/FHSS
IEEE 802.11a (1999)	5,0	20	54 Mbit/s	OFDM
IEEE 802.11b (1999)	2,4	22	11 Mbit/s	DSSS
IEEE 802.11g (2003)	2,4	20	54 Mbit/s	OFDM/DSSS
IEEE 802.11n (2009)	2,4/5,0	20/40	600 Mbit/s	OFDM
IEEE 802.11ad (2012)	60,0	2160	6,7 Gbit/s	SC/OFDM
IEEE 802.11ac (2013)	2,4/5,0	20/40/80/160	6,8 Gbit/s	OFDM
IEEE 802.11ax (2019)	2,4/5,0	20/40/80/160	10 Gbit/s	OFDM

Tabla 2 Estándares Wi-Fi y parámetros técnicos

Por otra parte, los pulsos son modulados usando diferentes técnicas digitales: *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS), *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS) or *Orthogonal Frequency División Multiplexing* (OFDM), dependiendo de las diferentes variantes del estándar 802.11 que se use. La modulación crea muchas variables potenciales en la evaluación a la exposición de los campos electromagnéticos. A pesar de ello, comités científicos y organismos de normalización como la *Comisión Intenacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes* (ICNIRP, por sus siglas en inglés) o el *Instituto de Ingenieros Eléctricos o Electrónicos* (IEEE, por sus siglas en inglés) no consideran en la definición de sus límites de exposición este parámetro en redes inalámbricas, salvo en casos extremos, como pulsos cortos de muy alta intensidad.

Sin embargo, el ciclo de trabajo de las señales Wi-Fi sí tiene influencia en la exposición a los campos electromagnéticos de RF (M Khalid, *et al.*, 2011). W. Josep *et al.*, 2013 midieron el ciclo de trabajo de redes WLAN usando tecnología Wi-Fi en 179 localizaciones para diferentes ambientes (áreas urbanas, viviendas, oficinas, etc.) y condiciones de trabajo (transferencia de ficheros, navegación en Internet, descarga de videos, etc. El ciclo medio de trabajo de todas las medidas realizadas fue del 1,4%. El ciclo de trabajo es fuertemente dependiente de la carga en la red y de la velocidad de la

misma. Ciclos de trabajo superiores se observaron en ambientes urbanos e industriales. El máximo ciclo de trabajo medido fue del 93,6% para transferencia de ficheros en una red lenta. La navegación por Internet y “audio streaming” requieren menos Mbits y ciclos de trabajo inferiores, normalmente por debajo de los 3,2%.

Por ejemplo, a 30 cm de un PA (un escenario con un PA en un despacho y usando una conexión de alta velocidad de 54 Mbps, situación bastante realista) y suponiendo un ciclo de trabajo del 100%, el valor de la intensidad de campo medida es de 5,53 V/m (11 veces inferior al establecido por la ICNIRP). Pero aplicando un ciclo de trabajo del 1,4%, según los valores obtenidos en el estudio, el valor es del 0,65% (93 veces inferior al de la ICNIRP). Si se considera ciclos de trabajo realistas en oficina y usamos un valor de 6,1% (W. Josep et al., 2013), se obtiene un valor de 1,36 V/m (45 veces inferior al establecido por la ICNIRP). Esto da una indicación de la cantidad de sobreestimación a la exposición de los campos de RF-EMF cuando no se aplican ciclos de trabajo realistas para evaluar la exposición de las redes WLAN a los campos electromagnéticos.

4.2.2.5 Densidades de potencia y promediado temporal.

Como se ha comentado anteriormente, las potencias máximas transmitidas por los Puntos de Acceso (PA) y por las tarjetas de usuario están fijadas por las autoridades regulatorias nacionales e internacionales. En España están fijadas por las notas de utilización nacional. En la Tabla 3 se comparan los límites de exposición, tanto para el público ocupacional como para el público en general, de distintas comisiones científicas (ICNIRP) y organismos de normalización (IEEE) en las frecuencias usadas por las redes inalámbricas.

ORGANIZACIÓN	Bandas de frecuencia (GHz) Estándares	Tipo de público	Densidad de potencia (W/m ²)	Promediado de las medidas	
				Exposición	Promediado temporal (minutos)

ICNIRP	2,4 / 5,0 GHz. [IEEE 802.11a, b, g, n, ac, ax]	Ocupacional	50	Todo el cuerpo	30
			200	Exposición local	6
		General	10	Todo el cuerpo	30
			40	Exposición local	6
	60 GHz [IEEE 802.11ad]	Ocupacional	50	Todo el cuerpo	30
			100	Exposición local	6
		General	10	Todo el cuerpo	30
			$55/60^{0,177} = 26,65$	Exposición local	6
IEEE	2,4 / 5,0 GHz. [IEEE 802.11a, b, g, n, ac, ax]	Ocupacional	50	Todo el cuerpo	30
			200	Exposición local	6
		General	10	Todo el cuerpo	30
			40	Exposición local	6
	60 GHz [IEEE 802.11ad]	Ocupacional	50	Todo el cuerpo	30
			$274/60^{0,177} = 123,75$	Exposición local	6
		General	10	Todo el cuerpo	30
			$55/60^{0,177} = 26,65$	Exposición local	6

Tabla 3 Límites de exposición a frecuencias usadas por las redes WLAN

4.2.3 Evaluación de la exposición. Estudios sobre las tecnologías inalámbricas

Como se ha comentado anteriormente, es evidente el creciente aumento de infraestructuras de comunicaciones basadas en redes inalámbricas (WLAN), y por consiguiente, del despliegue de PA y el incremento del uso de ordenadores portátiles y teléfonos inteligentes con conexión Wi-Fi. Son numerosos los estudios realizados sobre la influencia del despliegue de estos sistemas en escuelas y colegios, algunos de los cuáles fueron revisados en el informe anterior (Informe CCARS 2013-2016). Sin embargo, son cada vez más numerosos los estudios en los que se hace, no solo una evaluación de los CEM debido a las redes Wi-Fi en los interiores, sino a la exposición acumulativa de las diversas fuentes, como las torres de telefonía móvil, emisoras de TV y radiodifusión, etc, sino también de fuentes de CEM en el hogar, por ejemplo, monitores

inalámbricos, instalaciones Wi-Fi, teléfonos inalámbricos y otros dispositivos emisores de RF en el hogar. Revisaremos, en primer lugar, los últimos estudios dedicados a analizar la exposición en centros educativos, para posteriormente, revisar algunos dedicados a evaluar la exposición en oficinas y finalizar con estudios de exposición acumulativa.

En un completo estudio llevado a cabo por la ARPANSA (*Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency*) (K. Karipidis, *et al.*, 2017) se realizaron medidas de los campos electromagnéticos de Wi-Fi y otras fuentes en 23 escuelas localizadas en dos estados de Australia. Todas las mediciones se realizaron con cita previa, principalmente durante el horario escolar entre las 8:30 a.m. y las 3:30 p.m. Una escuela fue medida durante los días de vacaciones y otra durante el día en que los estudiantes realizaban actividades deportivas y estaban fuera del campus. El objetivo principal del estudio era medir los valores de las exposiciones a CEM-RF, típicos y de pico, debidos a redes Wi-Fi en el aula y el patio de la escuela y compararlos con las directrices de la ICNIRP. Las medidas se realizaron con un medidor de campo selectivo, en concreto, el Modelo Narda SMR-3006, y tres sondas triaxiales separadas (una para el campo magnético y dos para el campo eléctrico), cubriendo el rango de frecuencias de 9 KHz a 6 GHz. Las medidas incluían registro de los campos de RF promediados y máximos debidos al Wi-Fi caminando por la clase, mediciones detalladas en las bandas de frecuencia específicas Wi-Fi dentro del aula y de todas las señales de RF detectables hasta 6 GHz, en las aulas y patio de las escuelas. En el citado artículo también se describen las características de las escuelas (urbanas, rurales, número de estudiantes, número de puntos de acceso).

Los niveles de RF promedio (típico) y máximo (pico) de Wi-Fi medidos en ubicaciones ocupadas por estudiantes en el aula fueron del orden de $10^{-4}\%$ y $10^{-2}\%$ del nivel de referencia de la ICNIRP, respectivamente, es decir, varios órdenes de magnitud inferiores a los niveles recomendados. Los valores obtenidos están en consonancia con los valores anteriores obtenidos en estudios previos y reseñados en el Informe del CCARS 2013-2016. El ciclo de trabajo promedio medido en las 23 escuelas fue del 6,3% y del 2,4% para transmisiones en la banda de 2,45 GHz y de 5 GHz, respectivamente.

Los autores concluyeron que la exposición a RF típica a la que estaban expuestos los niños a través de Wi-Fi en la escuela era menor que la exposición debida a otras fuentes presentes en las proximidades.

Otro estudio en la línea de evaluar la exposición ambiental y personal a campos electromagnéticos de RF fue realizado también en Australia, en concreto en Melbourne (C. R. Bhatt, *et al.*, 2016). Las medidas fueron realizadas con un exposímetro, ExpoM-RF 64, que medía la intensidad del campo eléctrico ambiental (E_{rms} en V/m). Este exposímetro es capaz de evaluar la exposición a campo lejano personal y ambiental de los CEM-RF. Se seleccionaron 16 bandas de frecuencia entre 88 MHz y 5,8 GHz. La exposición ambiental se evaluó mediante mediciones puntuales en cinco puntos diferentes en cada aula, cada una con una duración de 6 min. Las mediciones personales incluyeron a 10 niños de veinte jardines de infancia diferentes que participaban en el estudio y se realizaron entre las 08:30 y las 13:30 h. El valor medio del campo eléctrico obtenido por medidas ambientales en las instalaciones interiores de los jardines de infancia fue igual a 127 mV/m considerando todas las fuentes (es decir, toda la contribución de las 16 bandas de frecuencia consideradas). La exposición media ambiental en el conjunto del jardín de infancia era de: 179 mV/m (para todas las bandas), 123 mV/m (el total para el enlace descendente de las estaciones base de telefonía móvil), 46 mV/m (total para el enlace ascendente de las estaciones base de telefonía móvil) y 16 mV/m (Wi-Fi 2,4 GHz).

De manera similar, para la exposición personal, se encontraron valores medios iguales a 81 mV/m (en todas las bandas, 0,29% del nivel de referencia de la ICNIRP más bajo para toda la banda de frecuencias), 60 mV/m (enlaces descendentes totales de las estaciones base de telefonía móvil, 0,16% del nivel de referencia de la ICNIRP más bajo para la banda de frecuencias del enlace descendente), 21 mV/m (enlaces ascendentes totales de la estación base del teléfono móvil, 0,05% del nivel de referencia ICNIRP más bajo para la banda de frecuencia del enlace descendente) y 9 mV/m (Wi-Fi 2,4 GHz, 0,02 % del nivel de referencia ICNIRP). Las mediciones mostraron que los niveles ambientales de exposición a CEM-RF excedieron los niveles personales de exposición a CEM-RF en los jardines de infancia. Además, los autores encontraron que los niveles de exposición promedio para aquellos jardines de infancia a < 300 m de la estación base de telefonía móvil más cercana eran significativamente más altos en comparación con las medidas para aquellos a > 300 m de distancia. La Tabla 4 muestra un resumen de los valores de exposición “medios” medidos, en términos de la intensidad del campo eléctrico en los 20 jardines de infancia, tanto para exposición ambiental como personal.

Escenario	Niveles de exposición “medios” totales (mV/m)	Niveles de exposición “medios” totales: <i>Enlaces descendentes</i> (mV/m)	Niveles de exposición “medios” totales: <i>Enlaces ascendentes</i> (mV/m)	Niveles de exposición “medios” totales: <i>Wi-Fi 2,4 GHz.</i> (mV/m)
Escenario completo (Interior+Exterior). <i>Exposición ambiental o Público en general.</i>	179	123	46	16
Escenario completo (Interior+Exterior). <i>Exposición personal u ocupacional.</i>	81	60	21	9
Sistemas de comunicaciones considerados: DECT (1880-1900 MHz), FM radio (87,5-108MHz), DVB-T [VHF: 174-202 MHz, VHF: 209-230 MHz, UHF: 526-820 MHz.], LTE 800 MHz (DL y UL), GSM 900 MHz (DL y UL), GSM 1800 MHz (DL y UL), UMTS 2100 MHz (UL y DL), ISM (Wi-Fi) 2,4 GHz, LTE 2600 MHz (UL y DL), WiMax 3,5 GHz, ISM (Wi-Fi) 5,8 GHz.				

Tabla 4 Resumen de los valores de exposición “medios” medidos (mV/m) en los distintos casos considerados [C. R. Bhatt, *et al.*, 2016].

La contribución de los valores de Wi-Fi no eran solo los presentes en el jardín de infancia, sino que incluía los provenientes de redes Wi-Fi exteriores. Señalar que la contribución del Wi-Fi a la exposición total era aproximadamente del 10%, en términos de intensidad de campo eléctrico. El máximo valor del Wi-Fi en exposición ambiental y personal estaba en un 0,05% y un 0,02% de los valores límites establecidos de intensidad de campo eléctrico por la ICNIRP.

En el estudio llevado a cabo por (Kurnaz, *et al.*, 2016), se realizó una intensa campaña de medidas de CEM-RF, tanto selectivas en frecuencia y de corta duración como de larga duración, en 92 escuelas de primaria y de secundaria de Turquía. Se realizaron durante los meses de mayo, junio, octubre y diciembre de 2016. Las medidas selectivas en banda duraron 6 minutos en cada punto, mientras que, después de completar las mediciones de

banda ancha y selectivas de banda, se realizaron medidas de la intensidad de campo (E) durante 24 h de mediciones en la escuela con intensidad del campo eléctrico promedio (E_{avg}). Los resultados mostraron que el E_{avg} máximo registrado fue de 2,34 V/m (8% del nivel de referencia ICNIRP más bajo para la banda de frecuencia considerada), en octubre, el mes en que más estudiantes estaban en la escuela. Los autores concluyeron que los niveles medidos de E_{avg} registrados en 92 escuelas estaban por debajo de las recomendaciones de la ICNIRP. Las cinco principales fuentes de contribución a la intensidad del campo eléctrico (E) fueron los servicios LTE800, GSM900, GSM1800, UMTS2100 y WLAN. También se concluyó que en las medidas efectuadas en banda ancha con largo tiempo de exposición el número de usuarios activos afectó el E_{total} , y que los niveles de intensidad de campo (E) medidos fueron significativamente más altos durante el día que los registrados durante la noche.

En otro estudio, en este caso en la ciudad de Amsterdam, se midieron los niveles de CEM-RF a los que estaban expuestos los niños en el interior de 102 escuelas de enseñanza primaria (L. van Wel *et al.*, 2017). Este número representa el 48% de las escuelas de primaria en Amsterdam. Las medidas en cada aula consistieron en siete mediciones puntuales de dos minutos cada una, con muestreo de 4 s, realizadas después de las clases, por la tarde. Se utilizó el modelo de exposímetro EME SPY 140 que permite la medida en 14 bandas de frecuencia diferentes. Los resultados mostraron una densidad de potencia promedio de $70,5 \mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,16 V/m). Los principales contribuyentes a los niveles totales de CEM-RF fueron el enlace descendente de telefonía móvil y las señales DECT. Más de la mitad de las señales detectadas (56,3%) se originaron en fuentes externas (por ejemplo, enlaces descendentes de sistemas de telefonía móvil, TETRA y radiodifusión). Al observar las señales que se originaron en fuentes interiores (por ejemplo, DECT, Wi-Fi, enlace ascendente móvil), DECT fue el principal contribuyente, seguido por el enlace ascendente del teléfono móvil. La mayoría de las variaciones entre las medidas se explicaron por las diferencias entre las habitaciones.

El estudio realizado en escuelas suecas (L.K. Hedendahl, *et al.*, 2017) ilustra los niveles de exposición a campos electromagnéticos de redes inalámbricas medidos en las mismas. El estudio se centró en la evaluación de los niveles de exposición debidos a redes Wi-Fi, aunque se consideró, además, la contribución debida a teléfonos móviles y estaciones de telefonía móvil situadas en las proximidades de las escuelas. La evaluación se realizó

midiendo la exposición a CEM-RF de los 18 profesores que participaron en el estudio durante su actividad en la escuela para estimar la exposición de los alumnos. Cada profesor estaba equipado con un dosímetro EME-Spy 200 y el tiempo en el que se registraron las medidas varió de 6 a 31 horas, resultando en un total de 255 horas de observación. Las medidas obtenidas en los dosímetros de los 18 profesores mostraron valores medios de exposición a CEM-RF bastante bajos de 1,1 a 66,1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,02 V/m y 0,16 V/m, en términos de campo eléctrico, correspondiente a un 0,07% y 0,6% de los valores de referencia de la ICNIRP), con niveles más altos durante las lecciones cuando se usaban activamente los ordenadores portátiles o teléfonos móviles. El nivel medio más alto, 396,6 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, se produjo durante 5 minutos de una lección cuando el profesor permitió que los estudiantes, unos 20, descargaran y visualizaran videos de YouTube. Se encontró que los valores máximos eran más altos cuando los profesores se conectaban a estaciones base de telefonía móvil fuera del edificio de la escuela, hasta 82,8 mW/m^2 provenientes de los enlaces ascendentes de 4G 800 MHz, GSM 1800 MHz y 3G 2100 MHz. El nivel máximo de exposición del enlace descendente desde las mismas estaciones base era de 3,3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,04 V/m, en términos de campo eléctrico, correspondiente al 0,09% del nivel de referencia de la ICNIRP), proveniente del 4G 800 MHz.

Si se considera sólo la contribución del Wi-Fi a los niveles de exposición, los valores máximos fueron iguales a 4,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,04 V/m, en términos de campo eléctrico, correspondiente al 0,07% del nivel de referencia de la ICNIRP) y 3,3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,035 V/m, en términos del campo eléctrico, correspondiente al 0,06% del nivel de referencia ICNIRP), para 2,4 GHz y 5 GHz, respectivamente. Los valores “medios” totales considerando todos los docentes fueron iguales a 2,8 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,03 V/m, en términos de campo eléctrico, correspondiente al 0,05% del nivel de referencia de la ICNIRP) para Wi-Fi 2,4 GHz y 3,1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,034 V/m, en términos de campo eléctrico, correspondiente al 0,06% del nivel de referencia de la ICNIRP) para 5 GHz. Medidas que según los autores están en línea con los obtenidos en escuelas de otros países. Además, señalan, que con el instrumento utilizado no fue posible medir los ciclos de trabajo de las señales Wi-Fi. En la Tabla 5 se muestra un resumen de las medidas obtenidas en los anteriores estudios realizados en guarderías y escuelas de educación primaria y secundaria, tanto en los valores de exposición a las redes Wi-Fi como al resto de sistemas de radiocomunicaciones presentes en sus proximidades.

REFERENCIA	PAIS	Media para todas las emisiones de RF ($\mu\text{W}/\text{m}^2$). (Media de exposición personal/ambiental máxima y mínima).	Media para la exposición a sistemas Wi-Fi ($\mu\text{W}/\text{m}^2$). (Media de exposición personal/ambiental máxima y mínima).	Media en $\mu\text{W}/\text{m}^2$ para otras emisiones de RF. (Media de exposición personal/ambiental máxima y mínima).
K. Karipidis <i>et al.</i> ,	AUSTRALIA (Nueva Gales de Sur y Victoria).	48 ^(a) (2.230) ^(b) ^(a) Valor típico de los niveles de RF, (promediados en 1 minuto) en clase y patio. ^(b) Valor máximo de la exposición a RF (1m. máximo) en clase y patio.	18 ^(a) (1.700) ^(b) ^(a) Valor típico de los niveles de RF, (promediados en 1 minuto) en clase y patio. ^(b) Valor máximo de la exposición a RF (1minuto máximo) en clase y patio.	Radio [AM/FM]: 9,6 (0- 43) . TV [VHF/UHF]: 0,25 (0 - 1,3) . <u>Telefonía móvil:</u> [LTE 800, GSM 900 y 1800, UMTS 2100, LTE 2600, WiMax 3500]: 1,45 (0 - 10) <u>Otros sistemas:</u> [DECT 1800, ISM 900, UHF y VHF Paging] 0,08 (0 - 0, 21) Nota: Los valores típicos están promediado en 1min., y los de pico son medidos en un máximo de 1min.
C.R. Bhatt, <i>et al.</i> , (*)	AUSTRALIA (Melbourne).	85,04 ^(a) (14,93 - 493,01) ^(a) ^(a) Niveles de exposición ambiental total en las guarderías. 42,81 ^(b) (7,18 - 124,97) ^(b) ^(b) Niveles de exposición ambiental total en el interior de las guarderías. 144,08 ^(c) (22,46 - 2.212,29) ^(c)	0,86 ^(a) (0,25 - 4,46) ^(a) ^(a) Niveles de exposición ambiental total debido al Wi-Fi 2,4 GHz. 1,06 ^(b) (0,32 - 2,55) ^(b) ^(b) Niveles de exposición ambiental total en el interior debido al Wi-Fi 2,4 GHz. 0,96 ^(c) (0,17 - 2,23) ^(c) ^(b) Niveles de exposición ambiental total en el exterior debido al Wi-Fi 2,4 GHz.	Radio [AM/FM]: 2,23 (0,52 - 38,22) . DVB-T: 0,86 (0,07 - 20,99) . <u>Enlace descendente.</u> <u>Sistema:</u> LTE 800: 0,02 (0,02 - 0,96) . GSM 900: 17,85 (2,72 - 328,84) . GSM 1800: 4,04 (0,68 - 72,26) . UMTS 2100: 6,90 (0,45 - 60,51) .

		(c) Niveles de exposición ambiental en el exterior de las guarderías.		<p>LTE 2600: 0,0 (0,0 – 0,07).</p> <p><u>Otros sistemas:</u> WiMax 3500: 0,01 (0,01 – 0,01). DECT: 0,13 (0,02 - 2,89).</p> <p>Nota: Valores de exposición ambiental total (interior edificio+jardines) en las guarderías.</p>
C. Kurnaz, <i>et al.</i> ,(*)	TURQU IA Mayo 2016 Junio 2016 Octubre 2016 Diciembre 2016	<p>228,47 (13.079)^(a)</p> <p>180,10^(a)</p> <p>(13.435,99)^(a)</p> <p>1.604,36^(a)</p> <p>(14.5324,24)^(a)</p> <p>712,96^(a)</p> <p>(9.783,71)^(a)</p> <p>^(a) Niveles de exposición ambiental total obtenidos en las 92 escuelas con el medidor en banda ancha PMM-8053.</p>	<p><u>Wi-Fi 2,4 GHz.</u> 1,28^(a)</p> <p>^(a) Niveles de exposición ambiental total debido al Wi-Fi 2,4 GHz., obtenidos con el medidor selectivo en frecuencia NARDA SRM-3006.</p>	<p>TV [VHF]: 0,67. TV [UHF]: 6,11.</p> <p><u>Enlace descendente.</u> <u>Sistema:</u> LTE 800: 24.672,65. GSM 900: 10.394,23. GSM 1800: 6.965,16. UMTS 2100: 1.545,08.</p> <p><u>Otros sistemas:</u> DECT: 32,70.</p> <p>Nota: Niveles de exposición obtenidos con el medidor selectivo en frecuencia NARDA SRM 3006</p>
L. van Well, <i>et al.</i> ,	HOLA NDA (Amsterdam)	<p>70,5^(a)</p> <p>^(a) Valor promedio resultante de los niveles de exposición ambiental a CEM-RF en las 201 clases de las 102 escuelas.</p>	<p><u>Wi-Fi 2,4 GHz.</u> 2,4</p> <p><u>Wi-Fi 5,0 GHz.</u> No fue detectado.</p>	<p>Radio [FM]: 0,94. TV [VHF]: 1,56.</p> <p><u>Enlace descendente.</u> <u>Sistema:</u> GSM 900: 12,35. GSM 1800: 8,39. UMTS 2100: 3,43.</p> <p><u>Otros:</u> WiMax 3500: 0,01. DECT: 35,18. TETRA: 2,1.</p>

				Nota: Valores promedio resultantes de los niveles de exposición ambientales a CEM-RF en las 201 clases.
L. K. Hedendahl, <i>et al.</i> ,	SUECI A	22,5 ^(a) (11 – 66,1) ^(a) ^(a) Valores medios totales de exposición medios en los 18 profesores participantes en el estudio.	<u>Wi-Fi 2,4 GHz.</u> 2,8 (0,2 - 8,9) <u>Wi-Fi 5,0 GHz.</u> 3,1 (0,0 - 10,4)	<u>Enlace descendente.</u> <u>Sistema:</u> LTE 800: 4,1 (0 - 27,5) . GSM + UMTS 900: 3,02 (0 - 10,7) . GSM 1800: 0,0 (0 - 0,3) . UMTS 2100: 0,7 (0,0 – 3,3) . LTE 2600: 1,5 (0 - 16,0) .
(*) En estos artículos, los CEM-RF eran medidos en [V/m]. Para hacer los valores comparables la <i>intensidad del campo</i> eléctrico (E) en V/m, se han convertido a <i>densidad de potencia (S)</i> en ($\mu\text{W}/\text{m}^2$) mediante la fórmula: $S = 0,002654 \times E^2 \times 10^6$.				

Tabla 5 Resumen de las medidas obtenidas en diversos estudios realizados en escuelas.

Se reseñan dos estudios en los que se aborda la temática de la exposición a redes Wi-Fi en lugares de trabajo. En el primero de ellos, (M. Ibrani *et al.*, 2016) se realizaron medidas en las oficinas de algunas empresas que se caracterizaban por el uso extensivo de tecnologías inalámbricas. Las mediciones se registraron durante y después de las horas de trabajo y también durante los fines de semana, utilizando un dosímetro personal que midió el nivel total de exposición entre 88 y 5850 MHz, y la contribución relativa de 14 bandas de frecuencia utilizadas para comunicaciones móviles e inalámbricas. Los resultados mostraron que el valor de densidad de potencia media total durante la jornada laboral era de $0,524 \text{ mW}/\text{m}^2$ ($0,4 \text{ V}/\text{m}$ en términos de campo eléctrico, correspondiente al 1,5% del nivel de referencia ICNIRP más bajo para la banda de frecuencias de 88–5.850 MHz). Durante el fin de semana, para las mismas horas de exposición que para la jornada laboral, el valor medio de la densidad de potencia fue de $0,828 \text{ mW}/\text{m}^2$ ($0,56 \text{ V}/\text{m}$, 2% del nivel de referencia ICNIRP más bajo para la banda de frecuencia de 88–

5.850 MHz, principalmente, debido a la exposición al enlace descendente del sistema GSM ($0,500 \text{ mW/m}^2$, $0,43 \text{ V/m}$ en términos de campo eléctrico, $0,7\%$ del nivel de referencia ICNIRP). El estudio incluyó la exposición debida a Wi-Fi en la banda de frecuencia entre $5,1$ y $5,8 \text{ GHz}$, encontrando que su contribución fue relativamente pequeña ($0,046 \text{ mW/m}^2$, $0,13 \text{ V/m}$ en términos de la intensidad del campo eléctrico, $0,22\%$ del nivel de referencia ICNIRP), y confirmando que los principales contribuyentes a la exposición CEM-RF son los sistemas de telefonía móvil ($0,255 \text{ mW/m}^2$, $0,31 \text{ V/m}$ en términos de campo eléctrico, $0,53\%$ del nivel de referencia ICNIRP) y sistemas DECT ($0,178 \text{ mW/m}^2$, $0,26 \text{ V/m}$ en términos de campo eléctrico, $0,45\%$ del nivel de referencia ICNIRP). Los autores concluyeron que la cantidad total de exposición personal, sorprendentemente mayor durante el fin de semana que durante los días de trabajo, dependía, principalmente, de los hábitos de las personas en tales entornos y de las especificidades de los mismos, al estar cerca de cafés, transporte público, restaurantes, etc.

En un segundo trabajo, debido a (Amizadeh *et al.*, 2016), se realizaron medidas de la tecnología Wi-Fi en el interior de edificios de oficinas en Gante, Bélgica, utilizando dosímetros personales. Los resultados mostraron valores de densidad de potencia máxima y media iguales a $8,9 \text{ mW/m}^2$ y $165,8 \text{ } \mu\text{W/m}^2$ ($1,8 \text{ V/m}$ y $0,25 \text{ V/m}$, en términos de intensidad de campo eléctrico).

Describiremos, seguidamente algunos de los resultados obtenidos en una serie de artículos y estudios de los que se han denominado de “exposición acumulativa”. En (L.E. Birks, *et al.*, 2018] se realiza un estudio de la exposición personal a CEM-RF en 529 jóvenes, de edades comprendidas entre los 8 y 18 años, en Dinamarca, los Países Bajos, Eslovenia, Suiza y España. Las medidas fueron realizadas con medidores de exposición portátiles personales durante un periodo de tiempo que variaba de uno a tres días, entre 2014 y 2016 y se repitió en una submuestra de 28 niños un año después. Los resultados mostraron que las exposiciones medias en términos de densidad de potencia fueron más altas mientras los niños estaban en la calle ($157,0 \text{ } \mu\text{W/m}^2$, o $0,24 \text{ V/m}$, en términos de intensidad del campo eléctrico, $0,86\%$ del nivel de referencia ICNIRP) o viajando ($171,3 \text{ } \mu\text{W/m}^2$, o $0,24 \text{ V/m}$, en términos de intensidad del campo eléctrico, $0,9\%$ del nivel de referencia ICNIRP), y mucho más bajo cuando los niños estaban en interiores, en casa ($33,0 \text{ } \mu\text{W/m}^2$ o $0,1 \text{ V/m}$, en términos de intensidad del campo eléctrico, $0,4\%$ del nivel de referencia ICNIRP) o en la escuela ($35,1 \text{ } \mu\text{W/m}^2$ o $0,11 \text{ V/m}$, en términos de intensidad

del campo eléctrico, 0,4% del nivel de referencia ICNIRP). Muy interesante, a efectos de la exposición a señales de redes Wi-Fi es la Tabla 2 del citado artículo, que da una media de la exposición a CEM-RF, medida en términos de la densidad de potencia ($\mu\text{W}/\text{m}^2$), para los diferentes sistemas de comunicaciones analizados. La conclusión final es que la exposición a redes Wi-Fi representa el 4% de la exposición total, frente al 54% de las señales de las estaciones base de telefonía celular, el 32% de la radiodifusión y TV y el 10% de señales de telefonía próximas.

Estos resultados están en consonancia con estudios similares sobre niveles de exposición realizados en Suiza (K. Roser, *et al.*, 2017). Este estudio se centró en la medición personal de los niveles de exposición a CEM-RF en adolescentes suizos. Aunque el objetivo del estudio no era sólo la evaluación de la exposición en ambientes de interiores, los autores detallaron los niveles de exposición registrados en diferentes escenarios de interiores en los que los sujetos involucrados pasaron su tiempo. Los participantes llevaron un dispositivo portátil de medición de CEM-RF que mide 13 bandas de frecuencias que van desde 470 a 3.600 MHz durante tres días consecutivos (con un intervalo de muestreo igual a 4 s.) y mantuvieron un diario de actividad de tiempo. En total, 90 adolescentes de 13 a 17 años participaron en el estudio realizado entre mayo de 2013 y abril de 2014. Además, los valores de medición personal se combinaron con cálculos de dosis para el uso de dispositivos de comunicación inalámbrica para cuantificar la contribución de varias fuentes de CEM-RF a la dosis diaria de CEM-RF de los adolescentes. Los resultados mostraron que las mediciones promedio totales de CEM-RF personales de los adolescentes fueron más altas cuando pasaron tiempo en transporte público y automóviles ($839,4 \mu\text{W}/\text{m}^2$, $0,56 \text{ V}/\text{m}$, en términos de intensidad del campo eléctrico, en automóviles, $676,3 \mu\text{W}/\text{m}^2$, $0,51 \text{ V}/\text{m}$ en términos de intensidad de campo eléctrico, en autobuses, y $537,1 \mu\text{W}/\text{m}^2$, $0,45 \text{ V}/\text{m}$ en términos de intensidad de campo eléctrico, en trenes), mientras que las mediciones más bajas se obtuvieron en la escuela ($59,6 \mu\text{W}/\text{m}^2$, $0,15 \text{ V}/\text{m}$ en términos de intensidad de campo eléctrico) y en el hogar ($31,1 \mu\text{W}/\text{m}^2$, $0,11 \text{ V}/\text{m}$ en términos de intensidad de campo eléctrico). La contribución principal para todas las ubicaciones en interiores se debió a las señales del enlace ascendente de las redes de telefonía móvil, mientras que la presencia de WLAN en la escuela y en el hogar tuvo poco impacto en las mediciones personales (WLAN representó el 3,5% del total de las mediciones personales).

En (M. Eeftens, *et al.*, 2018) un grupo europeo de investigadores equiparon con dosímetros personales de medición de CEM-RF a un conjunto de 294 padres y 529 niños de 8 a 18 años de Dinamarca, Países Bajos, Eslovenia, Suiza y España. Estos dosímetros registraron las exposiciones a una amplia variedad de fuentes de RF, tanto dentro como fuera de las escuelas, durante tres días. Los dispositivos midieron la densidad de flujo de potencia (mW/m^2) en 16 bandas de frecuencias diferentes cada 4s. Se analizaron los resultados de sus exposiciones por actividad: enlace descendente (radiación emitida desde las estaciones base de teléfonos móviles), enlace ascendente (transmisión desde el teléfono a la estación base), DECT (telecomunicaciones inalámbricas digitales mejoradas) y Wi-Fi. La media de exposiciones personales promedio ponderadas en el tiempo fue de $0,16 \text{ mW}/\text{m}^2$ para niños y $0,15 \text{ mW}/\text{m}^2$ para padres, predominantemente provenientes del enlace descendente de las distintas fuentes de RF presentes (47% para niños y 45% para padres), seguidas del enlace ascendente (18% y 27%, respectivamente) y radiodifusión (24 y 19%). Aunque no hay una separación clara de la actividad de las redes Wi-Fi en las escuelas y casas, a tenor de los resultados presentados, el estudio encontró que las exposiciones a RF en las escuelas eran generalmente comparables o inferiores a las de otros entornos: el 95 % de los niños tenían Wi-Fi en casa, y tres cuartos de ellos usaban teléfonos celulares, con más de un tercio de los estudiantes que accedían Internet a través de teléfonos celulares durante más de 30 minutos al día.

Por último, reseñar dos interesantes trabajos por la gran revisión bibliográfica que realizan, especialmente en entornos de interiores, donde se despliegan un gran número de redes inalámbricas. El primero de ellos, (E. Chiarelli, *et al.*, 2019), proporciona un resumen de los resultados obtenidos en los últimos diez años de esfuerzos de investigación centrados en la evaluación de la exposición a CEM-RF, principalmente, en ambientes de interiores. Dos de las conclusiones del citado estudio: a) *“La exposición en edificios educativos, como escuelas, universidades, jardines de infancia, etc., tenía niveles de exposición muy bajos, con valores medios de exposición total en el rango de $0,07 - 0,54 \text{ V}/\text{m}$. En las escuelas, la contribución más importante al nivel de exposición se debió a los enlaces ascendente o descendente de las comunicaciones móviles, mientras que el Wi-Fi contribuyó a la exposición con niveles medios en el rango de $0,01 - 0,29 \text{ V}/\text{m}$. Se observaron niveles similares de exposición en otros edificios públicos, como aeropuertos, estaciones de ferrocarril, centros comerciales, etc., con valores medios de exposición total en el rango de $0,15 - 0,54 \text{ V}/\text{m}$.”* b) *“Todos los resultados mostraron que*

en todos los entornos considerados los niveles de exposición estaban muy por debajo de los niveles de referencia de la ICNIRP para exposición del público en general [ICNIRP], con los niveles medios máximos de exposición, considerando la banda de frecuencia de RF-EMF completa, en las oficinas (1,14 V/m) y los transportes públicos (0,97 V/m), y los niveles más bajos de exposición en hogares y apartamentos, con valores medios en el rango de 0,13 a 0,43 V/m”.

El objetivo principal del segundo de ellos (S. Sagar, *et al.*, 2018), era realizar una revisión sistemática de la literatura sobre la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) en el entorno cotidiano en Europa y resumir las características clave de los diversos tipos de estudios realizados en los países europeos. La conclusión final de informe: *“Este estudio ha demostrado que los estudios de medición de exposición a RF-EMF en Europa han utilizado diferentes enfoques y procedimientos que limitan la comparabilidad entre los mismos. Se encontró un patrón general hacia los niveles de exposición más altos en el transporte público (~ 0,5–1,0 V/m), principalmente debido al enlace ascendente, seguido por los niveles exteriores (~ 0,3–0,7 V/m) principalmente debido al enlace descendente. Las exposiciones en los hogares suelen estar en el rango de 0,1–0,4 V/m con contribuciones relevantes del enlace descendente, enlace ascendente y DECT, mientras que la contribución de las redes WLAN es relativamente baja. Para una mejor comparabilidad entre países y para evaluar las tendencias temporales, se necesita un enfoque más armonizado entre los estudios.”*

4.3 Otros dispositivos inalámbricos en bandas de frecuencias de uso común

En Estados Unidos, la Federal Communications Commission (FCC) obliga a un proceso formal de aprobación que asegure que cualquier dispositivo inalámbrico no exceda la tasa de absorción específica (SAR) máxima permitida (1,6 W/kg, promediado en un gramo de tejido), y si el dispositivo que se comercializa no coincide con el aprobado, se puede retirar del mercado y ejercitar acciones legales contra el infractor.

Si bien la normativa española sobre exposición humana a campos electromagnéticos (Ministerio de la Presidencia, 2001) y los límites que allí se reflejan hacen referencia a las emisiones generadas por estaciones radioeléctricas, no se indica su aplicación general

a los dispositivos inalámbricos. Es verdad que en dicha normativa se hace referencia en su artículo 11 a equipos y aparatos, pero lo hace en términos de conformidad, como el resto de requisitos que le son aplicables, de los aparatos de telecomunicaciones, fundamentalmente en conformidad a compatibilidad electromagnética y, en particular, a emisiones radiadas, donde la legislación comunitaria y su transposición nacional son de aplicación. También es cierto que, además, todos los dispositivos electrónicos están sujetos a conformidad en emisiones radiadas en el ámbito de la normativa europea y nacional sobre compatibilidad electromagnética.

Cabe destacar la gran y creciente cantidad de dispositivos inalámbricos trabajando en la banda de 2,4 GHz. En España, el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, 2017), aprobado en 2017 por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, indica que la banda de frecuencias 2.400 MHz-2.483,5 MHz está designada en el Reglamento de Radiocomunicaciones para **aplicaciones industriales, científicas y médicas**, ICM o por sus siglas en inglés “ISM”, pero que también puede ser utilizada bajo la consideración de uso común (bandas “libres”), en los siguientes sistemas con limitación de potencia:

- a) Sistemas de transmisión de datos de banda ancha y de acceso inalámbrico a redes de comunicaciones electrónicas incluyendo redes de área local, con una potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) máxima de 100 mW.
- b) Dispositivos genéricos de baja potencia en recintos cerrados y exteriores de corto alcance, incluyendo aplicaciones de video, con una PIRE max de 10 mW.

Si bien, se encuentran pocas novedades bibliográficas sobre dosimetría de dispositivos en estas bandas que no sean los de Wi-Fi comentados en el apartado anterior, sí que se puede realizar un rápido análisis numérico para conocer el marco de su nivel de emisiones en el contexto de los límites establecidos por recomendaciones internacionales (ICNIRP).

Suponiendo un sistema como el a), por ejemplo un router inalámbrico, con antenas de tipo dipolo corto, en el caso peor de radiar el máximo de PIRE, se puede llegar tras ciertos cálculos (suponiendo la potencia entregada derivada de PIRE, la corriente de entrada a partir de dicha potencia y la resistencia de radiación y la de pérdidas, y utilizando

ecuación de campo eléctrico cercano de un dipolo corto), a unos resultados de nivel de campo en función de la distancia, como el indicado en la Figura 4, donde se observa que hay que situarse a menos de 10 centímetros para estar en valores próximos al límite de niveles de referencia de campo eléctrico (61 V/m) establecido por la ICNIRP y por la normativa de emisiones en España. También se representa en trazos la aproximación de campo lejano que, como se ve, puede no ser una estimación adecuada a distancias muy próximas a la antena.

Para el caso peor de un dispositivo de la categoría b) con el mismo tipo de antena y PIRE máxima de 10 mW, se obtienen valores mucho más alejados de los límites incluso a pocos centímetros del dispositivo.

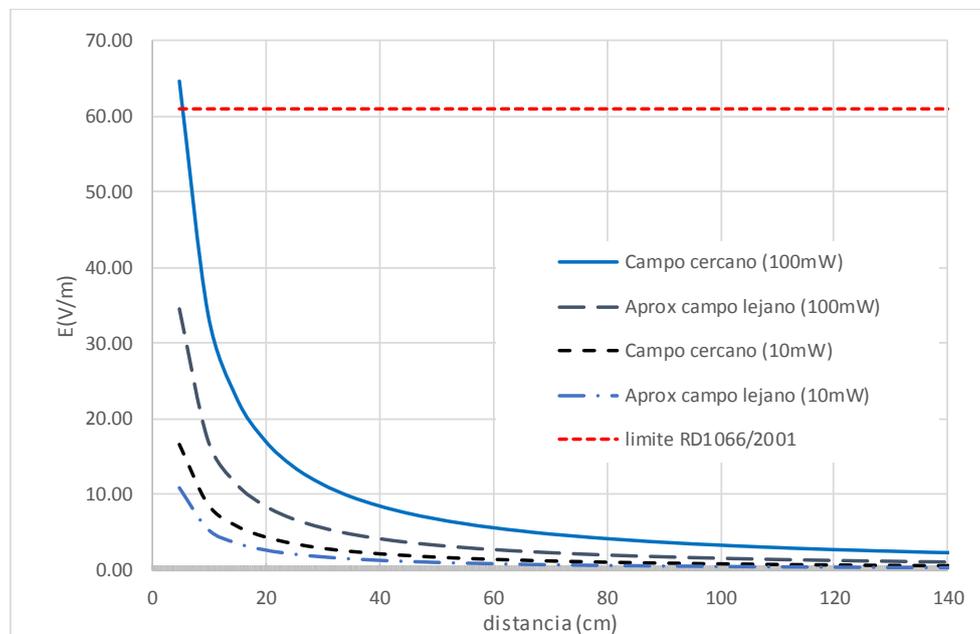


Figura 4. Variación del nivel de campo eléctrico (rms) con la distancia para la transmisión en la banda de 2,4 GHz con un dipolo corto y diferentes valores de PIRE, en espacio libre.

En los últimos años se han disparado las expectativas sobre el **Internet de las Cosas** (“Internet of Things”-IOT) y su potencialidad de aplicaciones. Curiosamente, una de esas aplicaciones ha sido la propia medida de emisiones radioeléctricas en las “smart cities” (Diez, Agüero, & Muñoz, 2017). Se pueden considerar dos tipologías de los dispositivos IoT. Por un lado, como estándares del 3GPP (organización de referencia para los estándares en el sector de las comunicaciones móviles) se encuentran NB-IoT (LTE Cat NB1) y LTE-M (LTE Cat-M1 o eMTC), basadas en tecnología LTE (“Long Term

Evolution”). Estas tecnologías operan en bandas de frecuencia licenciadas con potencial explotación por operadores de telefonía móvil. Operando en una banda muy reducida de las frecuencias de LTE, con potencias máximas de dispositivo de unos 200 mW y antenas poco directivas, nos encontramos con una situación de emisiones por parte de las estaciones base y de los terminales en todo caso inferiores a las producidas por los mismos elementos utilizados en las comunicaciones electrónicas en tecnología LTE (ej. 4G).

Por otro lado, existen tecnologías propietarias para su uso en bandas no licenciadas (uso común, ISM) como son Sigfox y LoRaWAN, con limitación en potencia y en el ciclo de trabajo, con una menor capacidad de transmisión, pero con una mayor facilidad de implantación por empresas que no necesitan convertirse en operador con bandas licenciadas. Los dispositivos que se comercializan de Sigfox trabajan en la banda de 868-870 MHz en Europa (también es ésta una de las frecuencias que puede utilizar LoRa) y con una potencia típica de transmisión de 14 dBm (unos 25 mW). La nota UN-39 del CNAF limita estos dispositivos a 25 mW de potencia radiada aparente, de forma que si se utilizaran antenas más directivas que un dipolo de media onda, habría que rebajar la potencia de entrada para cumplir dicha limitación. Siendo equivalente la anterior PRA a una PIRE de unos 41 mW, si, por ejemplo, se transmitiera con un dipolo corto, el nivel de campo obtenido estaría entre los niveles de las curvas de 10 mW y 100 mW de PIRE de la gráfica de la Figura 4. Aunque en esas frecuencias el límite de nivel de referencia tanto de la ICNIRP como de la normativa española viene dado por $1,375 \cdot f^{0.5} = 40,51$ V/m (en lugar de 61 V/m para la banda de 2,4 GHz), las conclusiones son similares a las del apartado anterior, y sólo a muy pocos centímetros se puede llegar a estar cerca del límite de emisiones establecido.

Cualquier dispositivo inalámbrico que opere en bandas no licenciadas, mediante uso común, estará sujeto a las restricciones impuestas en el CNAF que fundamentalmente limitan las potencias de transmisión máximas en aras a una convivencia radioeléctrica derivada del “uso común” en esa franja de espectro.

Un trabajo dosimétrico (Guéna & et al., 2017) evalúa las emisiones de dispositivos IoT en la cercanía de un maniquí, analizando su interacción de forma computacional (valores de SAR de un modelo computacional) y también experimental con un valor máximo de campo eléctrico de 650 mV/m alrededor del maniquí con la antena del dispositivo

Bluetooth funcionando en la banda 850 MHz - 3GHz, valor de campo muy inferior a los límites de la ICNIRP para esas frecuencias. En la actualidad IEEE está trabajando sobre otro estándar específico (IEEE SA, 2020) que, pretende servir de metodología para clasificar los dispositivos IoT en base a sus características de exposición de radiofrecuencia.

Otro tipo de dispositivos que suelen operar en bandas libres, ISM, son los **adosados** (“**wereables**”) e **implantados**, típicamente también haciendo uso de bandas de frecuencias ISM. Merece la pena destacar un trabajo reciente (Guido & Kiourti, 2020) que se autodefine como la primera revisión que se centra en los aspectos de dosimetría en relación con los dispositivos portátiles e implantables. Además de presentar técnicas para reducir la SAR manteniendo buena eficiencia en las características radiantes de la antena, el trabajo presenta una recopilación de los valores de SAR de estudios realizados por varios autores sobre estos dispositivos operando en su mayoría en la banda ISM de 2,4 GHz y con potencias de entrada a antena entre 100 mW y 1 W. El artículo se centra en cómo diseñar estos dispositivos para, por un lado reducir los niveles de SAR a la vez que mantener las características de radiación de la antena. Los resultados mostrados de SAR sobre 10 g, a la frecuencia de 2,4 GHz, arrojan valores entre 0,044 y 0,411 W/kg, por debajo de los límites de la ICNIRP de 2 W/kg y 4 W/kg (valores de SAR localizado para la cabeza- tronco y para las extremidades, respectivamente).

Como conclusión sobre la utilización de dispositivos inalámbricos en bandas de uso común (ICM o bandas “libres”) cabe comentar que, si bien el CNAF y sus notas de Utilización Nacional (UN) no se enmarcan en una reglamentación sobre exposición humana a campos electromagnéticos, las restricciones de potencia que emanan de su utilización bajo la consideración de uso común suponen también, de forma derivada, una protección frente a dicha exposición, verificándose que, con análisis teóricos y con experimentos dosimétricos, los valores obtenidos de emisiones en el normal funcionamiento de dichos dispositivos están típicamente en niveles muy inferiores a los niveles de referencia de las recomendaciones de la ICNIRP.

4.4 Ondas milimétricas

4.4.1 5G y ondas milimétricas. Análisis y consideraciones

Según el “IEEE Standard Letter Designations for Radar-Frequency Bands” (IEEE, 2003) la designación como ondas milimétricas o “mm” (derivado de “millimeter wave radar”) se hace para la banda de frecuencias 110 GHz–300 GHz, aunque en su estándar se indica que esa denominación también se usa para incluir parte de la banda Ka (27 GHz - 40 GHz), la banda V (40 GHz – 75 GHz) y la banda W (75 GHz – 110 GHz) cuando se quiere indicar la región de frecuencias por encima de 30 GHz. En nomenclatura de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, estas frecuencias se definen como banda 11, EHF (“*Extremely High Frequency*”).

Aunque la tecnología 5G está en evolución, parece claro que, aunque no en la primera implantación, se utilizarán frecuencias próximas o dentro de la banda de ondas milimétricas (por ejemplo 26 GHz en España o 28 GHz y 39 GHz en Estados Unidos).

Son limitados los estudios dosimétricos específicos sobre milimétricas en 5G. Por ejemplo, en **Fuente especificada no válida**, se evalúa la densidad de potencia de varias antenas a emplearse en dispositivos con tecnología 5G. Con una potencia radiada de 20 dBm, los niveles de densidad de potencia calculados y medidos están en torno a los 3W/m^2 a una distancia de 3,2 cm, subiendo a $4,967\text{ W/m}^2$ y $6,587\text{ W/m}^2$ a las distancias de 1,1 cm y 0,2 cm respectivamente. Por tanto, todavía inferiores a los establecidos por la ICNIRP (10 W/m^2) incluso a esas distancias tan pequeñas. Una de las características novedosas que vendrá de la mano del 5G, y fundamentalmente en sus bandas de ondas milimétricas, es la utilización de múltiples haces direccionables de forma independiente, transmitidos desde las antenas con características MIMO (“*multiple input-multiple output*”) (Naqvi & Lim, 2018). Cada haz en frecuencia milimétrica apuntará a un usuario incluso en movimiento para darle cobertura aun en las complicadas condiciones de propagación en esa banda de frecuencias. Ello llevará a escenarios muy cambiantes en cuanto a niveles de emisiones. Incluso podría ocurrir que varios haces pudieran impactar en una misma área aumentando la exposición, aunque este no parece un escenario muy realista (Colombi, Thors, & Törnevik, 2015). Esa configuración de haces móviles también podría implicar reducciones del nivel de exposición (al menos en promedio temporal) en áreas donde no se sitúen los usuarios.

Una forma de evaluar el cumplimiento de una estación radioeléctrica es mediante la distancia a la que se cumplen los límites establecidos en la correspondiente normativa. En (Törnevik, 2017), investigadores de un conocido fabricante de equipos 5G compararon dos transmisores de estación base de 5G. Uno es un pequeño transmisor de celda reducida con 8 haces, con un total de 1 W y TDD (dúplex por división en tiempo). Calculando el cumplimiento con los límites de ICNIRP para público general, considerando máxima potencia en todas las direcciones de los haces, se obtuvo una distancia mínima de 1,5 m. El otro, es un transmisor 5G a la frecuencia de 3,5 GHz transmitiendo un total de 200 W con un array de 64 antenas, donde la distancia de cumplimiento calculada es de 25 m, lo que la obliga a ubicarla en mástiles en tejados, torres elevadas, etc.

Es por ello, que cada vez se escuchan más propuestas de adoptar aproximaciones estadísticas para la evaluación del cumplimiento de estándares sobre exposición a campos electromagnéticos con esta tipología de sistemas radio (Thors, Furuskar, Colombi, & Tornevik, 2017), propuestas que se justifican para generar un cumplimiento más realista de exposiciones promediadas en el tiempo debidas a estaciones base con antenas MIMO. Estas propuestas de evaluación estadística llevarían a un cumplimiento con normas como las de la ICNIRP, pero serían menos conservadoras que cuando se consideran exposiciones de pico (caso peor).

Los procedimientos de certificar el cumplimiento de normativa de emisiones involucran típicamente análisis de emisiones existentes en el emplazamiento, simulación de las emisiones a que va a contribuir la nueva estación, y medidas en el terreno. Suelen ser análogos en las diferentes normativas, si bien hay países con metodologías más estrictas (Italia, Polonia).

Pero una mayor limitación que se añade al despliegue del 5G en algunos países es el establecimiento a nivel de país, región o incluso ciudad, de límites de precaución considerablemente más reducidos que los establecidos por la ICNIRP o el IEEE, como respuesta a la preocupación de colectivos y ciudadanos, y de forma más preventiva que por evitar un peligro claramente identificado (Foster, Chou, & Petersen, 2018). En algunos casos parecen reducciones arbitrarias de los niveles de la ICNIRP. Por ejemplo, en la India los límites de exposición de estaciones base se han reducido a un 10% de los

límites de la ICNIRP, pero no se especifican para otro tipo de estaciones radioeléctricas como de radiodifusión u otros servicios. En Polonia, el límite de exposición en la banda 2 GHz-300 GHz es de 0,1 W/m², lo que supone una reducción de 100 veces respecto al límite de densidad de potencia de la ICNIRP. La región de Valonia, en Bélgica, ha regulado un límite máximo de exposición de 3 V/m por antena sin especificar rango de frecuencias, reduciéndose a 0,6 V/m en lugares considerados sensibles (hospitales, colegios, ...), valores que suponen límites por debajo del 1% o incluso por debajo del 0,1% de los de la ICNIRP en algunos rangos de frecuencia. Es posible que, con dicha reducción de los límites, la reducción del número de elementos transmisores MIMO y su potencia en un sistema 5G para que un operador pueda adaptarse al cumplimiento de dicha regulación, implique técnicamente la reducción de la capacidad de tráfico y cobertura hasta niveles de prestación de servicio o económicos no viables (ITU, 2018). Un informe del propio departamento de telecomunicaciones del Ministerio de Digitalización del Gobierno de Polonia (ITU, 2017) concluye que los niveles de exposición permisibles de CEM en Polonia son demasiado bajos para permitir una distribución óptima de la red a través de múltiples bandas de frecuencia en un solo lugar y que las regulaciones que rigen la potencia permisible del campo electromagnético ralentizan el desarrollo de la infraestructura de próxima generación en comparación.

4.5 Normativa y niveles de exposición en España

En España, la Ley 9/2014 de 9 de mayo, General de Telecomunicaciones (LGTel), publicada en el BOE de 10 de mayo de 2014 [LGTel, 2014], atribuye al Estado en su artículo 60 la titularidad y la gestión del dominio público radioeléctrico, incluyendo su planificación, gestión, control y aplicación del régimen sancionador.

En España, los límites de exposición vigentes hasta la fecha son los establecidos en la Recomendación Europea 1999/519/CE que a su vez emanan de las Directrices de la ICNIRP del año 1998. Estos límites de exposición en España son de obligado respeto y cumplimiento.

Precisamente para garantizar su cumplimiento dentro del régimen sancionador establecido en la Ley 9/2014, de 9 de mayo, General de Telecomunicaciones [LGT, 2014] en su artículo 77 se califica como infracción grave “6. *Efectuar emisiones radioeléctricas*

que incumplan los límites de exposición establecidos en la normativa de desarrollo del artículo 61 de esta Ley e incumplir las demás medidas de seguridad establecidas en ella, incluidas las obligaciones de señalización o vallado de las instalaciones radioeléctricas. Asimismo, contribuir, mediante emisiones no autorizadas, a que se incumplan gravemente dichos límites.” Las infracciones graves pueden sancionarse con multas de hasta dos millones de euros.

En España, el Ministerio competente (en la actualidad el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital) elaborará planes de inspección para comprobar la adaptación de las estaciones radioeléctricas a lo dispuesto en este reglamento. Con carácter anual, dicho ministerio, sobre la base de los resultados obtenidos en las citadas inspecciones y de las certificaciones presentadas por los operadores, elaborará un informe sobre la exposición a emisiones radioeléctricas.

Dicho informe recoge los resultados de las actuaciones realizadas por los servicios técnicos de comprobación de emisiones radioeléctricas de la Dirección General de Telecomunicaciones y Ordenación de los Servicios de Comunicación Audiovisual. Estas actuaciones se centran en tres áreas:

- Verificar que los niveles de exposición radioeléctrica originados por las estaciones de radiocomunicación autorizadas en aquellos lugares en los que habitualmente permanecen personas cumplen los límites de exposición establecidos en el Reglamento aprobado por el Real Decreto 1066/2001.
- Comprobar las certificaciones de niveles de exposición radioeléctrica, que aseguran el respeto de los límites por los niveles de exposición originados por estaciones radioeléctricas en cuyo entorno existen áreas en las que puedan permanecer personas habitualmente.
- Atender las demandas originadas por terceros, entre las que se encuentran las de Administraciones Públicas, las Instituciones Públicas y los particulares. Estas peticiones pueden ser tanto de información (consultas generales, reclamaciones o solicitudes de información concreta) como de inspección o comprobación (fundamentalmente la realización de medidas).

A continuación, se muestra en la siguiente gráfica la evolución de los niveles de exposición medidos desde toda la serie histórica. Como puede observarse, los niveles de exposición medidos se han mantenido prácticamente estables desde el año 2002 y en todo caso muy por debajo de los niveles de referencia establecidos.

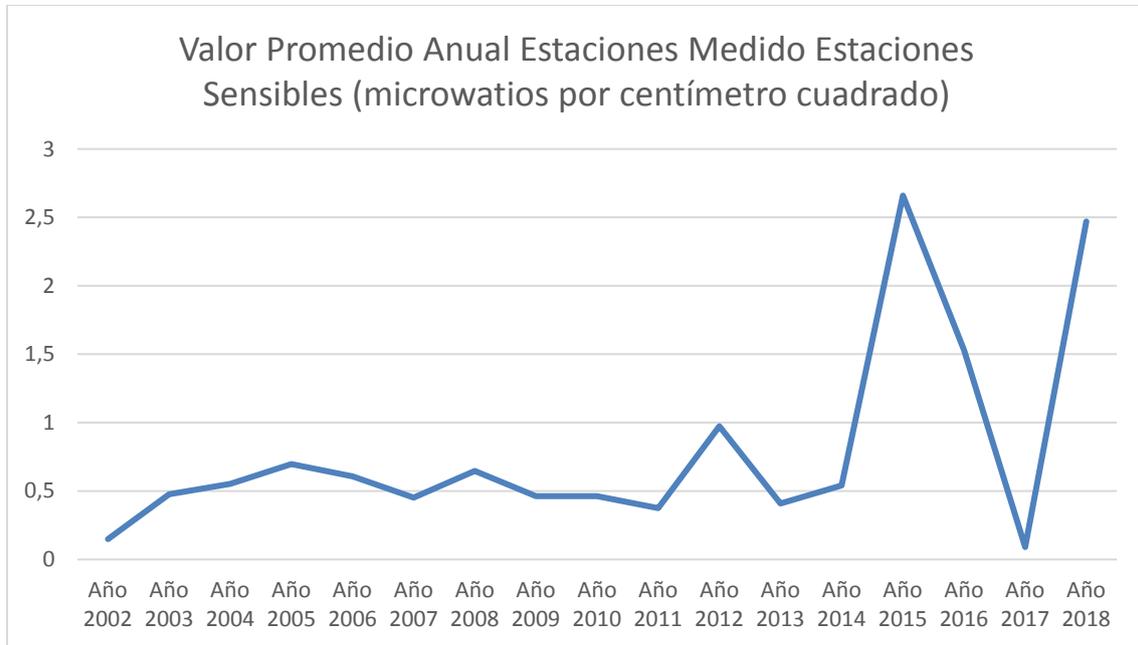


Figura 5 Evolución Valor promedio medido en espacios sensibles: (Fuente: SETID)

5 ESTUDIOS EXPERIMENTALES IN VIVO E IN VITRO

Desde la primera generación de teléfonos móviles a finales de la década de los 80 del siglo pasado, las tecnologías de la comunicación han experimentado un gran desarrollo. De hecho, la segunda (2G), tercera (3G) y cuarta (4G) generaciones aumentaron sus tasas de penetración en la sociedad de manera exponencial, hasta el punto de que hoy existen más terminales y líneas contratadas que habitantes en la tierra. Actualmente se está implementando la última generación de redes móviles (5G). Se trata de una evolución de las tecnologías 1G a 4G ya existentes. La utilización de bandas de frecuencias adicionales, con frecuencias más altas, abrirá un mundo nuevo en la tecnología de las comunicaciones que abarcará desde la realidad virtual hasta los vehículos autónomos, la industria conectada y las ciudades inteligentes e internet de las cosas.

En 2011 la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) realizó un exhaustivo estudio sobre la posible relación entre el uso de teléfonos móviles y los efectos cancerígenos (SCENHIR, 2015; HCN, 2016; SRSASCEF, 2018). El resultado fue que se encontró una evidencia limitada, para el glioma y neurinoma acústico, e insuficiente para sacar conclusiones para otros tipos de cáncer. Por ello, y a modo de precaución, se catalogó la radiofrecuencia como cancerígeno de tipo 2b, esto es: *”Posiblemente Cancerígeno para los seres humanos”* a la vez que instaba a continuar realizando estudios para confirmar o descartar dichos efectos cancerígenos. A lo largo de estos años se han desarrollado numerosos estudios in vivo, in vitro y epidemiológicos para comprobar estos posibles efectos, sin que hasta la fecha se haya podido confirmar dicha relación entre el uso de los teléfonos móviles y los efectos cancerígenos (ICNIRP 2019).

Junto con los estudios epidemiológicos, prospectivos y retrospectivos sobre la población general, los estudios de laboratorio juegan un papel fundamental para la evaluación de los posibles riesgos sobre la salud de la radiofrecuencia y los campos electromagnéticos. Sus resultados permitirán a las autoridades sanitarias y organismos competentes evaluar los riesgos y establecer las normas regulatorias pertinentes, y al público en general tener acceso al conocimiento científico actual sobre un tema tan debatido y controvertido.

Existen dos tipos de estudios de experimentación en laboratorio, aquellos que se llevan a cabo en animales (in vivo) y los que se realizan sobre cultivos de células (in vitro).

En este informe CCARS (2016 - 2019), se revisa la evidencia científica más reciente de estudios tanto in vivo como in vitro, centrándose, especialmente, en la carcinogenicidad, resumiendo la contribución de la investigación experimental con el fin de adoptar una adecuada prevención de los posibles efectos adversos de los CEM- RF en la salud humana.

5.1 Estudios experimentales in vivo

Los estudios in vivo, en animales, se llevan a cabo preferentemente con ratones y ratas, por motivos éticos y de practicidad. Estos roedores tienen una similitud genómica de entre el 70 y 90% con los humanos y permiten obtener una información útil de los posibles efectos tras la exposición a los CEM-RF. Básicamente, los estudios in vivo valoran, tras la exposición, los cambios de temperatura, alteraciones en el sistema reproductivo, de su crecimiento, la supervivencia y la aparición de neoplasias benignas y malignas. De todos ellos tienen un especial interés el estudio de los posibles efectos teratogénicos (efectos que pueden producir cáncer).

Cada año aparecen numerosas publicaciones científicas sobre este campo. Desgraciadamente pocas cumplen con los criterios científicos establecidos en la actualidad, ya que muchos estudios tienen defectos metodológicos y un escaso rigor científico. En algunos casos se difunden con fines alarmistas o publicitarios.

Hay dos estudios relevantes publicados por el Programa Nacional de Toxicología de Estados Unidos (NTP 2018) y por Falcioni y cols. del Instituto Ramazzini de Italia (Falcioni 2019) que han recibido gran atención. Ambos estudios analizan si la exposición a largo plazo a campos electromagnéticos de RF asociados con teléfonos móviles o estaciones base tienen efectos cancerígenos en ratones. Ambos estudios han seguido buenas prácticas de laboratorio, han utilizado un número mucho mayor de animales que en estudios previos, y estos animales han sido expuestos a la RF durante toda su vida.

Los dos estudios concluyen que han encontrado incrementos estadísticamente significativos en el desarrollo de un tipo de tumores malignos de células gliales (un tipo de tumor muy poco frecuente). Concretamente, afirman haber demostrado que la RF es cancerígena en ratas macho. También afirman la existencia de efectos de la RF sobre los

órganos reproductivos. Esto podría suponer un gran cambio en las implicaciones sobre la salud humana.

Diversos organismos y comités científicos han revisado estos trabajos. La mayoría concluye que si bien las prácticas de laboratorio parecen apropiadas, los datos obtenidos no permiten establecer ninguna conexión entre la RF a los niveles usados y la aparición de cáncer.

Tras analizar estos estudios, la ICNIRP (ICNIRP 2018) asegura que los resultados estadísticos no son significativos, ni permiten establecer una relación entre la RF y la carcinogénesis. Indica además que los estudios son inconsistentes entre sí, y la falta de estudios de temperatura para establecer si se trata de efectos térmicos o no térmicos, limita aún más la capacidad de establecer conclusiones. Además, uno de los resultados del estudio NTP indica que los ratones irradiados vivieron más que los no irradiados, un resultado que no se aborda en el análisis de datos obtenidos y que pone en duda las conclusiones del trabajo.

La *Food and Drugs Administration* (FDA 2018) en su análisis de estos trabajos destaca sus limitaciones metodológicas. Indican que la estimación del SAR en el estudio Falciani es incorrecto. Asimismo, las peleas entre ratones que se registraron en algunas de las jaulas pueden tener incidencia en los resultados. Tampoco hay diferencias en el consumo de comida o agua, algo que sería de esperar si la RF tuviera efectos significativos. Al igual que la ICNIRP, consideran que las diferencias estadísticas no son significativas.

Los propios científicos del informe NTP reconocen que en cualquier caso los resultados sobre ratones no son extrapolables a humanos ya que la RF irradia el cuerpo entero del ratón, mientras que para los humanos la irradiación es en los tejidos superficiales.

A continuación se resumen los principales datos de estos informes analizando hasta qué punto son significativos.

En el estudio de Falcioni se llevaron a cabo experimentos con 2.449 ratones sometidos a CEM de 0 a 50 V/m en la banda de 1,8 GHz. La Tabla 6 muestra un resumen de los resultados para hiperplasia de células de Schwann.

Intensidad (V/m)	N° Ratones expuestos	Ratones con hiperplasia	Porcentaje (%)
0	817	5	0,6
5	811	2	0,2
25	411	1	0,2
50	409	7	1,7

Tabla 6. Resultados de la incidencia de hiperplasia tras ser expuestos en el estudio Falcioni.

En 817 ratones que no fueron expuestos la incidencia natural de hiperplasia de células de Schwann (crecimiento celular) fue del 0,6 %. La exposición con ondas de 1,8 GHz de frecuencia y 5 V/m de intensidad la incidencia de la hiperplasia disminuía al 0,2 %. Aumentando la intensidad a 25 V/m la incidencia se mantenía en 0,2 % y si se los exponía con el doble de intensidad (50 V/m) la incidencia subía al 2 %.

Puesto que la exposición a campos de 5 y 25 V/m conlleva una incidencia menor de hiperplasia de Schwann que en los ratones sin exponer, podemos concluir que esas variaciones son debidas a variaciones estadísticas y que existe una incertidumbre del orden del 0,5% en los datos. Nótese que un solo caso de Schwanoma produciría una variación de más del 0,25 %. Por tanto, a la hora de analizar el incremento que se observa para los ratones expuestos a campos de 50 V/m, la variación observada, del orden de 1,1% respecto a los ratones sin exponer, debe tomarse con precaución, y no constituye de por sí una evidencia sólida que permita correlacionar la exposición a CEM con la incidencia del Schwanoma. Adicionalmente, no solo se demuestra una falta de linealidad, sino que para ciertas dosis la incidencia es menor que en los ratones no expuestos. Para el resto de los tumores como el Schwanoma cardíaco, tanto endocárdico como intramural, las diferencias son todavía menores y no hay ninguna tendencia clara.

El informe NTP analiza la posible correlación entre exposición con microondas de 0,9 GHz de frecuencia y distinta modulación (GSM y CDMA) y diversos efectos neoplásicos y no neoplásicos. Las Tabla 7 y Tabla 8 muestran un resumen de los resultados para los dos tipos de tumores más significativos: schwanoma maligno cardíaco y glioma maligno cerebral.

Dosis (W/kg)	N° Ratones expuestos	Ratones con schwanoma	Porcentaje (%)
0	90	0	0
1,5	90	2	2,2
3	90	1	1,2
6	90	5	5,5

Tabla 7. Incidencia del schwanoma en función de la exposición con modulación GSM

Dosis (W/kg)	N° Ratones expuestos	Ratones con glioma	Porcentaje (%)
0	90	0	0
1,5	90	2	2,2
3	90	3	3,3
6	90	6	6,7

Tabla 8. Incidencia del glioma en función de la exposición con modulación GSM

En este estudio NTP, sobre 90 ratones y ratas expuestos con 0,9 GHz, en cada caso demuestra que en el caso de Schwanomas cardiacos malignos, tratados con modulación GSM con 0 (caso-control), 1,5, 3 y 6 W/kg la incidencia era de 0 %, 2,2 %, 1,1 % y 5,5 %. De nuevo las incidencias son muy bajas, lo que dificulta hacer un análisis sólido. Notese que un solo caso representa más del 1 % del resultado total, que es el orden de las variaciones observadas. Con un tipo de modulación CDMA la incidencia fue de 0 %, 2,2 %, 3,3 % y 6,7 %. En cuanto al glioma, para la modulación GSM, la incidencia fue 0 %, 3,3 %, 3,3% y 2 % (ver tabla 8). Hay que destacar que estos valores se refieren solo a ratas macho. Para ratas hembra, y ratones macho y hembra tampoco se observan diferencias significativas en la incidencia del schwanoma en función de la exposición.

En el resto de la patología y de los casos, la correlación fue todavía menor. La extrapolación a humanos, a la vista de estos datos, se hace todavía más difícil.

En este estudio, adicionalmente, es sorprendente la cifra de supervivencia de los animales de experimentación, siendo esta mayor cuanto mayor es la tasa de exposición. Para dosis de radiación de 0 (caso control), de 1,5 W/kg, de 3 W/kg y de 6 W/kg a los dos años la supervivencia fue de 28, 50, 56 y 68 %.

El hecho de que los efectos no aumenten con la dosis ni haya una correlación clara entre ellos no permite establecer una relación de causalidad clara entre la exposición y la incidencia de los tumores.

Los resultados tampoco son consistentes con lo descrito en la literatura sobre el cáncer producido por la de RF en general (SCENIHR 2015; HCN 2016; SSM 2018).

Es relevante indicar que para el estudio NTP los niveles de exposición son muy superiores a los límites de la legislación vigente. En el estudio se eligieron niveles de exposición lo más altos posible, que no causaran daños térmicos graves considerando que si la RF fuera cancerígena, presumiblemente tendría una mayor incidencia con niveles de exposición extremadamente altos. A partir de esto, si se demostrara la carcinogenicidad, la investigación debería determinar si se producirían efectos similares en los niveles más bajos de RF, a los que están expuestas las personas habitualmente. Es decir, si hay un umbral dentro del rango de los niveles actuales de exposición en la población.

En conclusión, aunque NTP y Falcioni muestran algunas tasas significativas de carcinogénesis en algunos de los grupos estudiados y para ciertos valores de exposición, sus resultados no son consistentes entre sí, ni con los resultados del ratón o rata hembra (NTP), ni con la literatura sobre cáncer de RF en general (SCENIHR 2015; HCN 2016; SSM 2018). Los resultados del estudio NTP se complican aún más por las importantes limitaciones metodológicas, incluyendo el efecto de la mayor esperanza de vida de las ratas expuestas en los análisis estadísticos, la falta de estudios doble ciego en los análisis patológicos y las limitaciones de los análisis estadísticos. **Las limitaciones de estos dos estudios impiden sacar conclusiones sobre la carcinogenicidad en relación con los campos electromagnéticos de RF.**

En la gradación de la evidencia científica, los metaanálisis tienen la máxima consideración. Hay que destacar un importante estudio sueco de 2019 (Simkó 2019) en

el que han revisado 94 publicaciones, desde 1991 hasta 2018. Los autores parten de la base de que la introducción de 5G incrementará el número de las estaciones base de alta frecuencia y otros dispositivos emisores de radiofrecuencia. El problema sería demostrar que esas altas frecuencias pueden tener impacto en la salud. En este estudio se analizaron los efectos biológicos de las microondas de entre 6-100 GHz en estudios in vivo e in vitro. En cada estudio del metaanálisis se analiza el tipo de estudio (in vivo o in vitro), material biológico (especie, tipo de célula, etc.), progresión de la enfermedad, exposición (frecuencia, duración y potencia de la RF), los resultados y algunos criterios de calidad. Los autores dividen el estudio en grupos de frecuencia hasta 30 GHz, 30-40 GHz, 40-50 GHz, 50-60 GHz, 60-65 GHz, 65-90 GHz y 90-100 GHz. Dado que los rangos de hasta 30 GHz y de más de 90 GHz están escasamente representados, esta revisión cubre principalmente el rango de frecuencia de 30 a 65 GHz. Cuando valoran los criterios de calidad de las publicaciones llegan a la conclusión de que dichos criterios son insuficientes para realizar un análisis estadístico, por lo que recomiendan llevar a cabo un mayor número de estudios que se puedan comparar.

Los resultados de este metaanálisis muestran que de los 45 estudios in vivo, 35 mostraron una respuesta y 10 no lo hicieron. Mientras que para los estudios in vitro, en 31 observan respuesta y en 22 no. La mayoría de los estudios que observan respuesta utilizan una potencia muy por encima de los límites ICNIRP. Además, los autores no encuentran una correlación entre los efectos biológicos y la potencia de radiación, la frecuencia y el tiempo de exposición. Algunos autores refieren los resultados positivos a causas "no térmicas", pero pocos han aplicado controles de temperatura apropiados. Por lo tanto, la pregunta sigue siendo si el calentamiento es la causa principal de los efectos observados.

Por todo ello, este metaanálisis concluye que no se puede establecer evidencia de efectos por debajo de los límites que establece la ICNIRP (efectos no térmicos).

Con respecto a la posibilidad de efectos "no térmicos", los estudios disponibles no proporcionan una explicación clara de ningún modo de acción sobre los efectos observados.

Los autores insisten, como se menciona repetidamente en este informe que, con respecto a la calidad de los estudios presentados, muy pocos cumplen con los criterios mínimos de calidad para permitir conclusiones adicionales.

Algunas consideraciones sobre este metaanálisis:

Los trabajos son muy heterogéneos y muy pocos tratan el 5G. Los estudios se llevaron a cabo con el propósito de comprobar efectos concretos de relevancia médica. No se ha encontrado una relación dosis-respuesta. La gran mayoría de los estudios consideran que el parámetro físico más importante es la temperatura durante la exposición, por lo que recomiendan un control estricto de la misma. Aunque la mayoría de los estudios muestran algún tipo de respuesta biológica, no logran llegar a conclusiones importantes. De hecho, no parece haber una relación consistente entre la intensidad, el tiempo de exposición o la frecuencia y los efectos observados. Al contrario, y sorprendentemente, altas frecuencias no causan respuestas más frecuentes.

El estudio concluye:

1. Efectos sobre la salud: no existe evidencia clara ni se pueden sacar conclusiones dada la información contradictoria entre los estudios in vivo e in vitro.
2. Efectos no térmicos: no se llega a ninguna conclusión clara.
3. Calidad de los estudios: muy pocos cumplen los mínimos criterios de calidad.

En general, la mayoría de los estudios publicados no han encontrado una correlación y en los que han encontrado alguna, los más significativos, que utilizan una metodología rigurosa, y un tamaño adecuado de la muestra, son los dos estudios mencionados, de Falcioni y NTP. Para el primero existe una evidencia clara de que RF causa cáncer en animales de experimentación. La reevaluación de RF también ha sido incluida como una prioridad por IARC.

En cuanto a los efectos genéticos, existen resultados sólidos a favor de la falta de efectos genéticos inducidos por la RF proporcionada por los resultados de los estudios de cáncer animal. De hecho, el peso de la evidencia científica de 45 investigaciones revisadas por pares muestra que la exposición a RF hasta la duración de la vida (2 años) no afecta negativamente la masa corporal, la supervivencia y los procesos cancerígenos con tasas de dosis de todo el cuerpo de hasta 4 W/kg y tasas de dosis localizadas de hasta 2,3 W/kg.

Estos datos refutan las afirmaciones que relacionan la RF con el cáncer (Verschaeve 2010).

La calidad de los estudios ha evolucionado con el tiempo, siendo los estudios más recientes, desde el punto de vista de su valor científico, de mayor calidad que los más antiguos. La metodología, el diseño, las técnicas dosimétricas, los sistemas de visualización y el análisis estadístico son más rigurosos. A pesar de la polémica y el continuo debate, casi todos los grupos de expertos en la actualidad, en base a la información científica existente, afirman que hay poca evidencia de relación entre la RF y la genotoxicidad inducida.

A pesar de que el riesgo sobre la posible carcinogenicidad o sobre el sistema reproductivo no está claramente cuantificado, se debe profundizar en este tipo de estudios y son necesarios estudios in vivo a largo plazo.

Se puede concluir que los estudios experimentales en animales expuestos a campos electromagnéticos de baja frecuencia, como a la radiofrecuencia, no muestran evidencia de efectos cancerígenos ni efectos nocivos en el desarrollo embrionario y posnatal en los mamíferos.

5.2 Estudios in vitro

Este tipo de análisis son más rápidos y más sencillos que los estudios in vivo. Las exposiciones a la RF son de minutos o días y se realizan generalmente sobre cultivos celulares y menos frecuentemente en sistemas biológicos aislados o incluso a nivel molecular. El principal inconveniente de los estudios in vitro es la falta de correlación con posibles riesgos en humanos y las conclusiones que se extraen de ellos son malos predictores de los posibles efectos adversos en humanos, ya que en estos existen mecanismos de defensa y de homeostasis, o mecanismos de corrección, que no existen en los estudios celulares in vitro. La capacidad de un agente para producir daño in vitro, por ejemplo, a nivel del ADN, no indica que necesariamente vaya a ocurrir también in vivo.

Los estudios in vitro sí son eficaces para estudiar los mecanismos de acción de un agente.

Los estudios in vitro estudian preferentemente los efectos genéticos y cancerígenos, bien por mecanismos que producen un daño directo o por mecanismo indirecto sobre el ADN. También existen estudios sobre células precursoras del sistema nervioso. De todos modos, los mecanismos por los cuales se desencadenan los diversos efectos biológicos por la exposición a un campo electromagnético no se comprenden completamente y siguen siendo controvertidos y objeto de debate.

Aunque se han llevado a cabo muchos estudios in vitro sobre la genotoxicidad de la RF aislada o en combinación con mutágenos ambientales, como ya se expuso en informes anteriores, la información científica es muy variable y dispersa, siendo muy difícil llevar a cabo estudios comparativos y, como consecuencia, sacar conclusiones definitivas. Los diferentes trabajos varían en su metodología, tipo de ensayo, procedimientos, dosis, tipo de material utilizado, etc. En este informe no se describen en detalle los numerosos estudios existentes, y únicamente se expondrá un resumen del estado actual sobre los estudios in vitro.

Recientemente se ha publicado un estudio sobre la exposición in vitro de fibroblastos fetales humanos y fibroblastos adultos humanos a radiación pulsada en un ancho de banda entre 100 y 150 GHz y a radiación de onda continua a 25 GHz (Franchini 2018). Para evaluar los posibles efectos de la exposición, se evaluaron la integridad del genoma, el ciclo celular, la ultraestructura citológica y la expresión de proteínas. Solo se observaron efectos genotóxicos con valores de SAR de 20 W/kg, lo que supone 250 veces más que el límite ICNIRP que está establecido en 0,08 W/kg.

Otro estudio analizó los efectos biológicos sobre células procarióticas irradiadas con campos electromagnéticos de 18 GHz (Nguyen 2016). Los resultados demostraron efectos biológicos para un SAR por encima de 3 kW/kg. Como se puede observar se superan en varios órdenes de magnitud los límites que establece la ICNIRP.

En un reciente estudio de 2019, células de ovario de hámster chino fueron expuestas a RF GSM de 900 MHz a una tasa de absorción específica (SAR) promedio de 2W/kg durante 4, 12 y 24 horas (Jooyan 2019). Se analizaron la permeabilidad de la membrana celular,

la actividad redox celular, la muerte celular metabólica y mitótica y los daños en el ADN. Además, se midieron los niveles de especies reactivas de oxígeno (ROS) intra y extracelulares para evaluar el mecanismo molecular de *bystander effect* (BE) inducido por radiación no ionizante. No se encontraron alteraciones estadísticamente significativas en la permeabilidad de la membrana celular, la actividad redox celular, la actividad celular metabólica y la frecuencia de micronúcleos (MN) en las células directamente expuestas a CEM-RF durante 4, 12 ó 24 h. Sin embargo, la exposición a RF durante 24 h causó una disminución estadísticamente significativa en la capacidad clonogénica. La exposición a RF también aumentó de manera estadísticamente significativa los niveles intra y extracelulares de ROS.

Como se puede observar el SAR está muy por encima de los límites establecidos.

En el estudio ISTISAN del Instituto Superior de Sanidad Italiano, publicado en 2019, se realiza un extenso metaanálisis, sumamente detallado, de prácticamente todas las publicaciones en experimentación in vitro desde 1982 hasta 2018. Se valoran los posibles efectos adversos de la RF sobre la carcinogénesis genotóxica, no genotóxica, apoptosis celular, estrés oxidativo de la célula, proliferación y ciclo celular, exposiciones combinadas y coexposiciones, llegando a la conclusión de que el daño en el ADN es, sin duda, el parámetro más importante y significativo en estudios de carcinogenicidad in vitro. Con los estudios disponibles y analizados hasta el momento, no hay evidencia de que se produzcan daños en el ADN como resultado de la exposición a la RF. Hay investigaciones en las que se han encontrado alteraciones que parecen depender tanto del tipo celular estudiado como de los parámetros electromagnéticos utilizados.

Al final llegan a la conclusión de que la relevancia de los resultados para la salud humana no está clara y, por el momento, no es posible sacar conclusiones definitivas sobre la influencia de la RF en cultivos celulares.

6 ESTUDIOS CLÍNICOS Y EPIDEMIOLÓGICOS

6.1 Estudios Clínicos y Epidemiológicos. Revisión de las evidencias sobre Tumores del Encéfalo y del Sistema Nervioso Central

6.1.1 Epidemiología descriptiva de los tumores primarios cerebrales (encéfalo) y del Sistema Nervioso Central.

Los tumores primarios del Sistema Nervioso Central (SNC) son un grupo heterogéneo de enfermedades que agrupan a una amplia variedad de subtipos clasificados por criterios anatómicos e histológicos. Hay más 100 tipos de tumores del SNC que dificultan su identificación, codificación y registro. Esta elevada cantidad y su complejidad han provocado varias revisiones de las clasificaciones de la ICD (*International Classification Diseases*) de la OMS que es el organismo competente para su clasificación en función de sus características biológicas y su comportamiento (benigno, intermedio y maligno). En la Figura 6 se muestra un esquema del SNC para facilitar la localización de estos tumores.

Los gliomas son los tumores intracraneales primarios más frecuentes ya que representan un 81% de todos los tumores malignos cerebrales. Se clasifican histológicamente como de grado elevado o glioblastoma (con un pronóstico de vida de 2 años) y los de bajo grado como el astrocitoma, y el oligodendroglioma. Los demás grupos de tumores son meningiomas (meninges), células gliales, (ependimomas y Schwannomas, como el neurinoma del nervio acústico).

SISTEMA NERVIOSO CENTRAL (humano)

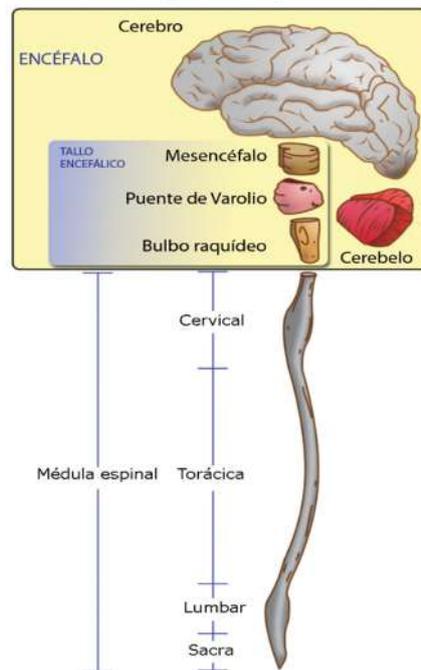


Figura 6 Esquema del Sistema Nervioso Central

Tanto el número de casos de cáncer como las tasas de incidencia son indicadores que muestran la magnitud del cáncer en la población y el riesgo de padecerlo y permiten la monitorización de su evolución.

La incidencia de cáncer en una población definida geográficamente se puede conocer gracias a la existencia de registros poblacionales cuyo principal objetivo es identificar y contabilizar todos los casos incidentes (nuevos casos) que se diagnostican entre los residentes en esa área geográfica. El análisis de las tendencias de las tasas de incidencia de tumores del SNC en periodos largos de tiempo puede ayudar a identificar factores de riesgo relacionados con la etiología (causas) y prevención de la enfermedad. Asimismo, estos registros también son imprescindibles para determinar la supervivencia de los pacientes a nivel poblacional y para conocer la prevalencia. También tienen otras muchas finalidades siendo una de ellas la evaluación de los programas de diagnóstico precoz.

Para conocer las tasas de incidencia en nuestro país hay que recurrir a las publicaciones de REDECAN que es la Red Española de Registros de Cáncer compuesta por los registros poblacionales de cáncer de Albacete, Asturias, Canarias, Castellón, Ciudad Real, Cuenca,

Euskadi, Girona, Granada, La Rioja, Mallorca, Murcia, Navarra y Tarragona, y por el Registro Español de Tumores Infantiles. Esta es la fuente más fiable para obtener la información sobre el número de casos de este tipo de tumores del SNC.

Para la obtención de las estimaciones de la incidencia del cáncer en España del año 2019 se han utilizado datos de incidencia de todos los registros poblacionales consolidados de REDECAN (Albacete, Asturias, Canarias, Castellón, Ciudad Real, Cuenca, Euskadi, Girona, Granada, La Rioja, Mallorca, Murcia, Navarra y Tarragona). En la Tabla 9 se muestra la evolución de las Tasas de incidencia de cáncer (Encéfalo y Sistema Nervioso Central) ajustadas por edad a la población estándar europea.

Fecha	Mujeres	Hombres
1993-1997	5,7	8,2
1998-2002	5,5	8
2003-2007	5,3	8,2
2014	5,2	8,4
2015	5,2	8,3
2017	5,4	6,8
2019*	6,3	7,6

Tabla 9. Tasas de incidencia de cáncer (Encéfalo y Sistema Nervioso Central) ajustadas por edad a la población estándar europea

Fuente. REDECAN. Las cifras del cáncer en España SEOM 2017 y 2019. Cancer incidence in Spain 2015. REDECAN; Clin Transl Oncol (FESEO 2017). 2019 proyecciones SEOM (Sociedad Española de Oncología Médica). Adaptación de Estimaciones de incidencia y supervivencia Cáncer en España 2014 y 2019. Elaboración: F. Vargas)*

Según las proyecciones de la SEOM para el año 2019 se producirán 2.258 tumores del SNC en hombres, que representan un **1,45%** de todos los tumores (161.064) y 2.143 en mujeres que representan el **1,82 %** de todos los tumores (116.170) en mujeres en España.

El Registro Central de Tumores del Cerebro de EEUU (*The Central Brain Tumor Registry of the United States, CBTRUS*), en colaboración con los CDC (*Centers for Disease Control and Prevention and National Cancer Institute*), es el registro poblacional más amplio centrado exclusivamente en el registro de tumores cerebrales y del Sistema Nervioso Central y representa a toda la población de ese país.

En general, se asume que existe una subestimación del registro de estos tumores primarios. El CBTRUS estableció como obligatoria la inscripción de todos los tumores benignos en el registro desde el año 2004. Según este centro (Ostrom et al., 2018) los tumores benignos representaron, entre 2009 y 2013, el 68% de todos los tumores primarios del SNC. En Europa el European Network of Cancer Research (ENCR) recomienda el registro de tumores intracraneales e intra espinales con independencia de su comportamiento (benigno, intermedio o maligno) pero en la práctica son pocos los registros nacionales que cumplen con esta directriz. Por estas razones la estimación de la incidencia adolece de limitaciones.

En su último informe publicado se recoge la evolución de las tasas de incidencia de estos tumores (ver Tabla 10). La tasa media anual para los tumores malignos fue de 7,08 y para los no malignos 16,33.

	2012	2013	2014	2015	2016
Tumores malignos	7,19	7,20	7,14	7,05	6,84
Tumores no malignos	16,44	16,39	16,50	16,54	15,81

Tabla 10 Tasa de incidencia anual de tumores cerebrales y del SNC ajustada por 100.000 personas (población de EEUU año 2000)

Fuente: Annual Age-Adjusted Incidence Rates of Primary Brain and Other CNS Tumors by Year and Behavior, CBTRUS Statistical Report: US Cancer Statistics -NPCR and SEER, 2012–2016.

En el conjunto de los Registros españoles, el 68% tiene verificación histológica (este indicador es peor en los de mayor edad). Los tumores más frecuentes por tipo histológico son los gliomas y, dentro de ellos, los astrocitomas. Se ha producido un aumento de pacientes sin confirmación histológica, en los que el diagnóstico se ha basado únicamente en las pruebas de imagen (Guevara M y Ardanaz E, 2016).

En relación con los factores de riesgo la gran mayoría de los tumores del SNC son esporádicos, <1% de los casos de gliomas tienen un síndrome hereditario conocido (Neurofibromatosis tipo I y II, Síndrome de Li-Fraumeni (mutaciones p53) y otras enfermedades raras).

Aproximadamente un 5% son familiares (≥ 2 gliomas entre familiares de primero y segundo y grado), sugiriendo otras predisposiciones genéticas (polimorfismos).

Entre los factores de riesgo ambientales se ha establecido la relación entre exposición craneal a Radiaciones ionizantes (Piñeros et al., 2016, McNeill, 2016) al tratar lesiones benignas o por leucemia, linfoma o tumores cerebrales y en las siguientes situaciones:

- Mayor riesgo especialmente de meningiomas, gliomas y schwannomas, también hemangioblastomas, linfomas y tumores embrionarios.
- Principalmente cuando la exposición fue durante la infancia.
- Relación dosis-respuesta. A mayor dosis se incrementa el riesgo.
- Periodo de latencia: mediana de 9-18 años para los gliomas y 17-23 años para los meningiomas.

Otros factores investigados cuya evidencia de asociación es mínima o no existe son los siguientes:

-Virus (gripe, varicela zoster, polioma virus (BK, JC), etc.), Toxoplasma gondii, trauma craneal, dieta (calcio, compuestos N-nitroso, antioxidantes, suplemento de folato materno), tabaco, alcohol, medicamentos, campos electromagnéticos y contaminación del aire.

La evidencia no es concluyente respecto a: pesticidas, insecticidas, fungicidas, herbicidas, fertilizantes, formaldehído, caucho sintético, cloruro de vinilo, petróleo y petroquímicos (McNeill, 2016).

Las alergias y condiciones autoinmunes se asocian a menor riesgo de gliomas (Ostrom et al., 2015) por una posible influencia de factores inmunológicos. Hay un mayor riesgo de linfoma cerebral primario en: inmunodeprimidos y también está asociado al virus de Epstein-Barr en pacientes con VIH/SIDA.

Como resumen de todos los factores citados se puede afirmar:

- Mayor Incidencia en hombres
- Aumento de incidencia con la edad, como en todos los tumores.

- Alto porcentaje de casos no confirmados histológicamente por el aumento del diagnóstico por imagen.
- Tendencia de aumento de los tumores benignos, por mejor diagnóstico y registro, se recomienda incluir en el registro todos los tumores del SNC.
- La tasa de incidencia de los tumores malignos de SNC disminuye en hombres y es estable en mujeres.
- Posición media baja de la población española para el conjunto de los tumores del SNC en comparación con otros países europeos.
- Letalidad alta, especialmente en glioblastomas.
- Supervivencia más elevada en mujeres y que disminuye con la edad, con ligera mejoría en los últimos 15 años aunque la supervivencia relativa a 5 años es del 20%.
- Está demostrada una asociación de las radiaciones ionizantes y cáncer de cerebro.

El registro de tumores de Gerona (Girona) publicó un trabajo (Fuentes-Raspall et al., 2017) sobre la incidencia los tumores primarios por edad, sexo, diagnóstico, comportamiento e histología durante un periodo de 20 años (1994-2013).

La tasa global de incidencia estandarizada con la población europea fue de 16,85, con un total de 2.131 casos registrados en ese periodo. La proporción entre tumores malignos (50,2%) y benignos (49,8%) fue similar. El tumor más frecuente (27,6%) fue el meningioma (tumor benigno), seguido por el glioblastoma (tumor maligno) con un 22,2%.

Los cambios en la evolución de las tasas de incidencia se deben a cambios en la codificación (tipos y subtipos), en el diagnóstico (introducción de la TAC y Resonancia Magnética que aumentan los casos sin confirmación histológica), la mejora de la supervivencia y de la práctica clínica, a la exposición a otros riesgos potenciales y a la incidencia simultánea de otros cánceres que son más frecuentes en las personas más ancianas y que provocan una mala clasificación de tumores metastásicos no primarios.

Estos autores concluyen que la incidencia en este Registro, durante los 20 años del estudio, aumentó, principalmente, por el aumento de los tumores en los nervios craneales

y espinales, especialmente en mujeres y personas mayores de 74 años. Este último hallazgo es coherente porque sabemos que la probabilidad de padecer un cáncer aumenta con la edad (Galceran et al., 2017). Como se muestra en la siguiente Figura 7.

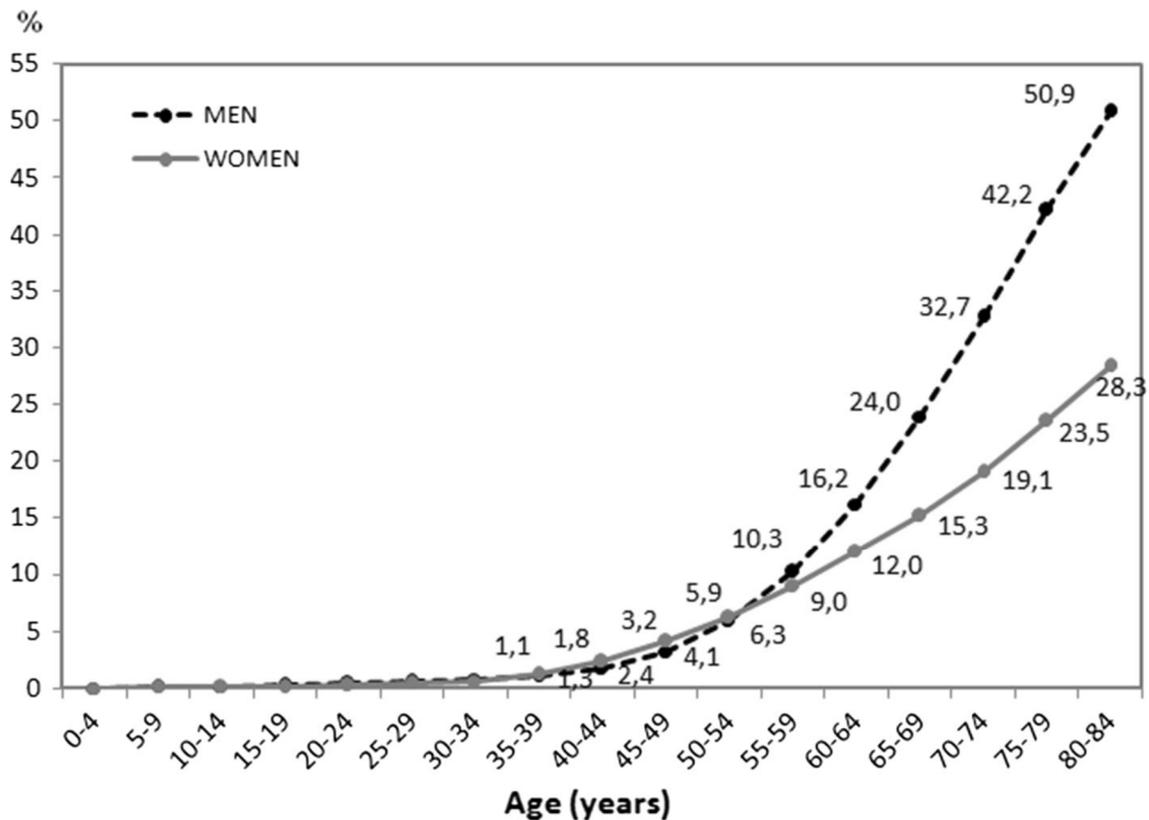


Figura 7 .Probabilidad (%) de desarrollar cáncer invasivo desde el nacimiento hasta los 85 años, en España, 2003-2007.Todos los cánceres excepto melanoma (REDECAN).

Fuente: Cancer incidence in Spain, 2015. Galceran et al, 2017.

A la hora de valorar las tendencias de los tumores cerebrales es necesario tener en cuenta que el riesgo de padecer un tumor de este tipo aumenta en los grupos de más edad.

Un enfoque interesante para valorar un riesgo potencial del uso del teléfono móvil es comparar el número de usuarios de teléfonos móviles (número de líneas de telefonía) con las tasas de incidencia de tumores cerebrales y del SNC.

Aunque esta comparación es meramente informativa aporta indicios sobre la no asociación entre el número de usuarios de teléfonos móviles y la incidencia de tumores cerebrales. (Figura 8). Si el uso masivo y generalizado del teléfono móvil estuviera

relacionado causalmente con un mayor riesgo de tumores cerebrales y del SNC, las tasas de incidencia deberían mostrar alguna tendencia ascendente, esta relación no se observa en la Figura 8.

En la Tabla 11 se muestra la evolución de las Tasas de incidencia de cáncer (Encéfalo y Sistema Nervioso Central) ajustadas por edad a la población estándar europea.

Fecha	Mujeres	Hombres
1993-1997	5,7	8,2
1998-2002	5,5	8
2003-2007	5,3	8,2
2014	5,2	8,4
2015	5,2	8,3
2017	5,4	6,8
2019*	6,3	7,6

Tabla 11 Tasa de incidencia de cáncer

Fuente. REDECAN. Las cifras del cáncer en España SEOM 2017 y 2019. Cancer incidence in Spain 2015. REDECAN; Clin Transl Oncol (FESEO 2017). 2019 proyecciones SEOM (Sociedad Española de Oncología Médica). Adaptación de Estimaciones de incidencia y supervivencia Cáncer en España 2014 y 2019. Elaboración: Vargas, F.*

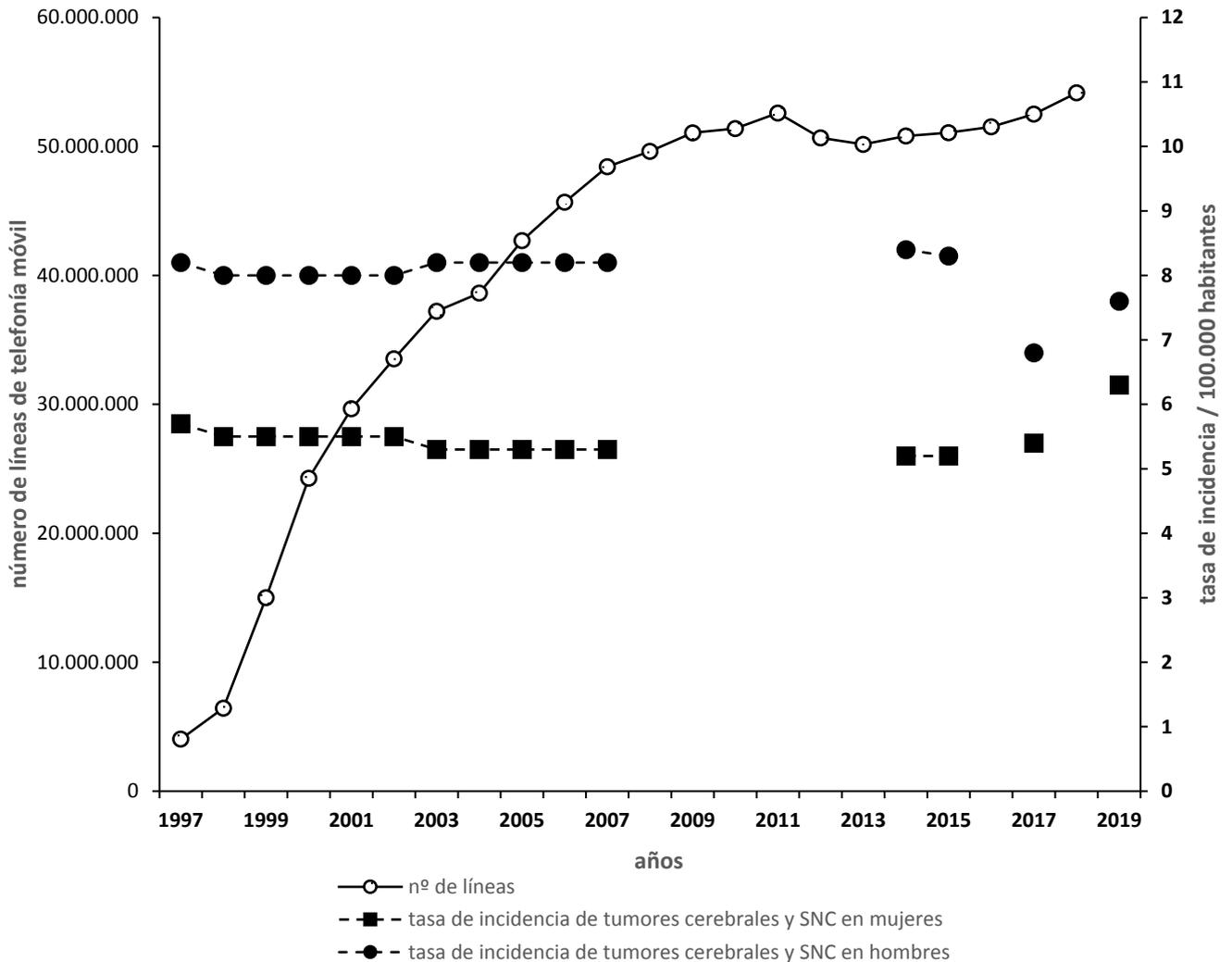


Figura 8 Tasas de incidencia de cáncer (Encéfalo y Sistema Nervioso Central) en España, ajustadas por edad a la población estándar europea y líneas de telefonía móvil.

Fuente: CNMC y COIT (18/12/2019). REDECAN y SEOM. Elaboración: Vargas, F, Cáceres, D.

6.1.2 Revisión de evidencias. Estudios de análisis de las tasas de incidencia de tumores cerebrales y del SNC.

Un estudio realizado en Suecia (Nilsson et al., 2019) analizó la evolución de las tasas de incidencia de los tumores cerebrales en el periodo comprendido entre 1980-2012. Se recogió información de los casos de meningiomas (13.441), gliomas de bajo (4.555) y elevado grado (12.259) del Registro de Cáncer. En el periodo de estudio se calcularon las tasas de incidencia estandarizada por edad. Los autores concluyeron que no se ha producido un aumento de la incidencia de glioma durante los últimos 30 años. El análisis

de los datos se estratificó en 4 grupos diferentes para valorar si la tasa se había incrementado en un grupo específico.

El uso de los datos de los Registros de Tumores tiene ventajas e inconvenientes como ya se ha avanzado en apartados anteriores. Entre las ventajas se puede incluir una identificación muy elevada de casos que permite un análisis estadístico sólido y fiable. Sin embargo, no todos los registros tienen la misma calidad metodológica, hay subregistro de casos, no hay un porcentaje elevado de comprobación histológica y los resultados deben ser interpretados con cautela. El subregistro de casos del registro de Suecia se ha estimado en el 4%, que indica una elevada calidad. Este estudio sueco (Nilsson et al., 2019) que incluyó a 30.255 casos de tumores del SNC no observó un aumento de la incidencia más bien comprobó una tasa estable de incidencia.

Un estudio (Pouchieu et al., 2018) investigó la evolución de las tendencias de las tasas de incidencia de tumores del SNC, en una región de Francia (Gironde). Se calcularon globalmente las tasas brutas y estandarizadas de incidencia de tumores por subtipos histológicos, estatus de malignidad, género y grupos de edad en el periodo de 2000-2012. Se incluyeron 3.515 tumores del SNC, la incidencia fue de 19/ 100.000 personas/año. La incidencia para tumores neuroepiteliales (glioma y glioblastoma) fue 8,3/100.000 y la de meningiomas fue de 7,3/100.000. Se observó un aumento de la incidencia (cambio porcentual anual) de 2,7%; IC (95%):1,8-3,7. Esta tendencia se explica principalmente por un aumento de los meningiomas. El aumento de la incidencia de tumores fue más pronunciado en mujeres y pacientes de más edad aunque el aumento se produjo en todos los grupos de edad sin que se sepan las causas.

Los autores concluyen que parte de la variación temporal puede ser atribuida a una mejora del registro de casos del diagnóstico y de la práctica clínica pero también a cambios en los riesgos potenciales.

Un estudio realizado en Inglaterra (Philips et al., 2018) investigó las tendencias de las tasas de incidencia de tumores malignos del cerebro (ICD10:C71, glioblastomas y D43, tumores supratentoriales, sin estudio histológico y morfológico) durante el periodo de 1995-2015. Se incluyeron 81.135 tumores para calcular la tasa estandarizada, por edad y sexo, de incidencia de este tipo de tumor con la población europea. Se observó un

aumento estadísticamente significativo de la tasa de glioblastoma multiforme en todas las edades desde el año 1973 hasta el año 2000, después de este año el aumento fue pequeño. En el periodo 1995-2015 las tasas de glioblastomas aumentó un 5,2%; IC (95%): 3,7-6,6. En ese mismo periodo la tasa de incidencia de gliomas y astrocitomas descendió lo que determinó que las tasas globales de tumores cerebrales se mantuvieran estables en el periodo 1995-2015. Los autores sugieren que este aumento de las tasas de glioblastoma puede deberse a un factor ambiental (que no citan) muy extendido o a factores de estilo de vida. Consideran que los cambios en las prácticas diagnósticas parecen ser la explicación más plausible. Consideran que este tipo de análisis de la tendencia de las tasas no aporta evidencia adicional sobre el papel desempeñado por ningún riesgo ambiental específico (contaminación del aire por el tráfico, radiación ionizante, alteraciones genéticas o teléfonos móviles).

Un estudio realizado en los países nórdicos (Olsson et al., 2019) investigó la supervivencia de los pacientes con glioma en relación con el uso del teléfono móvil. Se hizo un seguimiento de 806 personas diagnosticadas de glioma que estaban integradas en un estudio caso-control en Dinamarca, Finlandia y Suecia. Se hizo un análisis en función del uso del teléfono móvil, según fuera usuario regular y tiempo desde que se empezó a usar, tiempo total acumulado de llamadas en los últimos 12 meses. También se analizaron covariables como sexo, edad, educación, estado civil, histología del tumor tratamiento y localización anatómica del tumor. No se observó evidencia de una reducción de la supervivencia en relación con el uso del teléfono móvil.

Otro estudio realizado en Inglaterra (de Vocht, 2016) analizó si la incidencia de diversos subtipos de tumores cerebrales (tumor no especificado, glioblastoma multiforme, tumor maligno del lóbulo temporal y parietal) durante el periodo de 1985-2014 estaba relacionada con el uso del teléfono móvil. Se utilizó un modelo Bayesiano estructural de series temporales (técnica estadística) asumiendo periodos de latencia de 5, 10 y 15 años.

El efecto del uso del teléfono móvil sobre los cambios de la incidencia de tumores fue deducido de las diferencias entre el número de casos anuales de registrados y modelados por el cálculo estadístico. No se observó un aumento de glioma maligno, glioblastoma multiforme o tumores malignos en el lóbulo parietal. Sin embargo, se observó un aumento de tumores malignos en el lóbulo temporal, el análisis de las series indicó un aumento

(RR=1,35; IC (95%):1,09-1,59 en el periodo de latencia de 10 años, pero no en el de 15 años, algo que es sorprendente e implausible. Este hallazgo puede indicar que el análisis se ve afectado por los cambios seculares de tendencia de las tasas de incidencia.

Una vez más, hay una limitación de este tipo de enfoque en la ausencia de información sobre la exposición individual. El lóbulo temporal es el más próximo a la oreja y el más expuesto al hablar por teléfono. Si los resultados fueran ciertos se estima que se producirían 188 casos anuales de este tipo de tumores malignos en Inglaterra, esto supone el 0,02 %-0,12 % de los nuevos casos. En una publicación posterior (de Vocht, 2017a) el autor lamenta que debido a un mal entendido se usaron datos erróneos sobre glioma y glioblastoma multiforme aunque las correcciones no afectan a las principales conclusiones del estudio previo. Afirma que no hay evidencia de una relación causal entre el uso del teléfono móvil y la incidencia de glioma maligno y glioblastoma multiforme.

En un trabajo más reciente (de Vocht, 2019) analizó la distribución temporal y espacial del glioblastoma y otros subtipos de tumores malignos y benignos, incluyendo neurinoma del acústico y meningioma en el lóbulo temporal. La tasa de incidencia anual de estos subtipos de tumores cerebrales en el periodo 1985-2005 fue comparada con ciertas covariables. Mediante un modelo Bayesiano estructural de series temporales se creó una tendencia contrafactual para el periodo 2006-2014 (hipotética) y se midieron las diferencias con los nuevos casos diagnosticados para interpretar las diferencias como causales.

Aunque se observó un aumento del glioblastoma multiforme este autor afirma que es improbable que exista una correlación causal entre el uso del teléfono móvil y aumento de la incidencia de glioblastoma multiforme en el lóbulo temporal y frontal y probablemente cerebelo. Esta conclusión se debe a que los efectos fueron observados en los grupos de mayor edad, más de 75 y de 85 años.

Un estudio sobre la evolución de las tendencias de las tasas de incidencia de tumores primarios cerebrales, intracraneales y del SNC se realizó en Israel (Keinan-Boker et al., 2018). El periodo de análisis fue de 1990 a 2015 una etapa en la que el uso del teléfono móvil fue generalizado en este país. Los resultados indicaron que en esos 26 años de análisis no se observaron cambios significativos en la incidencia de estos tumores.

Un estudio australiano (Karipidis et al., 2018) analizó las tendencias de las tasas de incidencia de tumores cerebrales para valorar la influencia de los métodos diagnósticos y el aumento del uso del teléfono móvil. El diseño ecológico del estudio (tipo descriptivo observacional) de base poblacional revisó las tendencias de esta tasa durante tres periodos de tiempo, 1982-1992, 1993-2002 y 2003-2013. Además, se comparó la incidencia observada durante el periodo de mayor uso del teléfono móvil (2003-2013) con la incidencia prevista (modelada teóricamente) en el mismo periodo asumiendo varios riesgos relativos, periodos de latencia y escenarios de uso del teléfono móvil. Los casos se obtuvieron del Registro Nacional Australiano de Casos de Cáncer de Cerebro diagnosticados en el periodo de 1982 a 2013. Se incluyeron en el estudio 16.825 casos.

La incidencia prevista fue más elevada que la observada para el periodo de latencia de 15 años. Los autores concluyeron que en Australia no ha habido un aumento de ningún tipo de tumor cerebral que pueda ser atribuido al uso del teléfono móvil.

Otro estudio también realizado en Australia (Chapman et al., 2016) investigó si la incidencia de tumores cerebrales había aumentado en este país desde la introducción del teléfono móvil en 1987. Según este estudio, que incluyó 19.858 casos de cáncer, la incidencia de tumores cerebrales en el periodo de 1982-2012 no aumentó en ningún grupo de edad excepto en el de 70 a 84 años pero este incremento se inició en 1982 antes de la introducción del teléfono móvil. Estos autores modelaron los Riesgos Relativos (RR) de los estudios de Hardell (2,5) e Interphone (1,5) asumiendo un periodo de latencia de 10 años. Las tasas previstas (modeladas aplicando estos RR) fueron más elevadas que las observadas realmente en los registros.

Un estudio realizado en Japón (Sato et al., 2019) simuló la incidencia de tumores cerebrales malignos en cohortes de nacimiento que comenzaron a usar el teléfono móvil cuando este se hizo popular. Los datos sobre la propiedad del teléfono, número de llamadas, duración, etc, fue obtenido mediante un cuestionario (vía internet) que rellenaron los participantes nacidos entre 1960 y 1989. Un total de 7.500 individuos completaron el cuestionario lo que representa un 1% del total de cuestionarios enviados. La proporción de propietarios de teléfonos móviles entre 1992 y 2012 se calculó para las cohortes de nacimiento de las décadas de 1960, 1970 y 1980. Con esta información se calculó la tasa de incidencia simulada asumiendo un Riesgo Relativo de 1,4 de padecer

un tumor cerebral (Interphone) en usuarios de más de 1.640 horas de uso acumulado del teléfono móvil y con una duración de llamada diaria de 15 minutos. La tasa de incidencia calculada para el año 2020 fue de 5,48/100.000 para la cohorte nacida en 1960, 3,16 para la de 1970 y 2,29 para la de 1970. El punto de partida para la comparación de la incidencia fue el año 1990. Los autores concluyeron que con el escenario modelado es previsible un aumento de la incidencia en 2020.

Un estudio realizado en Finlandia (Natukka et al., 2019) investigó las tendencias de incidencia de tumores malignos (gliomas) en función de su morfología y localización. Se obtuvieron datos de notificación al Registro Finlandés de Cáncer de 4.730 pacientes con glioma maligno y de 3.590 pacientes con datos menos detallados hasta el año 2016. Se calcularon las tasas estandarizadas y los cambios porcentuales medios anuales de las tasas en función del subtipo de tumor y localización. No se observó un incremento global de las tasas de incidencia de gliomas malignos. La incidencia de glioma fue de 7,7/100.000 en el periodo 1990-2006 y 7,3 en el de 2007-2016. Sí se observó un pequeño aumento en el grupo de más edad en el periodo de 1990- 2006.

6.1.3 Revisiones sistemáticas y metaanálisis. Estudios casos-control y cohortes

En Epidemiología la fuerza de la asociación (su magnitud o intensidad) entre un factor de exposición y la enfermedad es el primer criterio de causalidad (Hill). Se mide por el grado en que el riesgo relativo (RR) o la Odds Ratio (OR) se separan de la unidad, sea por encima (cuando una exposición causa una enfermedad) o por debajo (efecto preventivo). También puede medirse por una diferencia de riesgos, de medias, proporciones o coeficientes de correlación o regresión. La regla de interpretación de esos estimadores de la asociación es la siguiente: Cuanto mayor es la fuerza de la asociación más verosímil es la hipótesis de la relación causal. Un RR demasiado elevado suele atribuirse a un factor de confusión. Se consideran RR débiles si son inferiores a 2, moderados entre 2-4 y fuertes si son superiores a 4 (Hill y Brownson). Otros autores consideran que un RR de al menos 4 o 5 es necesario para considerar que una relación es causal. En este capítulo, para facilitar la comprensión de los resultados de los estudios revisados, se incluye en la mayoría de los casos estos estimadores de la fuerza de la asociación. Los estudios que aportan más calidad sobre el grado de evidencia son las revisiones sistemáticas y los metaanálisis. (Gisbert & Bonfill, 2004); Las revisiones sistemáticas son resúmenes claros

y estructurados de la información disponible orientada a responder una pregunta específica. Dado que están constituidas por múltiples artículos y fuentes de información, representan el más alto nivel de evidencia dentro de la jerarquía de la evidencia.

El metaanálisis es un conjunto de técnicas que se usan para cuantificar la información de estudios realizados con una metodología similar y combina resultados procedentes de varios estudios. Uno de sus principales objetivos es valorar la consistencia (heterogeneidad) entre los estudios incluidos en el análisis que analizan las mismas variables.

Uno de los principales sesgos que afectan a este tipo de revisiones es el conocido como *sesgo de publicación*. Viene derivado del hecho de que muchos trabajos científicos, en su mayoría con resultados “negativos” (aquellos que no hallan diferencias significativas o con resultados en contra de la hipótesis de estudio o de lo habitualmente establecido) nunca llegan a publicarse, tardan más en hacerlo o son menos citados en otras publicaciones. Todo ello condiciona los resultados de una búsqueda bibliográfica y puede dar lugar a resultados sesgados en un metaanálisis. Otro factor que contribuye a este tipo de sesgos es la publicación duplicada de estudios o el ignorar los trabajos publicados en un idioma distinto al inglés.

Además del sesgo de publicación, el *sesgo de selección* es una de las principales críticas del metaanálisis. Es importante definir con claridad los criterios de inclusión y exclusión de los estudios en la revisión, y que estos sean lo más objetivos posible. El propio autor del metaanálisis puede sesgar los resultados, ya que su criterio para incluir o excluir un estudio del análisis puede venir influenciado por los resultados del mismo.

Otros aspectos que pueden comprometer la validez de los resultados de un metaanálisis son la calidad de los estudios originales incluidos, la variabilidad y consistencia (heterogeneidad) entre estudios o los errores en la fase de análisis. Las conclusiones del meta-análisis dependerán en gran medida de la calidad de los estudios originales, de modo que al combinar resultados de investigaciones sesgadas o metodológicamente deficientes también se incurrirá en un sesgo a la hora de obtener un estimador global del efecto. A su vez, la heterogeneidad entre los diferentes estudios que se combinan puede afectar de una manera muy importante los resultados del metaanálisis. Suelen ser investigaciones realizadas en distintos contextos, con pacientes de características no necesariamente

similares o incluso con resultados muy diferentes, lo que implica que no siempre será aconsejable realizar un metaanálisis. Deberán investigarse las posibles fuentes de heterogeneidad, su influencia en los resultados y la posibilidad de realizar un análisis por subgrupos.

Finalmente, los resultados pueden verse comprometidos por el empleo de técnicas de análisis erróneas o una definición incorrecta de las medidas que se desean combinar. (*Revisiones sistemáticas y Metaanálisis*, s. f.). Teniendo en cuenta este breve resumen sobre los estudios epidemiológicos que aportan mejores evidencias es más fácil interpretar los resultados de los estudios que se han incluido en nuestra revisión.

Un estudio examinó la relación entre la exposición laboral a CEM-RF y frecuencias intermedias y el riesgo de tumores cerebrales (gliomas y meningiomas), en el marco de un estudio caso-control de base poblacional internacional (INTEROCC), integrada por casi 4.000 casos y 5.000 controles usando un novedoso enfoque de evaluación de la exposición. Globalmente cerca del 10% de los participantes estuvieron expuestos a CEM-RF y solamente un 1% a CEM intermedios. No hubo una clara evidencia de asociación positiva (OR menor a 1) entre la exposición a CEM-RF e intermedios con los tumores cerebrales estudiados.

Un meta-meta-análisis realizado en China (Y. Wang & Guo, 2016) investigó la asociación entre el uso del teléfono móvil y el riesgo de glioma. Se incluyeron 11 estudios de cohortes y caso-control publicados entre el año 2001 y el 2008. Los datos combinados mostraron que no hubo asociación entre el uso del teléfono móvil y el riesgo de glioma OR =1,08; IC (95%):0,91-1,25, P>0,05. Si se observó una asociación entre los usuarios de más de 5 años y riesgo de glioma, OR =1,35; IC (95%):1,09-1,62. Sin embargo, esta correlación fue débil.

Un estudio similar de revisión sistemática y meta-análisis (Yang et al., 2017) investigó la asociación potencial entre el uso del teléfono móvil y riesgo de glioma basado en el tiempo de uso del teléfono móvil, lateralidad y grado (de comportamiento) de glioma. Este trabajo cumple los criterios “*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)*”.

La revisión sistemática abarcó el periodo entre 1980 y 2016. Los datos se midieron mediante OR usando el modelo de efectos aleatorios (técnica estadística). Se eligieron 11 estudios que incluyeron a 6.028 casos y 11.488 controles de estudios publicados entre 2001 y 2015. Observaron una elevada heterogeneidad entre los estudios.

Se observó un aumento del riesgo de glioma en personas que usaron el teléfono móvil durante más de 10 años. Hubo una asociación entre el uso del teléfono móvil y el glioma de bajo grado en los usuarios habituales y en el subgrupo de usuarios de largo plazo. No se observó asociación entre haber sido usuario de teléfono móvil, uso ipsilateral y grado elevado de glioma. Los resultados sugieren que el uso a largo plazo del teléfono móvil no puede estar asociado a un incremento del riesgo de glioma.

Sin embargo, la evidencia actual es de baja calidad y de cantidad limitada. Por ello, los autores consideran necesario realizar estudios prospectivos a largo plazo con muestras más amplias y una calidad elevada.

Existe un largo periodo de latencia entre la primera exposición, la presentación y desarrollo posterior del tumor (glioma). Por esta razón, muchos estudios que han realizado un seguimiento corto de los casos aportan poca evidencia causal. Se considera que deben transcurrir al menos 10 años o más para evaluar el riesgo de glioma. La tendencia del usuario de teléfono móvil a colocarlo en un lado concreto de la cabeza significa que ese lado (ipsilateral) está especialmente expuesto a los CEM-RF mientras que el lado contralateral recibe menos energía. Los resultados de este estudio (Yang et al., 2017) sugieren que no hay asociación entre el uso del teléfono móvil cualquiera que sea la duración del tiempo de uso y un aumento del riesgo de glioma.

Otro meta-análisis (P. Wang et al., 2018) investigó la posible asociación entre el uso de teléfonos móviles inalámbricos y el riesgo de glioma. Se realizó una revisión sistemática, hasta julio de 2017, que finalmente incluyó 10 estudios sobre el objetivo del estudio. Para analizar los resultados se usó el modelo de efectos aleatorios o de efectos fijos dependiendo de la heterogeneidad de los resultados. Los autores concluyeron que el uso de teléfonos móviles inalámbricos nunca se asoció significativamente con el riesgo de glioma en el adulto pero podría aumentar el riesgo en los usuarios a largo plazo.

Una exhaustiva revisión sistemática y un meta-análisis (Röösli et al., 2019) de estudios de casos y controles y de cohortes, ha evaluado la evidencia de varios diseños de estudios epidemiológicos sobre tumores cerebrales y de las glándulas salivares y el uso del teléfono móvil. El periodo de revisión de los estudios publicados se cerró en diciembre de 2017. Se analizaron 12 estudios con 4.197 casos de personas expuestas con glioma RR =1,00; IC (95%): 0,89–1,13 que se compararon con no usuarios. En relación con el meningioma se incluyeron 9 estudios que no se solapaban con un total de 2.686 casos expuestos se compararon con no usuarios. El riesgo relativo estuvo inversamente relacionado con el uso del teléfono (RR=0,91; IC (95%): 0,84–0,98). En relación al neurinoma del acústico se incluyeron finalmente 11 estudios con 1.546 casos.

Los teléfonos móviles son la fuente más relevante de exposición del cerebro y de las glándulas salivales por eso es pertinente reflexionar sobre los resultados de los meta-análisis que observaron algún riesgo en usuarios intensivos (grupo de Hardell e Interphone). Estos estudios, que aumentan la heterogeneidad de los datos, se hicieron cuando se utilizaban los teléfonos móviles de 1ª y 2ª generación (GSM) y se centraron en el número y duración de llamadas como un indicador de la exposición acumulada. Pero la validez de esta exposición subrogada se ha visto desacreditada por las aplicaciones de las nuevas tecnologías de telecomunicación y especialmente por el uso del sistema de control adaptativo de potencia que responde en función de la calidad de la red de telefonía, como sucede con la Universal Mobile Telecommunication System (UMTS, 3G).

En la práctica las diferencias en la media de potencia de salida entre GSM y UMTS oscilan entre un factor de 100 y 500. La exposición humana a los CEM-RF emitidos por un teléfono móvil es directamente proporcional a su potencia de salida. Los niveles medios de potencia de salida entre los teléfonos inalámbricos (10 mW) y los teléfonos móviles no son muy diferentes 6–16 mW. Hay que recordar que la clasificación de IARC (2011) de los CEM-RF como 2b se basó en estudios que incluyeron a usuarios de telefonía GSM (2G) que emite niveles de potencia muy superiores a los 3G y 4G. Luego, en la medida que se ha generalizado el uso del 3G la exposición a CEM-RF ha sido muy inferior a la de GSM. Al mismo tiempo se han producido cambios en el patrón de uso de la telefonía móvil, se usa más la pantalla, los mensajes escritos, redes sociales, aplicaciones, etc., que reducen la exposición de la cabeza. Como hemos visto los tumores

cerebrales y del SNC son enfermedades raras con una tasa de incidencia inferior a 10/100.000 personas.

Los autores del estudio (Röösli et al., 2019) afirman que los usuarios de largo plazo de teléfonos móviles no presentan un aumento del riesgo de meningioma, glándulas pituitarias y salivares, mientras que en el riesgo de glioma y neurinoma del acústico se observa un ligero aumento del riesgo (>1), con intervalos de confianza que incluyen el efecto nulo y con una elevada heterogeneidad. En relación con los resultados que sí observan algún riesgo (Hardell et al) se señala que suelen repetir análisis con los datos de los mismos individuos o combinar diferentes enfermedades (tumores). El grupo de Hardell-Örebro ha publicado estudios en los que se observaron RR para todas las categorías de usuarios, con periodos de latencia > 10 años de 1,69 (1,40-2,03) para glioma y de 2,49 (1,74-3,56) para el neurinoma del acústico. La población de los países nórdicos fue una de las primeras en empezar a usar la telefonía móvil de forma generalizada y en Europa en el año 2000 la penetración alcanzaba al 50 % de la población. Actualmente más del 50% de la población sueca puede ser clasificada como usuaria de largo plazo. Un exceso del riesgo del 60-70% como el reportado por el grupo de Hardell debería provocar un aumento de al menos el 30% de la tasa de incidencia de glioma algo que no se ha observado en la población sueca $>$ de 70 años. Un riesgo del 150% para el neurinoma del acústico produciría un aumento aún más intenso de las tasas de incidencia.

Si el uso del teléfono móvil aumentara el riesgo de estos tumores, las tasas de incidencia deberían aumentar si hubiera una relación causal. Ya hemos visto que el requisito imprescindible es la existencia de un Registro de Cáncer de la máxima calidad. Las tendencias de las tasas de incidencia en EEUU, Australia y Países Nórdicos no son consistentes con los aumentos de riesgo señalados por el grupo de Hardell. Sin embargo, estas tendencias no son prueba de la ausencia de riesgo ya que no son lo suficientemente sensibles como para detectar pequeños incrementos de la incidencia en subtipos histológicos de tumores raros, con más de 100 variedades. Si asumimos unos periodos de latencia similares a los de las radiaciones ionizantes sería previsible que cualquier riesgo relevante ya se pudiera detectar. Estas inconsistencias son las que deberían llevar a los investigadores a reevaluar los estudios caso-control, que observan un riesgo elevado, con el fin de detectar los factores que provocan esta sobreestimación del riesgo.

Finalmente, los autores (Röösli et al., 2019) establecen que la evidencia actual de los estudios *in vitro*, *in vivo* y epidemiológicos no indican una asociación con el uso del teléfono móvil y el desarrollo de tumores en los órganos y tejidos más expuestos. Cualquier riesgo potencial no detectado será pequeño desde una perspectiva individual y puede implicar largos periodos de latencia (> 15 años), subtipos de tumores raros y de uso del teléfono móvil durante la infancia. Para aclarar estos pequeños riesgos se necesita identificar con precisión la exposición real teniendo en cuenta que la duración de la llamada, por sí sola, no refleja de forma adecuada la exposición cerebral.

Un estudio (Grell et al., 2016), basado en los datos de Interphone, investigó como mejorar la precisión de la localización de los gliomas en el cerebro en las investigaciones sobre el uso del teléfono móvil. Cuando se investiga la asociación entre los tumores cerebrales y el uso de teléfonos móviles, los datos precisos sobre la posición del tumor son esenciales, debido a la absorción altamente localizada de energía en el cerebro humano de los campos de radiofrecuencia. Hay que recordar que la distribución de la cantidad de energía absorbida (SAR) en la cabeza humana disminuye de forma considerable después de los 5 cm y que casi toda la energía se absorbe en el hemisferio cerebral más cercano al teléfono. Para realizar este trabajo se utilizó un modelo tridimensional de proceso puntual, ya usado previamente por Grell, para elaborar un mapa de cuadrículas (cubos de 1 cm) de la cabeza y el cerebro humano. Con esta información los neurólogos estimaron los contornos del tumor.

Sobre una muestra de 1.530 localizaciones de gliomas diagnosticados por radiología, se incluyeron 792 personas con glioma que eran usuarias habituales del teléfono móvil y que informaron de su lado preferido al hacer llamadas que fueron diagnosticadas entre 2000 y 2004. El objetivo de la investigación fue modelizar la distribución intracraneal de los gliomas en relación con el uso del teléfono móvil utilizando datos de la localización exacta del tumor procedentes del estudio Interphone. La localización observada del glioma se situó más próxima al oído que había sido informado como el que se usaba con más frecuencia para hablar por teléfono.

Los autores concluyeron que hay un exceso estadísticamente significativo de gliomas en el lado preferido (auto informado por los pacientes) para hablar por teléfono. Sin embargo, los autores afirman que esta tendencia no estuvo relacionada con la cantidad de

uso del teléfono móvil. Este hallazgo hace improbable que exista una relación causal entre el riesgo de cáncer y el uso del teléfono móvil. Es muy probable que el sesgo de recuerdo influya en la asociación observada.

Un estudio (Hardell & Carlberg, 2017) investigó la relación entre el uso del teléfono móvil, teléfonos inalámbricos y las tasas de tumores cerebrales de *tipo desconocido* (ICD10-D43) en el sistema nervioso central, en diferentes grupos de edad, utilizando los datos del Registro de Pacientes Hospitalizados (IPR, en sus siglas en inglés) y las tasas de tumores, código ICD-7:193.0, (tumor de cerebro, meninges y nervios del SNC) del Registro de Cáncer de Suecia, durante el periodo de 1998-2015.

El cambio de porcentaje anual promedio (AAPC, en sus siglas en inglés) por 100.000 personas de tumores cerebrales de *tipo desconocido* en el sistema nervioso central (D43), en el IPR, aumentó en un 2,0%, IC (95%): 1,2-2,8 con datos de ambos sexos combinados. La AAPC más alta se encontró en el grupo de edad de 20 a 39 años. Se produjo un aumento de la incidencia de tumores D43 del 4,24%, IC (95%): 2,87-5,63 en el periodo 2007-2015. Este estudio confirmó un hallazgo previo (2015) de la tasa creciente de tumores de este tipo desconocido en el sistema nervioso central (D43)² en el Registro Sueco de Pacientes Hospitalizados.

En el Registro de Cáncer Sueco, la tasa de incidencia estandarizada por edad por 100.000 aumentó para los tumores cerebrales, código ICD 193,0, (Astrocitoma grado I, II, III y IV) durante 1998-2015 con un AAPC en hombres de 0,49%, IC 95%: 0,05- 0,94%, y en mujeres un 0,33 %, IC 95%-0,29-0,45%.

Los datos sobre uso del móvil se obtuvieron mediante cuestionario y se reutilizó información ya publicada en otro estudio de casos-control sobre tumores cerebrales diagnosticados durante 1997-2003 o 2007-2009 publicado en el 2015.

Durante el mismo período de estudio se introdujeron las técnicas de imagen por Tomografía Computerizada (TC) y Resonancia Magnética (RM) y la morfología no

² ICD-10-CM Código **D43.1** Neoplasias de comportamiento incierto del cerebro. Neoplasia de comportamiento incierto del tronco encefálico, del cerebelo y del cuarto ventrículo

siempre es necesaria para el diagnóstico. Si todos los tumores cerebrales basados en el diagnóstico clínico con TC y RM se hubieran informado al Registro de Cáncer, la frecuencia de los diagnósticos basados en citología/histología habría disminuido en el registro. Los autores consideran que hubo claras diferencias entre los resultados de los dos registros y que los resultados indican un subregistro de casos de tumor cerebral en el Registro de Cáncer. Este subregistro puede encubrir un posible efecto de los teléfonos móviles. Por lo tanto, las tendencias de incidencia basadas en el Registro de Cáncer deben usarse con precaución.

Un estudio (Prasad et al., 2017) investigó si la calidad metodológica de los estudios y la fuente de financiación pueden explicar la heterogeneidad de los resultados que habían investigado la relación entre uso del teléfono móvil y los tumores cerebrales. Se realizó una búsqueda bibliográfica (Pub Med y Cochrane) en el periodo de 1996 a diciembre de 2016, complementada por artículos relevantes identificados en las referencias bibliográficas. Se realizó una revisión sistemática y un metaanálisis de 14 estudios, publicados entre 1999 y 2014, que no mostró ningún aumento del riesgo global de tumores cerebrales OR= 1,03; IC (95%): 0,92 -1,14). Sin embargo, el uso del teléfono durante 10 o más años mostró un mayor riesgo de tumores cerebrales con un RR=1,33 IC (95%):1,07-1,66, con datos de 7 estudios. Según estos autores los estudios de mayor calidad estuvieron asociados con los resultados que encontraron alguna asociación. Las fuentes de financiación no se asociaron con la estimación del riesgo.

Un estudio realizado en Polonia (Bortkiewicz et al., 2017), con una metodología similar, investigó la relación del teléfono móvil y el riesgo de tumores cerebrales y de las glándulas salivares. Se realizó una búsqueda sistemática hasta marzo de 2014 que finalmente incluyó 22 estudios (24 en el artículo original, publicaron una corrección posterior, (erratum to Bortkiewicz, 2017) para su metaanálisis. No se observó una relación entre tipos de tumores intracraneales específicos y el uso de todo tipo de móviles (sin tener en cuenta la duración del uso).

Los autores si observaron un riesgo significativo más elevado de todo tipo de tumores intracraneales (todos los tipos de tumores) en usuarios de 10 o más años de uso, de todo tipo de móviles, con un OR=1,46; IC (95%):1,07-1,98, con datos de 9 estudios. También se observó una asociación entre usuarios del teléfono móvil de 10 años o más OR=1,25;

IC (95%):1,04-1,52 con datos de 14 estudios. Los autores concluyen que sus resultados respaldan una asociación entre el uso a largo plazo del teléfono móvil y el riesgo de tumores intra craneales pero señalan la necesidad de realizar más estudios.

Este trabajo, que está en la línea de los estudios caso-control del Grupo de Hardell, reproduce los mismos errores y sesgos que están relacionados con la evaluación de la exposición, los sesgos de recuerdo sobre el uso del teléfono móvil al rellenar de forma retrospectiva los cuestionarios, la inadecuada clasificación (sesgo de selección) entre el grupo de usuarios (ocasionales, diarios, etc.) y no tener en cuenta la larga latencia de estos tipos de tumores. Piense el lector si sería capaz de recordar con precisión el número de llamadas y la duración cuando usaba el teléfono móvil entre 1995 y 2004. Estudios de validación han demostrado que los usuarios ligeros del teléfono móvil tienden a subestimar y los usuarios intensivos a sobrestimar la cantidad de tiempo real de uso, esta tendencia puede llevar a un aumento de la asociación entre tumores y exposición. Por otra parte, una mala clasificación puede diluir la asociación. Sabemos que padecer la enfermedad afecta a la información que se da en los cuestionarios por un sesgo de recuerdo y que los casos suelen sobrestimar el uso previo del teléfono al que culpan de su enfermedad. Por su parte, los controles no piensan en esa posibilidad y tienden a subestimar el riesgo del uso del teléfono móvil. Si los casos sobrestiman y los controles subestiman la exposición se produce una sobreestimación final del riesgo o una asociación espuria.

Los autores de este trabajo incluyen personas que usaron el teléfono móvil durante 2-5 años, tiempo muy corto para provocar un tumor. Otra limitación es que los tumores intra craneales son raros en la población general y es difícil obtener un número suficientemente grande de casos.

La inclusión de las estimaciones de riesgo, muy elevadas, de los estudios de Hardell en este y en otros metaanálisis similares son los que contribuyen a que la OR final (1,46) sea considerada como significativa.

Un estudio realizó un reanálisis de los datos canadienses (Momoli et al., 2017) del estudio caso-control Interphone (13 países en 2001-2004) sobre el uso del teléfono móvil y los tumores cerebrales, neurinoma del acústico y glándulas parótidas. Originalmente, los datos de la parte canadiense se informaron agrupados con otros países en publicaciones

internacionales. En la principal publicación sobre los resultados internacionales los autores concluyeron que los sesgos y errores impedían establecer una relación causal. En este re análisis, con 405 casos y 653 controles, se aplicó un modelo probabilístico de sesgo múltiple para analizar los posibles sesgos de forma simultánea usando la validación de datos de los registros de las facturas (del uso del teléfono móvil) y de los cuestionarios de los no participantes como información sobre el error de recuerdo y la participación selectiva. Este enfoque para el ajuste de sesgos pretende proporcionar un conjunto único de resultados potencialmente más causalmente interpretables después de corregir 2 posibles sesgos simultáneamente. Después de ajustar el modelo para estas fuentes de incertidumbre observaron que las personas con glioma, al comparar el cuartil más alto de uso del teléfono móvil (>558 horas de tiempo de llamada acumulativo) con las que no eran usuarias habituales del teléfono móvil la OR (razón de posibilidades) fue de 2,0; IC (95%): 1,2-3,4). Esta OR de 2,0 para gliomas en el estudio canadiense es mayor que el valor de 1,4 en la categoría de exposición acumulativa más alta (≥ 1.640 horas) en el estudio internacional. Este resultado puede reflejar simplemente la variabilidad del muestreo, los sesgos diferenciales entre los centros de estudio, las diferencias en las estrategias de correspondencia o las diferencias reales en el riesgo relacionado con las diferentes tecnologías de comunicación entre Canadá y otros países de Interphone.

Después del ajuste para los sesgos de selección y recuerdo la OR fue de 2,2; IC (95%): 1,3-4,1. No se observó evidencia de un aumento en el riesgo de meningioma, neurinoma del acústico y glándulas parótidas en relación con el uso del teléfono móvil. Los autores concluyeron que después de este ajuste probabilístico los resultados canadienses del estudio Interphone no se vieron afectados por el sesgo de selección y recuerdo. Aunque este trabajo se publicó en 2017 los datos utilizados se refieren al periodo de ejecución del estudio Interphone (2001-2004). Los autores reconocen las limitaciones metodológicas de su enfoque probabilístico que asume ciertas asunciones que pueden afectar a los resultados del análisis.

Un estudio (Gao et al., 2019) investigó el riesgo de cáncer en relación con el uso de los sistemas de comunicación que utiliza la policía en Gran Bretaña, los Sistema de Radio Terrestre Troncalizada (TETRA) y el riesgo de cáncer (todos los tipos de cáncer). En el estudio se incluyeron 48.518 policías británicos integrados en un estudio de seguimiento de una cohorte ocupacional (Monitoreo de Salud Airwave) desde el año 2004. El

seguimiento duró 5,9 años, se identificaron 716 casos de cáncer. La mediana de la duración promedio mensual del uso del sistema TETRA en el año anterior a la inscripción en el estudio fue de 30,5 minutos. No se observó evidencia de asociación entre el uso de TETRA y el riesgo de cáncer $OR=0,98$; $IC (95\%): 0,93-1,03$. Para los tumores de cabeza y cuello la asociación fue todavía menor $OR= 0,72$; $IC (95\%): 0,30-1,70$.

Una revisión sistemática y un metaanálisis (Leng, 2016) investigó la relación entre el uso del teléfono móvil y el riesgo de tumor cerebral. Se incluyeron 24 estudios después de una primera búsqueda de 238 artículos identificados. Sus resultados no observaron una relación entre la incidencia de tumores cerebrales y el uso del teléfono móvil ni en hombres ni en mujeres. Según estos autores el teléfono móvil puede aumentar la energía de RF absorbida por el cerebro, pero las células gliales de los gliomas no se ven afectadas de forma significativa. Sugieren que se realicen estudios con tiempos de observación superiores a 20 años para saber si hay efectos relevantes sobre la incidencia. Independientemente de sus resultados este autor aporta unas reflexiones interesantes.

Según este trabajo el proceso de carcinogénesis es complejo, multi étápico y dependiente de las fases de iniciación, promoción y progresión de la enfermedad. Puesto que no sabemos si las RF tienen un efecto en la tumorigénesis valorar las tasas incidencia de tumores tiene un valor meramente informativo y limitado. Se necesitan estudios epidemiológicos analíticos que midan con precisión las dosis reales de exposición. Desconocemos si existe un mecanismo específico de la exposición a RF que pueda provocar cáncer. Ante esta falta de información cualquier hipótesis sobre la relación exposición-respuesta y el umbral del posible aumento del riesgo carece de fundamento o es pueril.

6.1.4 Revisiones y evaluación de evidencias de Agencias y Comités Internacionales

El *SSM's (Scientific Council on Electromagnetic Fields)* revisa de forma periódica las evidencias científicas sobre los riesgos para la salud de los CEM. En su informe de 2018 (2018, s.f.) con relación a los tumores se investigó si el uso del teléfono móvil está relacionado causalmente con los tumores cerebrales usando la evolución de las tendencias de las tasas de incidencia anuales en los dos últimos años (octubre de 2015-marzo de

2017). Aunque los resultados no son completamente consistentes apuntan hacia una ausencia de asociación. Los cambios en la codificación de las enfermedades y de los tumores (en los sistemas oficiales de Registro) y en los sistemas diagnósticos y terapéuticos más precoces pueden influir en un aparente aumento o reducción de las tasas de incidencia de estos tumores.

Los pocos cambios de incidencia que se observan en algunos estudios se atribuyen a estos cambios metodológicos más que a un aumento del riesgo derivado de la exposición a CEM-RF.

El mismo SSM publicó otro informe (2019, s. f.) en el que se analizaron las investigaciones publicadas entre abril de 2017 y marzo de 2018 . Según esta revisión no se ha establecido ninguna relación causal entre la exposición a CEM y riesgos para la salud.

Globalmente, las tasas de incidencia de tumores cerebrales están dentro de las variaciones anuales que pueden esperarse desde el punto de vista estadístico y no aportan respaldo a ninguna relación causal atribuible al uso del teléfono móvil. Los resultados de esta revisión no encuentran razones para cambiar los niveles de referencia (límites de exposición) o las recomendaciones sobre la exposición a los CEM.

Persiste la recomendación de usar el modo manos libres al llamar por el teléfono móvil aunque las tendencias de gliomas no aportan respaldo sobre un riesgo mayor de glioma causado por la exposición a los CEM-RF emitidos por el teléfono móvil. Sin embargo, la incertidumbre sobre los efectos a largo plazo justifica esta medida preventiva.

El *Health Council of the Netherlands* publicó una revisión que no fue incluida en el anterior informe del CCARS, pero que por su calidad y exhaustividad se incluye en este informe (Ministerie van Volksgezondheid, 2016). Este informe de revisión sistemática actualiza los datos experimentales y epidemiológicos sobre la relación entre tumores de la cabeza y cuello y el uso del teléfono móvil (hasta mayo de 2015). De los 451 artículos identificados finalmente solo se incluyeron 10 estudios. Globalmente, la revisión muestra alguna débil asociación entre un uso prolongado del teléfono móvil y un aumento de la incidencia de gliomas y de neurinoma del acústico.

Persisten las dudas sobre la verosimilitud de estas asociaciones porque no existe un mecanismo biológico plausible que explique esta relación como ya se ha comentado (Leng, 2016).

Algunos estudios (Hardell) han señalado aumentos del riesgo en periodos muy cortos de exposición algo incompatible con los largos periodos de desarrollo (latencia) entre la primera exposición y la presentación clínica de este tipo de tumores. Tampoco se observó un aumento de la incidencia de estos tumores hallazgo que induce a pensar que no existe relación causal. El Comité Holandés considera que no es posible afirmar que hay una asociación probada entre el uso frecuente y a largo plazo del teléfono móvil y un aumento del riesgo de tumores de cabeza y cuello. Solo puede concluirse que esta asociación no puede ser excluida. Se señala que es improbable que la exposición a CEM-RF emitidos por el teléfono móvil cause cáncer. Por último, se afirma que es más probable que una combinación de sesgos, factores de confusión y azar pueda explicar las observaciones de algunos estudios epidemiológicos que informaron de algún aumento del riesgo. El Comité considera necesario seguir investigando el uso del teléfono móvil a largo plazo realizando estudios de cohorte con una mayor precisión de la exposición.

En Nueva Zelanda un comité (**Interagency Committee on the Health Effects of Non-ionising Fields, s.f.**) promovido por el Ministerio de Salud, elaboró un informe para el seguimiento y revisión de los efectos de los CEM sobre la salud. Este trabajo no es una revisión exhaustiva ni sistemática sobre las investigaciones recientes. Se trata de un informe técnico que resume los principales hallazgos de otras revisiones realizadas por Comités y Agencias nacionales e internacionales y actualiza el informe previo de 2015.

Sus conclusiones no se han visto modificadas por las nuevas evidencias. En relación con los tumores cerebrales señala que aunque algunos estudios han observado una pequeña asociación entre los usuarios intensivos. Es probable que este hallazgo pueda ser atribuible a los sesgos de los datos. La información científica disponible no aporta una evidencia clara y convincente de ningún efecto adverso para la salud. Por esta razón, el Comité y el Ministerio de Salud continúan respaldando los límites vigentes de exposición a CEM-RF establecidos en el país. Estos límites son los propuestos por la ICNIRP en 1998 que fueron revisados en 2009 y 2017. El Comité continuará vigilando las evidencias

que se vayan publicando a la luz del interés público, la naturaleza de la ubicuidad de la exposición las cuestiones que están abiertas.

Una revisión sistemática reciente (*Istituto Superiore di Sanità 2019*) realizada, por expertos de múltiples disciplinas y diferentes instituciones y agencias de Italia ha actualizado las evidencias científicas sobre los tumores cerebrales y los CEM- RF. En relación con las evidencias epidemiológicas sobre el riesgo de cáncer los metaanálisis de los estudios sobre tumores de cabeza, malignos (gliomas) o benignos (meningiomas, neurinomas del acústico, glándula pituitaria o glándulas salivares en relación con uso prolongado igual o superior a 10 años del teléfono móvil no reveló ningún aumento del riesgo. Aunque algunos estudios caso-control han informado de aumentos significativos del riesgo en personas con uso moderado del teléfono móvil estas observaciones, hasta el año 2017, no son consistentes con las tendencias temporales de las tasas de incidencia de tumores cerebrales a pesar del aumento de la exposición. Según los autores las evidencias sobre la asociación entre exposición a RF y riesgo de cáncer se han debilitado desde la clasificación por parte de la IARC (2011) de los CEM-RF como 2b. Los autores consideran que el uso habitual del teléfono móvil no está asociado a un aumento del riesgo de tumores cerebrales. Persiste un cierto grado de incertidumbre respecto al riesgo de usuarios intensivos y a largo plazo, especialmente en los que usaron los teléfonos móviles de 1ª y 2ª generación por sus elevadas emisiones. En relación con las futuras redes 5G, se afirma, que actualmente, no es posible predecir los niveles ambientales de RF asociados al desarrollo de internet de las cosas (IoT). Las emisiones aumentarán, pero tendrán promedios más bajos que los actuales y la rápida variación temporal de las señales debida a la radiación direccionable al usuario (formación de haz) provocará una reducción de los niveles promedio de CEM en las áreas circundantes.

6.1.5 Conclusiones

- La evidencia actual de los estudios in vitro, in vivo y epidemiológicos no indican una asociación con el uso del teléfono móvil y el desarrollo de tumores en los órganos y tejidos más expuestos (Röösli et al., 2019).

- De los resultados de la mayoría de los estudios revisados se deduce que no se observa un efecto carcinógeno derivado de la exposición a CEM-RF a los niveles habituales de la población.
- En algunos estudios (Prasad et al., 2017, Bortkiewicz et al., 2017 y Yang M et al., 2017, Hardell & Carlberg, 2017) se observó un ligero aumento de gliomas y/o glioblastomas en usuarios de largo plazo. Otro autor (Wang Y) cree que la evidencia actual es de baja calidad y de cantidad limitada.
- En otros estudios que señalan un aumento de las tasas de incidencia de tumores, este se debió a tumores benignos (meningiomas) o Glioblastoma multiforme (Philips et al., 2018) aunque este autor considera que estos estudios aportan poca evidencia y otro estudio duda que exista una relación causal (de Vocht, F. 2019).
- Globalmente, la evidencia revisada confirma que es más plausible que el ligero aumento del riesgo de glioma observado en usuarios intensivos y de largo plazo puede ser una combinación de azar, sesgos o factores de confusión y en el análisis combinado de datos, como la propia IARC ya estableció cuando publicó su declaración (2011) sobre la carcinogenicidad como 2b de los CEM-RF emitidos por los teléfonos móviles. Esta afirmación es coherente con el SCENHIR que concluyó, en su última revisión sistemática (2015), que la evidencia de la relación entre glioma y uso del teléfono móvil es más débil desde el año 2011.
- Incluso aceptando que los usuarios intensivos del teléfono móvil tuvieran un aumento del riesgo de glioma este sería muy pequeño y su detección en los estudios epidemiológicos muy difícil y mucho menos en los estudios de evolución de las tasas de incidencia y el número de casos anual de tumores primarios del SNC.
- Las revisiones sistemáticas de las agencias y comités especializados en evaluación del riesgo de los CEM (SSM, *Health Council of Nederland*, o *Istituto Superiore de Sanita*) coinciden en que los resultados apuntan hacia una ausencia de asociación entre el uso del teléfono móvil y el aumento del riesgo de tumores.

6.1.6 Recomendaciones

- 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 recomienda 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.

6.1.7 Anexo 1. Resumen de estudios sobre Tumores Cerebrales y del Sistema Nervioso Central

Referencia	Población y objetivo del estudio	Tipo de estudio	Fecha	Participantes	Resultados
Nilsson et al., 2019	Análisis de evolución de tasas de incidencia en Suecia	Análisis descriptivo estadístico.	1980-2012	30.255 casos de gliomas y meningiomas del Registro de Cáncer de Suecia	No se observó un aumento de las tasas en los 30 años del periodo de estudio
SSM's Scientific Council on EMF 2018	Revisar y actualizar informe previo 2016 sobre CEM y riesgos para la salud (tumores cerebrales)	Revisión sistemática.	Octubre 2015 - Marzo 2017	Estudios de calidad publicados en el periodo de estudio.	Los resultados no son completamente consistentes pero apuntan hacia una ausencia de asociación. Los cambios en la codificación de las enfermedades y de los tumores (en los sistemas oficiales de Registro) y en los sistemas diagnósticos más precoces y terapéuticos pueden influir en un aparente aumento o reducción de las tasas de incidencia de estos tumores.
Vila et al., 2018	Casos y controles de un estudio casos -control (INTEROCC), investigar exposición a cem de RF e Intermedios y relación con gliomas y meningiomas.	Análisis descriptivo con un enfoque novedoso para medir la exposición		4000 casos y 5000 controles, con un 10% de exposición a CEM-RF y 1% expuesto a CEM-intermedios.	No se observó asociación entre exposición y riesgo de tumores
Istituto Superiore di Sanità 2019		Revisión sistemática.	Hasta 2017		.

Health Council of Netherlands 2016	Revisar y actualizar informe previo sobre CEM y riesgos para la salud.	Revisión sistemática.	Mayo 2015	451 artículos identificados, se incluyeron finalmente 10 por su calidad metodológica.	Globalmente la revisión muestra alguna débil asociación entre un uso prologado del teléfono móvil y un aumento de la incidencia de gliomas y de neurinoma del acústico. Es improbable que la exposición a CEM-RF emitidos por el teléfono móvil cause cáncer. Por último, se afirma que es más probable que una combinación de sesgos, factores de confusión y azar pueda explicar las observaciones de algunos estudios epidemiológicos que informaron de algún aumento del riesgo.
Wang Y et al 2016	Investigar relación entre gliomas y uso del teléfono móvil, lateralidad y grado de glioma.	Revisión sistemática cumple criterios:” Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)”	2001-2008	11 estudios de cohortes y caso -control.	Los datos combinados mostraron que no hubo asociación entre el uso del teléfono móvil largo plazo y el riesgo de glioma (OR 1,08, IC 95%:0,91-1,25).Hubo una asociación entre el uso del teléfono móvil y el glioma de bajo grado en los usuarios habituales y en el subgrupo de usuarios de largo plazo. Sin embargo, la evidencia actual es de baja calidad y de cantidad limitada.
Wang P et al., 2018	Investigar posible asociación entre el uso teléfonos móviles inalámbricos y el riesgo de glioma.	Revisión sistemática y metaanálisis.	Búsqueda hasta julio de 2107	10 estudios	El uso teléfonos móviles inalámbricos nunca se asoció significativamente con el riesgo de glioma en el adulto pero podría aumentar el riesgo en los usuarios a largo plazo.

Röösli et al., 2019	Evaluar la evidencia de varios diseños de estudios epidemiológicos sobre tumores cerebrales, glándulas salivares y el uso del teléfono móvil.	Revisión sistemática y metaanálisis.	Búsqueda hasta diciembre de 2017	4.197 casos de personas expuestas con glioma, 2.686 casos de meningioma y 1.546 casos de neurinoma del acústico.	La evidencia actual de los estudios in vitro, in vivo y epidemiológicos no indican una asociación con el uso del TM y el desarrollo de tumores en los órganos y tejidos más expuestos. Cualquier riesgo potencial no detectado será pequeño desde una perspectiva individual y puede implicar largos periodos de latencia > 15 años, subtipos de tumores raros y un de uso del teléfono móvil durante la infancia.
Prasad et al., 2017	Investigar si la calidad metodológica de los estudios y la fuente de financiación pueden explicar la heterogeneidad de los resultados.	Revisión sistemática y un metaanálisis.	Búsqueda a 1996 a diciembre de 2016	14 estudios publicados entre 1999-2014	No se observó ningún aumento del riesgo global de tumores cerebrales (OR 1,03, IC 95%: 0,92 -1,14), sin embargo, el uso del teléfono durante 10 o más años mostró un mayor riesgo de tumores cerebrales con un RR de 1,33 95%:1,07-1,66. Según estos autores los estudios de mayor calidad estuvieron asociados con los resultados que encontraron alguna asociación. Las fuentes de financiación no se asociaron con la estimación del riesgo.
Bortkiewicz et al., 2017	Investigar la relación entre uso del TM y tumores cerebrales	Revisión sistemática y un metaanálisis	Búsqueda a sistemática hasta	22 estudios	No se observó relación entre todos los tipos de tumores intracraneales y el uso de todo tipo de móviles (sin tener en cuenta la duración del uso). Si observaron un riesgo significativo más

				marzo de 2014.		elevado de todo tipo de tumores intracraneales (en usuarios de 10 o más años de uso, de todo tipo de móviles, con un OR de 1,46, IC 95%:1,07-1,98.
Pouchieu et al., 2018	Investigó la evolución de las tendencias de las tasas de incidencia de tumores del SNC en una región (Gironde) de Francia.	Cálculo y análisis descriptivo estadístico	Periodo de 2000-2012	3.515 tumores del SNC	Se observó un aumento de la incidencia (cambio porcentual anual) de 2,7% IC 95%:1,8-3,7. Esta tendencia se explica principalmente por un aumento de los meningiomas.	
Philips et al., 2018	Investigar las tendencias de las tasas de incidencia de tumores malignos del cerebro (glioblastomas)	Cálculo y análisis descriptivo estadístico	Periodo de 1995-2015	Se incluyeron 81.135 glioblastomas	Se observó un aumento estadísticamente significativo de la tasa de glioblastoma multiforme en todas las edades. Consideran que este tipo de análisis de la tendencia de las tasas no aporta evidencia adicional sobre el papel desempeñado por ningún riesgo ambiental específico.	
Olsson et al., 2019	Investigar la supervivencia de los pacientes de glioma que estaban integradas en un estudio caso control en Dinamarca, Finlandia y Suecia en relación con el uso del TM	Cálculo y análisis descriptivo estadístico y epidemiológico		806 personas diagnosticadas de glioma.	No se observó evidencia de una reducción de la supervivencia en relación con el uso del teléfono móvil.	
de Voocht, 2016	Analizar si la incidencia de diversos subtipos de tumores cerebrales estaba	Análisis estadístico (Bayesiano de	Periodo de 1985-2014	Análisis de tasas de diversos subtipos de tumores cerebrales (tumor no especificado,	No se observó un aumento de glioma maligno, glioblastoma multiforme o tumores malignos en el lóbulo parietal. Si se observó un aumento de tumores	

	relacionada con el uso del teléfono móvil.	series temporales)	Periodo	glioblastoma multiforme, tumor maligno del lóbulo temporal y parietal)	maligno en el lóbulo temporal, el análisis de las series indicó un aumento (RR 1,35, IC 95%:1,09-1,59) en el periodo de latencia de 10 años pero no en el de 15 años, algo que es sorprendente e implausible
de Vocht, 2019	Analizar la distribución temporal y espacial del glioblastoma y otros subtipos de tumores malignos en relación con el uso del teléfono móvil	Análisis estadístico Bayesiano de series temporales y sintético contrafactual	2006-2014	Análisis de tasas de diversos subtipos de tumores cerebrales (tumor no especificado, glioblastoma multiforme, tumor maligno del lóbulo temporal y parietal)	Es improbable que exista una correlación causal entre el uso del teléfono móvil y aumento de la incidencia de glioblastoma multiforme en el lóbulo temporal y frontal y probablemente cerebelo.
Momoli et al., 2017	Reanálisis de estudio Interphone	Modelo probabilístico de sesgo múltiple para analizar los posibles sesgos de los datos canadienses de Interphone	2001-2004	405 casos y 653 controles. Datos sobre tumores cerebrales, neurinoma del acústico y glándulas parótidas.	OR de 2,0 (95% IC:1,2-3,4) para gliomas en el cuartil más alto de uso del teléfono móvil (>558 horas de tiempo de llamada acumulativo). No se observó evidencia de un aumento en el riesgo de meningioma, neurinoma del acústico y glándulas parótidas en relación con el uso del teléfono móvil. Los resultados canadienses del estudio Interphone no se vieron afectados por el sesgo de selección y recuerdo.
Keinan-Boker et al., 2018	Analizar si las tasas de incidencia de tumores cerebrales estaba relacionada con el uso del teléfono móvil.	Análisis descriptivo estadístico y epidemiológico.	1990 a 2015	Análisis de tasas tumores cerebrales, intracraneales y del SNC.	Los resultados indicaron que en esos 26 años de análisis no se observaron cambios significativos en la incidencia de estos tumores.

Karipidis et al., 2018	Analizar las tasas de incidencia de tumores cerebrales para valorar la influencia de los métodos diagnósticos y el aumento del uso del teléfono móvil	Análisis descriptivo estadístico y epidemiológico	1982-1992, 1993-2002 y 2003-2013.	16.825 casos del Registro Nacional Australiano de Casos de Cáncer de Cerebro diagnosticados en el periodo de 1982 a 2013.	La incidencia prevista fue más elevada que la observada para el periodo de latencia de 15 años. Los autores concluyeron que en Australia no ha habido un aumento de ningún tipo de tumor cerebral que pueda ser atribuido al uso del teléfono móvil.
Chapman et al., 2016	Investigar si la incidencia de tumores cerebrales había aumentado en este país desde la introducción del teléfono móvil en 1987.	Análisis descriptivo estadístico y epidemiológico. Modelado de tasa previstas según RR previos	1982-2012	19.858 casos de cáncer	La incidencia de tumores cerebrales en el periodo de 1982-2012 no aumentó en ningún grupo de edad excepto en el de 70 a 84 años pero esta incremento se inició en 1982, antes de la introducción del teléfono móvil.
Grell et al., 2016	Investigar como mejorar la precisión de la localización de los gliomas en el cerebro en las investigaciones sobre el uso del teléfono móvil.	Modelizar la distribución intracraneal de los gliomas en relación con el uso del teléfono móvil utilizando datos de la localización exacta del tumor procedentes del estudio Interphone.	2000 y 2004	1.530 localizaciones de gliomas diagnosticados por radiología, se incluyeron 792 personas con glioma que eran usuarias habituales del teléfono móvil y que informaron de su lado preferido al hablar con	Hay un exceso estadísticamente significativo de gliomas en el lado preferido (auto informado por los pacientes) para hablar por teléfono. Sin embargo, los autores afirman que esta tendencia no estuvo relacionada con la cantidad de uso del teléfono móvil. Este hallazgo hace improbable que exista una relación causal entre el riesgo de cáncer y el uso del teléfono móvil.
Sato et al., 2019	Simulación de la incidencia de tumores	Modelado de tasa previstas	Nacidos en	7.500 individuos completaron el	La tasa de incidencia calculada para el año 2020 fue de 5,48/100.000 para la

	cerebrales malignos en cohortes de nacimiento que comenzaron a usar el teléfono móvil cuando este se hizo popular en Japón.	según Riesgo Relativo de 1,4 previos	décadas de 1960,70 y 80.	cuestionario lo que representa un 1% del total de cuestionarios enviados. Comparación desde 1990.	cohorte nacida en 1960, 3,16 para la de 1970 y 2,29 para la de 1970. Los autores concluyeron que con el escenario modelado es previsible un aumento de la incidencia en 2020
Leng, 2016	Investigar la relación entre el uso del teléfono móvil y el riesgo de tumor cerebral.	Revisión sistemática y un metaanálisis (Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions and the Quality of Reporting of Meta-Analyses).	No detallada, probable hasta 2015	24 estudios después de una primera búsqueda de 238 artículos identificados.	Sus resultados no observaron una relación entre la incidencia de tumores cerebrales y el uso del teléfono móvil ni en hombres ni en mujeres. Sugiere realizar estudios con tiempos de observación superiores a 20 años para saber si hay efectos relevantes sobre la incidencia.
Natukka et al., 2019	Investigar las tendencias de incidencia de tumores malignos (gliomas) en función de su morfología y localización.	Análisis descriptivo estadístico y epidemiológico	Hasta el año 2016	4.730 pacientes con glioma maligno y de 3.590 pacientes con datos menos detallados	No se observó un incremento global de las tasas de incidencia de gliomas malignos. La incidencia de glioma fue de 7,7/100.000 en el periodo 1990-2006 y 7,3 en el de 2007-2016.
Yang et al., 2017	Investigar la asociación potencial entre el uso del teléfono móvil y riesgo de glioma basado en el tiempo de uso del teléfono móvil, lateralidad y grado de glioma.	Revisión sistemática y metaanálisis, cumple los criterios "Preferred Reporting Items for Systematic	1980 y 2016	11 estudios que incluyeron a 6.028 casos y 11.488 controles publicados entre 2001 y 2015	Se observó una un aumento del riesgo de glioma en personas que usaron el teléfono móvil durante más de 10 años. Hubo una asociación entre el uso del teléfono móvil y el glioma de bajo grado en los usuarios habituales y en el subgrupo de usuarios a de largo plazo. No se observó asociación entre con

		<p>Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)”</p>			<p>haber sido usuario de teléfono móvil, uso ipsilateral y grado elevado de glioma. Los resultados sugieren que el uso a largo plazo del teléfono móvil no puede estar asociado a un incremento del riesgo de glioma. Sin embargo, la evidencia actual es de baja calidad y de cantidad limitada. Por ello, los autores consideran necesario realizar estudios prospectivos a largo plazo con muestras más amplias y una calidad elevada.</p>
<p>Hardell & Carlberg, 2017</p>	<p>Analizar a la relación entre uso del teléfono móvil e inalámbrico y las tasas de incidencia de tumores cerebrales. Calcular el cambio de porcentaje anual promedio (AAPC, en sus siglas en inglés</p>	<p>Reanálisis de estudio caso-control sobre tumores cerebrales publicado en 2015. Los datos sobre uso del móvil se obtuvieron mediante cuestionario.</p>	<p>Casos diagnosticados durante 1997-2003 y 2007-2009</p>	<p>Datos del Registro de Pacientes Hospitalizados y Registro de Cáncer de Suecia, sobre tumores de <i>tipo desconocido</i> en el sistema nervioso central (D43) y ICD 193.0, (Astrocitoma grado I, II, III y IV) y uso del teléfono móvil en participantes de un estudio casos control previo.</p>	<p>Se observó un aumento en un 2.0%, IC del 95%:1.2-2.8 con datos de ambos sexos combinados de tumores cerebrales de <i>tipo desconocido</i> en el sistema nervioso central (D43). La AAPC más alta se encontró en el grupo de edad de 20 a 39 años Este estudio confirmó un hallazgo previo (2015) de la tasa creciente de tumores de este tipo desconocido en el sistema nervioso central (D43). La tasa de incidencia estandarizada por edad por 100,000 aumentó para los tumores cerebrales, código ICD 193.0, (Astrocitoma grado I, II, III y IV) durante 1998-2015. Detectan un subregistro de casos de tumor cerebral en el Registro de Cáncer que puede encubrir un posible efecto de los teléfonos móviles.</p>

SSM's Scientific Council on EMF 2019	Revisar y actualizar informe previo 2018 sobre CEM y riesgos para la salud (tumores cerebrales)	Revisión sistemática	Abril de 2017-- Marzo 2018	Estudios de calidad publicados en el periodo de estudio.	No se ha establecido ninguna relación causal entre la exposición a cem y riesgos para la salud. Globalmente, las tasas de incidencia de tumores cerebrales están dentro de las variaciones anuales que pueden esperarse desde el punto de vista estadístico y no aportan respaldo a ninguna relación causal atribuible al uso del teléfono móvil. Los resultados de esta revisión no encuentran razones para cambiar los niveles de referencia (límites de exposición) o las recomendaciones sobre la exposición a los CEM.
---	---	----------------------	-------------------------------	--	---

Tabla 12 Resumen de estudios sobre Tumores Cerebrales y del Sistema Nervioso Central
(Fuente: Elaboración Propia (F. Vargas))

6.2 Efectos de las Radiofrecuencias sobre la salud e Hipersensibilidad Electromagnética (HE).

El objetivo de este capítulo es actualizar, evaluar y resumir la bibliografía científica publicada desde la última revisión del CCARS, sobre la hipersensibilidad y otros efectos relevantes sobre la salud atribuidos a la exposición a los CEM-RF.

Se resumen las evidencias, en un formato adecuado y comprensible, en términos de cantidad, calidad y actualidad para que el debate y la toma de decisiones se realice contando con información objetiva, consistente y neutral.

6.2.1 Definición de la Hipersensibilidad Electromagnética (HE)

El uso generalizado de las tecnologías informáticas y de las telecomunicaciones (pantallas de ordenadores, tabletas, sistemas de seguridad, antenas de telefonía móvil, Radio, TV, sistemas Wi-Fi, teléfonos móviles e inalámbricos, uso de redes sociales, juegos electrónicos, etc.), ha facilitado y mejorado las condiciones de vida, comunicación, ocio y trabajo de la población. Al mismo tiempo ha generado un aumento de la exposición a los campos electromagnéticos artificiales.

La percepción de la exposición ha inducido, en algunas personas, una preocupación excesiva por sus hipotéticos efectos sobre la salud. Estas personas expresan una amplia variedad de síntomas, no específicos y subjetivos de malestar, que atribuyen a la exposición a los campos electromagnéticos (CEM) ambientales. Este conjunto de síntomas (síndrome) se conoce como “*electrosensibilidad*” o “*hipersensibilidad electromagnética*” (HE). El próximo despliegue de las tecnologías 5G puede originar un aumento de la preocupación social por los efectos de las radiofrecuencias sobre la salud humana.

La OMS en el año 2004 adoptó el nombre de “*Intolerancia Ambiental Idiopática*” atribuible a CEM (IAI-CEM). La bibliografía científica utiliza de forma indistinta los conceptos de IAI-CEM y el término Hipersensibilidad Electromagnética (HE, o EH por sus siglas en inglés). Según la OMS los síntomas más comunes que experimentan las personas que dicen tener electrosensibilidad son los dermatológicos (enrojecimiento,

hormigueo y sensaciones de quemadura) y los síntomas neurasténicos y vegetativos (fatiga, cansancio, dificultades de concentración, vértigo, náuseas, palpitación del corazón y trastornos digestivos) que afectan al sistema nervioso.

Desde la publicación del anterior informe del CCARS no se han producido cambios en la Clasificación Internacional de las Enfermedades (CIE) de la OMS. El conjunto de síntomas auto percibidos de la HE no forma parte de ningún síndrome reconocido por la comunidad científica y no es una enfermedad incluida por la OMS en la CIE. No existe una definición de caso, ni un protocolo validado y aceptado por la comunidad científica para su diagnóstico y tratamiento. Por estas razones, la HE sigue sin ser reconocida ni clasificada en la CIE.

6.2.2 ¿Son seguros los límites de exposición a CEM-RF?

El debate sobre la relación de los CEM y la HE suele centrarse en si los límites actuales son seguros o si están obsoletos en el capítulo Revisión de los niveles de exposición/recomendaciones de instituciones y organismos de estandarización. se resumen las nuevas directrices de la ICNIRP.

Con el fin de comprender los niveles de exposición de la población conviene recordar el significado de las “*Restricciones básicas y los niveles de referencia*” que figuran en el Real Decreto 1066/2001, que incorporó a nuestra legislación la Recomendación 1999 del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea, basada en las directrices de la ICNIRP-OMS.

Las restricciones básicas de la exposición a los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (CEM) variables en el tiempo, son indicadores cuantitativos de los niveles de exposición. Se basan directamente en los efectos conocidos sobre la salud y en consideraciones biológicas. La tasa de absorción de la energía de un CEM por parte de una determinada cantidad de masa de un tejido, se mide en términos de Tasa de Absorción Específica (SAR, en inglés). La unidad de SAR es el vatio por kilogramo de tejido expuesto (W/kg). Las normativas internacionales de protección radiológica consideran que sólo exposiciones a CEM que dan lugar a valores de **SAR superiores a 4 W/kg** promediados en todo el cuerpo son potencialmente capaces de provocar efectos adversos en humanos (RD1066/2001, ICNIRP-OMS y UE).

Una forma de caracterizar los CEM es a través de su **densidad de potencia, que se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2)**. Esta densidad de potencia es la magnitud que hay que restringir para prevenir un calentamiento excesivo de la superficie corporal a estas frecuencias. La densidad de potencia establecida por la legislación varía **4,5 y 10 W/m^2** en función de las frecuencias.

Densidades de potencia muy superiores a $10 W/m^2$ son capaces de provocar efectos adversos a corto plazo, tales como cataratas (si inciden directamente sobre el ojo) o quemaduras.

Los “**Niveles de referencia**” son otro tipo de indicador que permite una evaluación más rápida y sencilla de la exposición para determinar la probabilidad de que se sobrepasen las restricciones básicas. Algunos niveles de referencia se derivan de las restricciones básicas pertinentes utilizando mediciones o técnicas computerizadas y algunos se refieren a la percepción y a los efectos adversos indirectos de la exposición a los CEM. Los niveles de referencia de la exposición sirven para ser comparados con los valores medidos en los trabajos dirigidos a comprobar, sobre el terreno, el nivel ambiental de exposición de la población.

En la siguiente Tabla 13 se resumen los niveles legales.

Sistema-frecuencia. MHz	mW/cm²	$\mu W/cm^2$	V/m	W/m^2,
900	0,45	450	41,2	4,5
1800	0,90	900	58,3	9
2000	1	1000	61	10

Tabla 13 Niveles de referencia vigentes (RD1066/2001). Elaboración. F. Vargas

Para valorar el posible impacto de la exposición de la población es necesario obtener información objetiva e independiente sobre los niveles habituales a los que nos exponemos procedentes de múltiples fuentes simultáneas.

Los límites de campo eléctrico establecidos en el RD1066/2001 son de **61 V/m** en la banda de 2-300GHz.

El artículo 96.8 del Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico, aprobado por el Real Decreto 123/2017, de 24 de febrero, establece que: *“Los servicios técnicos del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital elaborarán planes de inspección para comprobar la adaptación de las estaciones radioeléctricas a lo dispuesto en este reglamento. Con carácter anual, dicho ministerio, sobre la base de los resultados obtenidos en las citadas inspecciones y de las certificaciones presentadas por los operadores, elaborará y hará público un informe sobre la exposición a emisiones radioeléctricas”*.

Por tanto, se dispone de una fuente oficial que recoge y publica información objetiva sobre los niveles de exposición de la población española en un informe anual.

Durante el año 2018, según el informe anual sobre la exposición del público en general a las emisiones radioeléctricas de estaciones de radiocomunicación 2019 (Dirección general de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información) **se realizaron 1.959.472 mediciones y el valor máximo alcanzado fue de 128,38 μ W/cm²**. Todos los niveles medidos se encuentran muy por debajo de los límites de exposición establecidos (niveles de referencia, en la normativa). Resultados similares se observan en estudios realizados por otras administraciones (Generalidad de Cataluña o Ayuntamiento de Bilbao).

Además de esta fuente de información disponemos de numerosos estudios sobre los niveles medios de la exposición de la población. En la Tabla 14 se incluyen algunos ejemplos con el fin de describir la evolución en el tiempo de los niveles de exposición con diferentes bandas de RF.

Referencia	Ámbito del estudio -población	Nivel observado	Banda
Joseph W et al. 2010	Redes en funcionamiento, Suecia.	Nunca superior a 2,7 V/m	RF, LTE
Lunca et al. 2014	Medidas en ambientes exteriores e interiores (escuelas, hospitales, etc.) Rumania	Exteriores: Nivel máximo: 3,47 V/m. Interiores: nivel máximo: 2,27V/m	RF,4G/LTE
Gajsek P et al. 2015	Análisis comparativo de estudios realizados en Europa	Entre 0,08 y 1,8 V/m	RF, Radio, TV, Antenas de Telefonía.
Birks et al. 2018	Población infantil (8-19 años) en 5 países europeos. Exposímetros personales	Nivel promedio: 75,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	87MHz a 6GHz
Ramírez et al. 2019	Voluntarios. Albacete	Nivel promedio: 37,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	RF DECT,Wi-Fi, Radio ,TV
Ramírez et al. 2019	Voluntarios. Feria Albacete	Nivel promedio ³ : 791,8 $\mu\text{W} / \text{m}^2$	RF, DECT, Wi-Fi, Radio, TV
Sagar et al. 2018	Análisis exposición en diferentes ambientes	Nivel promedio: Entre 0,23 y 1,97V/m	RF
Jailian et al. 2019	Análisis exposición en diferentes ambientes	Entre 0,04 y 0,76 V/m en hogares, colegios y oficinas.	RF

Tabla 14 Niveles de exposición ambiental a Radiofrecuencias. Elaboración: F. Vargas, A. Nájera y N. Miranda 2019.

³ La exposición media registrada por CEM-RF de las estaciones base (downlink-DL) en los días de apertura de la Feria (mañana, tarde y noche) para las tres zonas estudiadas

Un estudio (Gajsek P et al. 2015) situó la exposición de niños y niñas europeos a campos electromagnéticos muy por debajo del máximo recomendado. **La población infantil europea está expuesta a mayores niveles de campos electromagnéticos de radiofrecuencia en las ciudades, pero su exposición total está muy por debajo los límites de referencia.** El objetivo del estudio fue **medir la exposición ambiental a RF en 529 niños y niñas entre 8 y 18 años de edad, en cinco países europeos:** Dinamarca, Países Bajos, Eslovenia, Suiza y España. La exposición personal a radiofrecuencias (entre 87,5 MHz y 6 GHz) **se midió con dosímetros portátiles** que los niños y niñas llevaban en su cintura o en una mochila durante el día y dejaban al lado de su cama durante la noche, durante tres días consecutivos. Se definieron seis tipos de bandas de frecuencia: **la total y las relacionadas con teléfonos inalámbricos; antenas de radio y televisión; teléfonos móviles; antenas de telefonía móvil y Wi-Fi.**

Los resultados muestran que **el promedio de exposición personal total fue de 75,5 micro Watios por metro cuadrado ($\mu\text{W}/\text{m}^2$), un valor muy por debajo del nivel de referencia de 4,5 a 10 W/m^2 ($450\text{-}1.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$)** establecido por la ICNIRP. Las antenas de telefonía móvil son las que más contribuyeron a la exposición total, seguidas de las antenas de radio y televisión (principalmente frecuencias FM). El Wi-Fi y los teléfonos inalámbricos contribuyeron muy poco. En general, la exposición fue más elevada en los ambientes urbanos, fuera de casa, durante desplazamientos y movimientos y durante el día (versus la noche).

Birks et al., 2018 observaron que la exposición de niños y niñas europeos a campos electromagnéticos está muy por debajo del máximo recomendado. La población infantil europea está expuesta a mayores niveles de campos electromagnéticos de radiofrecuencias en las ciudades pero su exposición total está muy por debajo de los límites de referencia. El objetivo del estudio fue medir la exposición ambiental a CEM-RF en 529 niños y niñas entre 8 y 18 años de edad, en cinco países europeos: Dinamarca, Países Bajos, Eslovenia, Suiza y España. La exposición personal a radiofrecuencias (entre 87,5 MHz y 6 GHz) se midió con dosímetros portátiles que los niños y niñas llevaban en su cintura o en una mochila durante el día y dejaban al lado de su cama durante la noche, durante tres días consecutivos. Se definieron seis tipos de bandas de frecuencia: la total y las relacionadas con teléfonos inalámbricos; antenas de radio y televisión; teléfonos móviles; antenas de telefonía móvil y Wi-Fi.

Los resultados muestran que **el promedio de exposición personal total fue de 75,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, un valor muy por debajo del nivel de referencia de 4,5 a 10 W/m^2** establecido por la [Comisión Internacional para la Protección contra Radiación No-Ionizante](#) (ICNIRP). Las antenas de telefonía móvil son las que más contribuyeron a la exposición total, seguidas por las antenas de radio y televisión (principalmente frecuencias FM). El Wi-Fi y los teléfonos inalámbricos contribuyeron muy poco. En general, la exposición fue más elevada en los ambientes urbanos, fuera de casa, durante desplazamientos movimientos, y durante el día (versus la noche).

En España dos estudios (Ramirez-Vazquez et al., 2019a y Ramirez-Vazquez et al., 2019b) caracterizaron la exposición personal a CEM en la población de Albacete y en un gran evento como la Feria de Albacete donde se incrementa considerablemente el número de antenas y de terminales. En todos los casos, la exposición nunca superó los límites recomendados situándose, en promedio, entre 10.000 y 100.000 veces por debajo de los límites establecidos por la ICNIRP. En el primer estudio realizado en Albacete con la participación de 75 voluntarios, para medir la exposición personal a CEM-RF en diferentes zonas, mostró que la exposición promedio total de las 14 bandas de frecuencia medidas fue de **37,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$** , y los rangos cayeron entre 0,2 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, registrados en bandas de televisión y un máximo de 264,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ en DECT. Las principales fuentes de exposición fueron DECT, seguidas de teléfonos móviles y Wi-Fi. En el segundo trabajo también se evaluó la percepción del riesgo por parte de participantes en el estudio y una muestra no participante, y se identificó que compartir los resultados con los participantes redujo su percepción de riesgo (Ramirez-Vazquez et al., 2019b).

Dos revisiones sistemáticas recientes (Sagar et al.2018 y Jailian et al. 2019) han evaluado la exposición personal a CEM de 47 estudios en diversos países europeos y considerando diversos microambientes (exteriores, interiores, vehículos, etc.) y con diferentes metodologías. En todos los casos, la exposición media se encontró en la horquilla 0,04-1,97 V/m.

Como ejemplos comparativos de la exposición cotidiana cabe señalar que la radiación de microondas de fondo cósmico por metro cuadrado es de 3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, la potencia de una antena de un router Wi-Fi es de 100-200 mW, la potencia del consumo del cerebro es de 20-40 W y la potencia media que generamos al pedalear en una bicicleta estática es de

200 W. Todos los estudios demuestran que los niveles de exposición se encuentran muy por debajo de los límites recomendados.

La Agencia Federal Suiza de Salud Pública (FOPH) facilita una información detallada de los CEM que generan diferentes tecnologías, aparatos domésticos y dispositivos electrónicos. Disponible en:

<https://www.bag.admin.ch/bag/en/home/gesund-leben/umwelt-und-gesundheit/strahlung-radioaktivitaet-schall/elektromagnetische-felder-emf-uv-laser-licht/emf.html>

6.2.3 Revisión de las evidencias sobre HE y otros efectos sobre la salud.

En este capítulo se resumen las evidencias científicas de mayor calidad, procedentes de fuentes fiables, de revistas y bases de datos que incluyen estudios sometidos a las normas de revisión por pares y las normas internacionales de publicación. Los criterios de redacción de este apartado están resumidos en el apartado de Metodología

Un análisis detallado y riguroso del uso sesgado de la información sobre las evidencias ha sido publicado en la revista *Child Development* (Grimes & Bishop, 2018). Estos autores analizan, como ejemplo un artículo publicado en la misma revista (Sage y Burgio, 2017, promotores de Bioinitiative report) que atribuye a los CEM un número disparatado de enfermedades (desde el autismo al cáncer). Los autores dan las claves para interpretar los estudios sobre los efectos de un factor ambiental en la salud que tienen una apariencia científica pero que no merecen ninguna consideración. Su objetivo es facilitar a los autores, editores y revisores de artículos unas preguntas (incluyen 7) que deben ser formuladas para verificar la calidad de una afirmación sobre la causalidad para resumir los criterios que nos permiten distinguir los buenos estudios científicos de las “afirmaciones” revestidas de una aparente legitimidad utilizando un lenguaje pseudocientífico. Para completar estas directrices pueden añadirse tres más.

1. ¿Existe un mecanismo (físico o biológico) plausible que explique el efecto?
2. ¿La evidencia se ha publicado en fuentes que utilizan la revisión por pares?
3. ¿Se han considerado todos los estudios relevantes?
4. ¿Hay una sub representación de resultados de algunos estudios?

5. ¿Se afirma que el factor ambiental afecta a múltiples enfermedades y trastornos?
6. ¿Se afirma que hay una relación causal basada en un experimento, correlación o analogía?
7. ¿Se usa un lenguaje técnico, científico para confundir (complicar) más que clarificar?
8. ¿Cumple los criterios de causalidad de B. Hill?
9. ¿Se han evaluado criterios estandarizados de calidad de evidencia? (ej. GRADE)?
10. ¿Los resultados obtenidos proceden de los niveles de mayor calidad: revisiones sistemáticas, meta análisis o ensayos clínicos aleatorizados?

Fuente: (Grimes & Bishop, 2018). Traducción y ampliación: Vargas, F.

Las respuestas a estas preguntas nos permiten valorar si un trabajo científico cumple los criterios de validez interna y externa estandarizados por la comunidad científica. Estos criterios son coherentes con las funciones del CCARS dirigidas a facilitar a la sociedad una información objetiva, neutral y basada en las mejores evidencias científicas.

Desde el despliegue y uso masivo de las telecomunicaciones inalámbricas (telefonía móvil, DECT, Wi-Fi, etc.) se han realizado numerosas investigaciones dirigidas a identificar efectos adversos sobre la salud.

La mayoría de los estudios experimentales de laboratorio han utilizado una sola frecuencia o intensidad (Sienkiewicz, Z. et al 2017). La realidad es que la población está expuesta a una amplia mezcla de frecuencias y señales de diferentes intensidades. Hasta la fecha los numerosos programas de investigación realizados (Alemania, Francia, Reino Unido, Australia, Canada, EEUU, UE: EFHRAN; Mobikid, Gerónimo, Rembrandt, COSMOS, OMS: EMF-NET, etc.) no han identificado efectos adversos para la salud pública que recomienden una reducción de los límites actuales de exposición.

En algunos estudios epidemiológicos se ha observado alguna asociación (débil) entre usuarios intensivos del teléfono móvil y algún tipo de tumor cerebral pero pocos estudios en animales respaldan esta asociación y no hay ningún estudio que demuestre un

mecanismo físico y biológico plausible que la explique. La relación con otras enfermedades como la HE está, todavía, menos establecida.

Otro aspecto relevante es que los estudios experimentales sobre carcinogénesis no han estudiado los efectos que incluyan al mismo tiempo las fuentes muy próximas y las lejanas al cuerpo humano que son las típicas de la exposición del público general (Sienkiewicz et al., 2017). Estos autores dan algunos ejemplos de este tipo de exposición obtenidos de estudios que han utilizado dosímetros personales: la exposición media localizada de la cabeza de un individuo mientras llama por teléfono se resume en la Tabla 15

Frecuencia (MHz). Fuente	SAR,10 g Cabeza mW/kg
880-915. GSM	268
1710-1785. GSM	180
1920-1980. UMTS	5
1880-1990. DECT	45
2400-2484. Wi- Fi	2
5150-5872. Wi-Fi	2

Tabla 15 Exposición media localizada de la cabeza cuando se llama por un teléfono móvil

(Fuente: Sienkiewicz, Z. et al 2017. Resumido y adaptado (F. Vargas))

Es evidente que la dosis de energía absorbida era bastante más elevada cuando se usaban los antiguos teléfonos GSM. La progresiva introducción de las tecnologías 3G y 4G ha permitido reducir la exposición, mientras se habla por teléfono, de forma muy significativa. Este proceso ha sido paralelo al cambio del patrón de uso de la telefonía móvil y sus servicios asociados que han reducido el uso de las llamadas y como consecuencia la exposición de la cabeza (Wi-Fi, whatsapps, redes sociales, etc.). Estos autores concluyen que mientras no se conozca un mecanismo biológico plausible la investigación de la carcinogénesis en animales no es de elevada prioridad.

De los estudios citados se observa que las magnitudes de las exposiciones son extremadamente bajas como para provocar efectos adversos. Sin embargo, hay sectores de la población que siguen pensando que hay una relación causal entre los CEM y la HE. Algo similar a lo que sucede con el movimiento anti-vacunas en toda Europa, incluido

nuestro país y EEUU, una percepción que ha provocado brotes de sarampión en varias provincias porque los padres son contrarios a vacunar a sus hijos.

Un pequeño porcentaje de la sociedad cree que las vacunas no son seguras o efectivas o incluso que provocan autismo a pesar de las evidencias científicas. Otro porcentaje no cree que el cambio climático haya sido provocado por la intervención humana. Estas creencias difundidas en las redes sociales o páginas web sobre salud y factores ambientales se basan en un profundo rechazo en las élites y los expertos que trabajan para agencias competentes (oficiales o gubernamentales) que suelen ser “etiquetados” como no independientes entre personas desengañadas del sistema político o que sufren las desigualdades sociales.

6.2.4 Evaluación de evidencias de Agencias y Comités Internacionales

El SSM's *Scientific Council on Electromagnetic Fields* revisa de forma periódica las evidencias científicas sobre los riesgos para la salud de los CEM. En su informe número 13 (2018, s. f.) confirma que, no se han publicado estudios de calidad suficiente y que las nuevas publicaciones no han identificado características fisiológicas que puedan ayudar al diagnóstico o al desarrollo de opciones terapéuticas efectivas. Estas conclusiones generales sobre HE no se han visto modificadas por una actualización de las evidencias según el último informe publicado por el mismo comité sueco (SSM 2019, s. f.) que, abarca los estudios publicados en el periodo de abril 2017 a marzo de 2018.

Actualmente no hay sólidas evidencias científicas que avalen una relación causal entre exposición a CEM-RF y problemas de salud o de HE. Los estudios experimentales de provocación con voluntarios que declaran padecer una Intolerancia Ambiental Idiopática atribuida a los CEM (IAI-CEM) no consiguen demostrar que sean capaces de detectar cuando están expuestos a los CEM.

En una revisión sistemática de la ANSES (2016) sobre los efectos potenciales de las RF en la infancia se concluyó que sus resultados no permiten establecer una relación causal entre los efectos biológicos descritos en modelos celulares, animales o humanos y cualquier posible efecto sobre la salud. Por esta razón, carece de fundamento proponer nuevos límites de exposición de la población relacionados con la protección de la salud. Esta conclusión es consistente con la opinión de otras agencias y organismos (OMS, UE,

FCC) que han actualizado las evidencias científicas con el objetivo de valorar una hipotética modificación de los límites de la ICNIRP.

La ANSES considera que la principal fuente de exposición a las RF procede de los teléfonos móviles y que la exposición de la población general y sus variaciones en el tiempo necesitan ser mejor estudiadas. Para limitar la exposición de los grupos más vulnerables la ANSES formula algunas recomendaciones que en nuestro país ya se están aplicando desde hace bastantes años, entre ellas los estudios previos de exposición antes de la implantación de una nueva infraestructura o documentar las principales instalaciones que provocan los niveles más altos de exposición de la población y valorar como se podría reducir aplicando medios técnicos. Otras de las recomendaciones son las siguientes:

- Reducir la exposición durante la infancia promoviendo un uso moderado del teléfono móvil.
- Promover el uso del modo manos libres y elegir teléfonos con las SAR más bajas, que pueden consultarse en la siguiente web:
http://www.bfs.de/SiteGlobals/Forms/Suche/BfS/DE/SARsuche_Formular.html
- Continuar mejorando la caracterización de la exposición de la población en ambiente interior y exterior por medio de campañas de mediciones.
- Todos los dispositivos o aparatos que emiten CEM y que están diseñados para ser usados cerca del cuerpo (DECT, tabletas, monitores de bebés, etc.) deberán informar de los niveles máximos de exposición (ej. SAR) como lo hacen los teléfonos móviles.

En relación con la HE la ANSES (2018) promovió un grupo de expertos para realizar una revisión sistemática sobre IAI-CEM que analizó las evidencias publicadas en el periodo 2014-2017. Al mismo tiempo esta Agencia coordinó un proceso de consultas con médicos especialistas y de medicina de familia, investigadores y personas que se declaraban como hipersensibles. El informe del grupo de expertos fue sometido a consulta pública. El informe pone de manifiesto las dificultades y la complejidad de abordar la HE porque no

existen unos criterios diagnósticos validados y aceptados por la comunidad científica. La definición de la HE se basa en la autodeclaración de los síntomas. La ANSES confirma que no existe ninguna prueba experimental sólida que permita establecer una relación de causalidad ente la exposición a los CEM y los síntomas descritos pos las personas que se declaran hipersensibles.

La ANSES reconoce que los síntomas sentidos por estas personas son reales y que necesitan adaptar su vida cotidiana para hacerles frente y recomienda que las autoridades sanitarias estudien orientaciones destinadas a los profesionales sanitarios para saber atender a estas personas. Se concluyó que “no hay ninguna prueba experimental que permita establecer una relación de causalidad entre la exposición a CEM y los síntomas descritos por las personas que se declaran como hipersensibles a los CEM”.

La ANSES publicó (2019) un informe sobre los posibles efectos asociados con los altos valores de SAR de los teléfonos móviles que se llevan cerca del cuerpo.

Antes de la puesta en el mercado de un teléfono móvil los fabricantes deben realizar pruebas de que cumple con la SAR legalmente establecida. Las pruebas en laboratorio se realizan en situaciones del “peor caso” en las que el teléfono móvil emite a su máxima potencia de salida. Este no suele ser el caso en condiciones habituales de uso. La exposición humana a los CEM-RF emitidos por un teléfono móvil es proporcional a la potencia de salida. La potencia máxima de un equipo o dispositivo en condiciones reales de funcionamiento es, generalmente, muy inferior al nivel de potencia máximo posible debido a varios factores: la variación del tráfico, el mecanismo de control de potencia o la transmisión discontinua (DTX), entrega débil (*soft handover*).

Los teléfonos móviles se suelen llevar muy próximos al cuerpo, por esta razón, la Autoridad Francesa de Radiodifusión (ANFR; en sus siglas en francés) realizó un estudio entre 2012 y 2016 para evaluar los niveles de SAR en condiciones reales de uso. Se analizaron 300 modelos de teléfonos móviles posicionados cerca del tronco en contacto con el cuerpo o a una distancia de 5 mm. Los resultados indicaron que una amplia proporción de los teléfonos móviles superaban los valores normales de 2 W/kg, incluso algunos que estaban en contacto con el cuerpo superaron los 7 W/kg. Algunos de estos teléfonos móviles que cumplían la normativa anterior a 2016 siguen en el mercado.

Desde 2016 una nueva Directiva europea (conocida como RED) exige que la SAR debe ser medida colocando el teléfono móvil a una distancia no superior a 5 mm del tronco que se corresponde con unas condiciones de uso más reales.

Con el objetivo de verificar si estos niveles de SAR superiores a 2 W/kg tenían algún efecto biológico o adverso para la salud la ANSES realizó una revisión de las evidencias científicas.

La información disponible se basa en estudios experimentales en animales o células de cultivo. Los resultados de la revisión muestran una evidencia limitada de efectos biológicos en la actividad del cerebro asociado a una SAR mayor de 2 W/kg. Sin embargo, no fue posible concluir que la exposición del tronco estaba asociada a otros efectos adversos para la salud. Hay que recordar que un efecto biológico no es lo mismo que un efecto sobre la salud.

Conocer los niveles medios de potencia de transmisión de los equipos es de una importancia fundamental para evaluar de forma real la exposición a los CEM-RF y sus efectos sobre la salud mediante estudios epidemiológicos.

La Oficina Alemán de Protección frente a Radiaciones (Bundesamt für Strahlenschutz) ofrece información en su [web](#) sobre las SAR de los teléfonos móviles.

La ANSES recomienda modificar la legislación para asegurar que las medidas para verificar el cumplimiento de la SAR del tronco sean realizadas con el teléfono móvil en contacto con el cuerpo. Mientras tanto la ANSES recomienda a los usuarios que cumplan con las instrucciones de uso del fabricante cuando el teléfono móvil se lleva cerca del cuerpo y respetar las distancias recogidas en el manual del usuario.

La potencia máxima de salida de los teléfonos móviles se ha estudiado (Joshi et al., 2017) en equipos de usuarios (terminales, teléfonos móviles o dispositivos con tecnología 4G, *Long Term Evolution*, LTE) en condiciones reales. Los datos de potencia máxima de salida se obtuvieron de mediciones basadas en red realizadas en 7000 equipos de usuarios conectados a 41 estaciones base ubicadas en ambientes rurales, suburbanos, urbanos e interiores de Suecia, durante un periodo de 7 días. En total se reunieron 300.000 muestras.

Los niveles observados (percentil 95) fueron los siguientes:

- Ambiente suburbano: 1,3 mW (1,2 dBm).
- Ambiente urbano: 1,7 mW (2,3 dBm).
- Ambiente interior: 0,7 mW (-1,4 dBm).

Los resultados mostraron que las potencias medias de salida observadas en todos los ambientes citados fue menor del 1% de la potencia máxima disponible de los equipos estudiados (LTE equipo de usuario: 200 mW). En ambientes rurales, en el percentil 95 de tiempo promediado, la potencia máxima de salida de los equipos fue de 4,4 mW (6,4 dBm), que significa un 2,2% del máximo posible. Estos resultados son coherentes con otros similares realizados en redes 3G.

6.2.5 Revisiones sistemáticas y metaanálisis. Estudios de cohortes y casos-control. Síntomas auto percibidos e hipersensibilidad electromagnética.

Una reciente revisión sistemática (Schmiedsen et al.2019) que cumple los criterios PRISMA (Moher et al., 2009) de una elevada calidad, ha analizado las limitaciones metodológicas de los estudios experimentales sobre el desarrollo de los síntomas en individuos con IAI-CEM en el rango de frecuencias de 0-300GHz. La búsqueda sistemática encontró 845 artículos, después de eliminar los duplicados y eliminar los que no cumplían los criterios de calidad se incluyeron en la revisión 28 estudios basados en estudios experimentales ciegos que expusieron a los individuos con IAI-CEM a diferentes niveles de exposición a CEM. Se contó con 1.540 participantes, 747(49%) con IAI-CEM y 793 controles (51%). A los participantes se les preguntó sobre los síntomas que sentían durante y después del ensayo. Los autores concluyen que la evidencia señala que no hay un efecto atribuible a la exposición y que el efecto “nocebo” y/o otros desórdenes mentales o médicos pueden explicar los síntomas en muchos individuos con IAI-CEM. Consideran que se necesitan investigaciones adicionales para identificar los diversos factores que pueden ser importantes en desarrollar una IAI-CEM y desencadenar sus síntomas. Si se llevan a cabo estudios recomiendan centrarse en un nivel individual.

Un estudio coreano analizó (Cho et al., 2016a) las asociaciones entre la frecuencia y la duración de las llamadas de teléfonos móviles con síntomas no específicos.

Este estudio se realizó con un grupo de población que incluía a 532 adultos no pacientes establecidos por el Estudio Coreano de Epidemiología y Genoma, un estudio prospectivo de cohorte poblacional. El patrón de llamada telefónica usando un teléfono móvil se investigó a través de una entrevista cara a cara. Los cuestionarios estructurados aplicados para evaluar cuantitativamente los efectos sobre la salud fueron: Prueba de impacto del dolor de cabeza-6 (HIT-6), Índice de bienestar psicosocial-Forma corta, Inventario de depresión de Beck, Actividades instrumentales coreanas de la vida diaria, Escala de estrés percibido (PSS), Sueño de Pittsburgh Índice de calidad y Encuesta de salud de formato corto de 12 ítems donde una puntuación más alta representa un mayor efecto de salud.

La frecuencia diaria promedio de llamadas telefónicas mostró una correlación significativa con el puntaje PSS en mujeres. Los aumentos en la duración promedio de una llamada telefónica se correlacionaron significativamente con los aumentos en la gravedad de los dolores de cabeza en ambos sexos. La puntuación media (desviación estándar) HIT-6 en el subgrupo de sujetos cuya duración promedio de una llamada telefónica fue de cinco minutos o más fue de 45,98 (8,15), en comparación con 42,48 (7,20) en aquellos cuya duración promedio de una llamada telefónica fue <5 minutos. La gravedad de los dolores de cabeza se dividió en tres niveles de acuerdo con la puntuación HIT-6 (poco o ningún impacto / impacto moderado / impacto sustancial o severo), y se realizó un análisis de regresión logística para investigar la asociación entre una mayor duración de la llamada telefónica y la gravedad del dolor de cabeza. Cuando la duración promedio de una llamada telefónica fue de cinco minutos o más, la razón de posibilidades (OR) y los intervalos de confianza (IC) del 95% para el grupo de impacto moderado fueron 2,22 y 1,18-4,19 respectivamente. El OR y el IC (95%) para el grupo de impacto sustancial o grave fueron 4,44 y 2,11 a 8,90 respectivamente.

Los autores concluyeron que la duración de las llamadas de teléfono móvil no se asoció significativamente con el estrés, el sueño, la función cognitiva o la depresión, pero se asoció de forma significativa con la gravedad de los dolores de cabeza.

Los mismos autores del trabajo anterior realizaron un segundo estudio de seguimiento (Cho et al., 2016b) con pruebas repetidas en los mismos 532 adultos 2 años después para calcular y comparar la variación de cada factor.

En este estudio de seguimiento, la duración de las llamadas de teléfono móvil se había reducido durante el período de 2 años. Sin embargo, la reducción en la duración promedio de las llamadas se relacionó con una disminución del dolor de cabeza solo entre las mujeres. El criterio de duración de la llamada se estableció en 5 minutos, y los efectos del dolor de cabeza se evaluaron en función de este límite. Cuando la duración de la llamada fue ≥ 5 minutos, los efectos del dolor de cabeza se volvieron más severos.

En el trabajo anterior (Cho et al., 2016a) la frecuencia de las llamadas de teléfonos móviles no se correlacionaba con varios factores de mala salud. Un aumento en la duración de la llamada se relacionó con un aumento del dolor de cabeza pero no se demostró que estuviera correlacionado con otros factores de salud. Los sujetos del estudio eran personas de mediana edad cuya edad media era de más de cincuenta años. Es necesario identificar si la reducción en el efecto del dolor de cabeza se debió realmente a la reducción en la duración de la llamada. En el segundo estudio (Cho et al., 2016b) una diferencia en la duración de la llamada durante un período de 2 años se correlacionó significativamente con una diferencia en el efecto del dolor de cabeza, aunque este hallazgo se limitó a las mujeres. Además, no se reveló una reducción estadísticamente significativa en el efecto de dolor de cabeza durante el período de 2 años en el grupo cuya duración promedio por llamada fue ≥ 5 minutos en las encuestas de referencia y de seguimiento, a pesar de la reducción general en el efecto de dolor de cabeza.

Este estudio, dividido en dos publicaciones, tiene varias limitaciones, veamos algunas. No se midió la exposición a CEM-RF por lo que no se puede concluir que la relación entre los aumentos en la duración de la llamada y el dolor de cabeza se debió a la exposición a CEM-RF. Este estudio solo sugirió que un hábito de llamadas de larga duración a través del teléfono móvil podría causar efectos en la salud, como dolor de cabeza.

La otra limitación es que el resultado del estudio no se puede generalizar a la población general debido a la edad media de los sujetos del estudio (segunda mitad de la cincuentena). Sin embargo, dado que los sujetos no tenían síntomas específicos y

comprendían un grupo de adultos sanos, estaban relativamente libres de estrés laboral o económico, incluido dolor de cabeza, se asume que representaban una muestra apropiada para el estudio. Además, el período promedio de uso de teléfonos móviles fue de 16 años y la mayoría de los sujetos comenzaron a usar teléfonos móviles a fines de la década de 1990 y principios de la década de 2000, cuando se lanzaron los teléfonos móviles en Corea. Por lo tanto, habían usado teléfonos móviles durante un período de tiempo suficiente para que se convirtiera en un hábito. Además, las personas de la misma generación que los sujetos del estudio tienden a usar teléfonos móviles principalmente para llamadas, en lugar de otras funciones, como conexión a Internet, juegos, Bluetooth o servicio de mensajería multimedia. Aunque el grupo de sujetos del presente estudio puede no representar a toda la población que usa teléfonos móviles, no se los considera un grupo inapropiado para verificar la relación entre el uso de teléfonos móviles y los efectos sobre la salud.

Otra limitación fue que las magnitudes cuantitativas de los efectos en este estudio fueron demasiado pequeñas. Hay muchos factores que pueden afectar los síntomas del dolor de cabeza. Aunque el uso del teléfono móvil no es un factor de riesgo importante que pueda afectar los dolores de cabeza, al menos puede ser uno de los muchos factores que influyan.

No obstante, este estudio que consiste en un diseño transversal y un estudio de seguimiento y herramientas clínicas estructuradas aplicadas, sugiere que el uso de teléfonos móviles (en particular, la larga duración de la llamada) puede ser un factor de riesgo para el dolor de cabeza, pero también lo es para otros síntomas, como la depresión, el estrés, el trastorno del sueño y la demencia. Además, en el grupo cuya duración promedio de las llamadas de teléfonos móviles fue relativamente larga, el efecto de dolor de cabeza pareció ser crónico. Se requiere más investigación futura para dilucidar y probar los mecanismos subyacentes a las correlaciones aparentes entre el uso del teléfono móvil, el dolor de cabeza y otros síntomas de riesgo de salud.

Auvinen et al., 2019 realizaron en Suecia un estudio prospectivo de cohortes (COSMOS), con 21.049 participantes y Finlandia con 3.120. Se investigó la asociación entre la cantidad de tiempo de uso del teléfono móvil y la frecuencia del dolor de cabeza, acúfenos (ruidos en el oído) y pérdida auditiva durante un tiempo de seguimiento de 4 años. Los

datos de uso fueron facilitados por las compañías operadoras de telefonía móvil después de recibir la autorización de los participantes. Los autores concluyeron que las personas que utilizaron el móvil durante más tiempo, para hacer o recibir llamadas, informaron de dolores de cabeza semanales ligeramente más frecuentes que los otros usuarios pero este resultado desaparecía después de ajustar los factores de confusión y no estuvo asociados con el tiempo de llamada (banda GSM) que provoca una mayor exposición (como se observa en el cuadro 1). Los acúfenos y la pérdida auditiva no se asociaron con el tiempo de llamada.

En otro trabajo (Cabré-Riera A et al., 2019) de diseño transversal observacional en una cohorte poblacional de adolescentes españoles de 17-18 años se investigó la relación entre el uso de dispositivos de telecomunicaciones y dispositivos electrónicos con pantallas que emiten luz azul con síntomas subjetivos y objetivos del sueño. La información sobre el uso de dispositivos se recogió mediante un cuestionario autorellenable. Los autores concluyeron que la frecuencia de llamadas con los teléfonos inalámbricos y el uso de las tabletas electrónicas se relacionaron con un aumento objetivo y subjetivo de problemas del sueño. Estos resultados parecen indicar que el retraso a la hora de dormir, la excitación mental y la exposición a la luz azul de las pantallas pueden desempeñar un papel más importante sobre el sueño que la elevada exposición del cerebro a los CEM-RF. Aunque este tipo de estudios son solo informativos son necesarios estudios más específicos que valoren la exposición personal real y objetiva para obtener conclusiones más fiables.

Un estudio prospectivo (Liu et al., 2019) investigó las asociaciones del uso del teléfono móvil durante un tiempo prolongado con alteraciones del sueño y el malestar mental en estudiantes chinos. Los participantes fueron controlados durante un periodo de 8 meses. La información se obtuvo mediante varios cuestionarios que incluyeron preguntas sobre variables sociodemográficas, estilo de vida, duración del uso del teléfono móvil durante el día, patrones del sueño e insomnio durante los días laborables y los fines de semana mediante escalas normalizadas. El uso del teléfono móvil durante un tiempo prolongado se estableció en un límite igual o superior a 4 horas diarias. El 23,5% de los participantes (4.333) que informó que usaban el móvil 4 horas o más al día presentaron una serie de alteraciones del sueño y del malestar mental. La reducción del uso del móvil se asoció a una mejoría del riesgo de padecer estos problemas.

Estos hallazgos destacan la necesidad de prevención para identificar de forma precoz el uso excesivo del teléfono móvil como factor asociado a las alteraciones del sueño y problemas mentales.

Un estudio suizo de cohortes prospectivo (Schoeni et al., 2016) investigó si el bienestar general auto informado y la prevalencia de síntomas inespecíficos en adolescentes se ve afectado por la exposición a CEM-RF emitidos por estaciones base de telefonía móvil y transmisores fijos TV y radio.

En el estudio participaron 439 estudiantes de edades comprendidas entre 12 y 17 años, que completaron cuestionarios sobre su bienestar auto informado y posibles factores de confusión (edad, sexo, nacionalidad, actividad física, alcohol, nivel de la escuela, educación de los padres) al inicio del estudio y un año después. La exposición de los transmisores de sitio fijo en el hogar y la escuela se calculó utilizando un modelo de propagación geoespacial. Todos los análisis se ajustaron por los factores de confusión relevantes.

La exposición media total al inicio del estudio fue de $9 \mu\text{W}/\text{m}^2$. En los análisis transversales no se observaron asociaciones entre ningún síntoma y la exposición a CEM-RF de transmisores de sitio fijos de TV y radio y antenas de telefonía. Los principales síntomas estudiados fueron: el dolor de cabeza, cansancio, falta de energía, agotamiento, falta de concentración y una escala de bienestar mediante cuestionario rellenado en la escuela al inicio del estudio en 2012/2013.

El estudio se repitió un año después con la participación de 425 estudiantes. En los análisis solo se observaron algunas asociaciones significativas, incluido un aumento de OR para el cansancio (2,94, IC(95%):1,43 a 6,05) para los participantes en el percentil 25 superior de la exposición total a CEM-RF de transmisores de sitio fijo al inicio del estudio, en comparación con los participantes expuestos por debajo de la mediana y un OR reducido para el agotamiento (0,50; IC(95%):0,27-0,93) para los participantes con un aumento de la exposición entre el inicio y el seguimiento.

Los autores concluyeron que la exposición a RF-EMF de transmisores de sitio fijo no se asoció de manera consistente con síntomas auto informados en adolescentes suizos.

Las pocas asociaciones observadas deben interpretarse con precaución y pueden representar hallazgos casuales.

En un artículo posterior (Schoeni et al., 2017) con la misma cohorte de estudiantes se investigó si los CEM-RF de teléfonos móviles y otros dispositivos inalámbricos estaban asociados con un aumento en los síntomas de salud de los adolescentes.

Los 439 participantes completaron cuestionarios sobre su uso de teléfonos móviles e inalámbricos, sus síntomas auto informados y posibles factores de confusión al inicio del estudio (2012/2013) y uno año después (2013/2014). Se obtuvo información de las compañías operadoras sobre datos de telefonía móvil (llamadas, mensajes de texto, transmisión de datos) y uso de los dispositivos de comunicación inalámbricos de un subgrupo de 234 adolescentes. Las medidas de dosis de CEM-RF considerando varios factores que afectan la exposición se calcularon para el cerebro y el cuerpo entero. Los datos se analizaron mediante un modelo de corte transversal de logística mixta y un enfoque de cohorte para saber si la dosis acumulada durante un año estaba relacionada con una nueva presentación de un síntoma entre el inicio y el seguimiento. Todos los análisis se ajustaron por los factores de confusión relevantes ya citados.

La tasa de participación en el seguimiento fue del 97% (425 participantes). En ambos análisis, de corte transversal y de cohorte, varios síntomas tendieron a estar asociados principalmente con medidas de uso que solo están marginalmente relacionadas con la exposición a CEM-RF, como la cantidad de mensajes de texto enviados por día (por ejemplo, cansancio: OR=1,81; IC (95%):1,20-2,74 para análisis transversales y OR=1,87; IC (95%):1,04-3,38 para análisis de cohortes). Los resultados fueron generalmente menos intensos o no se asociaron con la duración de la llamada de teléfono móvil y las medidas de dosis de CEM-RF.

Se observaron asociaciones más fuertes entre los síntomas de mala salud y el uso de dispositivos de comunicación inalámbrica que para las medidas de dosis de CEM-RF. Este patrón de resultados no respalda una asociación causal entre la exposición a CEM-RF y los síntomas de salud de los adolescentes, sino que sugiere que otros aspectos del amplio uso de los medios de comunicación están relacionados con los síntomas.

Con esta misma cohorte Roser et al., 2016 realizaron otro estudio que investigó prospectivamente si la exposición a CEM-RF emitidos por teléfonos móviles y otros dispositivos de comunicación inalámbrica estaba relacionada con problemas de comportamiento o capacidad de concentración en adolescentes. Se utilizó la muestra del estudio HERMES (Efectos de salud relacionados con el uso de teléfonos móviles en adolescentes) que estuvo formada por 439 adolescentes. Los problemas de comportamiento se evaluaron mediante el Cuestionario de Fortalezas y Dificultades (SDQ) aplicado a padres y alumnos, la capacidad de concentración de los adolescentes se midió mediante una prueba cognitiva computarizada estandarizada llamada FAKT. Se realizaron análisis transversales y longitudinales (1 año de seguimiento) para investigar posibles asociaciones entre problemas de comportamiento y capacidad de concentración y diferentes medidas de exposición: uso de dispositivos de comunicación inalámbricos auto informados y grabados por el operador, dosis acumulada de CEM-RF cerebral y de todo el cuerpo y medición de la exposición personal a CEM-RF.

En los análisis transversales, los problemas de comportamiento se asociaron con varias medidas de uso de dispositivos inalámbricos auto informadas pero no con medidas de uso de teléfonos móviles registradas por el operador, la capacidad de concentración se asoció con varias exposiciones auto informadas y registradas por el operador. Los análisis longitudinales apuntan hacia la ausencia de asociaciones. La falta de patrones consistentes de exposición-respuesta en los análisis longitudinales sugiere que los problemas de comportamiento y la capacidad de concentración no se ven afectados por el uso de dispositivos de comunicación inalámbricos o la exposición CEM-RF. El sesgo de información y la causalidad inversa son explicaciones probables de los hallazgos transversales observados.

En un estudio observacional (Martens, Slottje, et al., 2018) realizado con una muestra de 1.720 participantes integrados en una cohorte de población general holandesa (denominada AMIGO) establecida en 2011/2012 se observó que existe una asociación entre las personas que tienen una elevada percepción del riesgo y la presentación de síntomas subjetivos como el dolor de cabeza y espalda. La información se obtuvo mediante un cuestionario, que se rellenó en dos ocasiones en 2013 y 2014, que incluía preguntas sobre la exposición a las antenas de telefonía móvil y el riesgo auto percibido de preocupaciones sobre síntomas inespecíficos relacionados con la salud. Los autores observaron que la exposición y el riesgo percibido y las preocupaciones más altas sobre la salud estaban asociadas con puntuaciones más elevadas de síntomas percibidos. Los factores que más se asociaron con una valoración del riesgo de las antenas de telefonía móvil más alta fueron los siguientes: sexo femenino, personas más jóvenes, nivel educativo más elevado y tener síntomas afectivos negativos.

La investigación psicosocial ha observado que la exposición percibida (auto) puede influir en la presentación de síntomas de malestar o enfermedad. No está claro el impacto real de esta asociación sobre la interpretación de los resultados de los estudios epidemiológicos de los factores ambientales que influyen en la salud.

En una muestra de la cohorte (AMIGO) citada anteriormente los autores (Martens, Reedijk, et al., 2018) compararon las asociaciones entre las exposiciones modeladas, el nivel percibido de estas exposiciones y los síntomas informados (síntomas no específicos, trastornos del sueño y síntomas respiratorios) para tres exposiciones ambientales diferentes (CEM-RF, ruido y la contaminación del aire). Estas exposiciones ambientales varían en el grado en el que pueden observarse sensorialmente.

Los participantes rellenaron un cuestionario en dos ocasiones la primera en 2011/2012 con 14.829 participantes y la segunda en 2015 con 7.905. La exposición ambiental se estimó en función de la dirección del domicilio y con modelos espaciales.

La exposición percibida se asoció consistentemente con un aumento de las puntuaciones de los síntomas autopercebidos (síntomas respiratorios, alteraciones del sueño y otros síntomas inespecíficos).

Cuando se estudian los determinantes ambientales de los síntomas sin reconocer el papel potencial de las exposiciones modeladas y percibidas, existe un riesgo de sesgo en la evaluación de riesgos para la salud. Sin embargo, el papel etiológico de las percepciones de exposición en relación con el informe de síntomas requiere más investigación.

En un estudio similar estos autores (Martens, Reedijk, et al., 2018) evaluaron las asociaciones entre la exposición modelada (teórica) y la percibida a los CEM-RF de las estaciones base de telefonía móvil respecto al desarrollo de síntomas inespecíficos de salud y trastornos del sueño en la misma cohorte AMIGO. Se utilizó un cuestionario que fue rellenado por 14.829 personas en los años 2011/2012 a las que se hizo un seguimiento de un subgrupo en los años 2013 y 2014. Se modeló la exposición a CEM-RF de campo lejano desde las estaciones base de telefonía móvil donde vivían los participantes usando un modelo geoespacial tridimensional. La exposición percibida, síntomas inespecíficos y los trastornos del sueño se asociaron con puntuaciones más altas de notificación de síntomas en análisis de corte transversal y longitudinal (de seguimiento en el tiempo).

Un estudio transversal observacional (Višnjić et al., 2018) realizado mediante la aplicación de un cuestionario estandarizado a 785 estudiantes universitarios de Serbia e Italia investigó el riesgo potencial del modo y la intensidad de uso del teléfono móvil sobre su salud mental midiendo los niveles de depresión, ansiedad y estrés. Los resultados mostraron que la intensidad y modalidad del uso del teléfono móvil podría ser un factor con influencia en las vías causales que pueden generar problemas mentales en la población universitaria.

En el año 2007, en Taiwan, la tasa de prevalencia de IAI-CEM era de 13,35 en la población total y con una mayor prevalencia en mujeres, Huang et al., 2018 investigaron si esta tasa había aumentado y si seguía siendo más elevada en mujeres. Para ello se realizó una encuesta nacional con la misma metodología que la del año 2007, una revisión de la literatura científica y un metaanálisis para evaluar los cambios de esta prevalencia en todo el mundo.

Los resultados mostraron que la tasa disminuyó al 4,65 en un periodo de 5 años. En otros países también está disminuyendo en lugar de aumentar como se había previsto anteriormente. El meta análisis mostró que las mujeres tienen más probabilidades que los hombres de padecer IAI-CEM con una OR=1,19; IC (95%):1,01-1,40.

Un estudio observacional (Sagiv et al., 2018) realizado en Israel investigó el uso de teléfono móvil en relación con la pérdida auditiva neurosensorial repentina en 160 pacientes de una clínica de Otorrinolaringología. Se analizó la correlación entre la lateralidad de la pérdida auditiva neurosensorial repentina y la mano y el oído preferido para el uso del teléfono móvil. No se encontró ninguna correlación.

Un estudio transversal (Durusoy et al., 2017) investigó mediante un cuestionario que rellenaron 2.150 estudiantes de secundaria de Turquía, el uso del teléfono móvil, los niveles de exposición a CEM en las escuelas y los síntomas relacionados con la exposición a CEM. Se recogió información sobre 16 aspectos del uso del teléfono móvil y la frecuencia de 23 síntomas de salud. También se exploró la respuesta a la dosis (según niveles ambientales). Los autores observaron una asociación entre el uso del teléfono móvil y, especialmente, el dolor de cabeza, dificultades de concentración, fatiga, alteraciones del sueño y calentamiento. No se observó ninguna asociación con los niveles ambientales de CEM en las escuelas y los síntomas. Los autores aconsejan reducir el número y duración de llamadas y mensajes, usar auriculares y mantener alejado el teléfono móvil de la cabeza y cuerpo y otras precauciones similares para reducir la prevalencia y frecuencia de los síntomas estudiados.

Las noticias que aparecen en los medios de comunicación pueden causar la presentación de síntomas somáticos (corporales) atribuidos a las radiofrecuencias de las antenas de telefonía móvil o los sistemas Wi-Fi. Para investigar esta relación se realizó un estudio (Bräscher et al., 2017) clínico experimental con persona adultas sanas y voluntarias para evaluar como se ve afectada la percepción somato sensorial cuando nos exponemos a reportajes o noticias de los medios de comunicación sobre el impacto de los CEM en nuestra salud. Las 65 personas expuestas fueron informadas previamente sobre como la exposición a CEM puede “mejorar” la percepción somática y sensorial. De forma aleatoria se les asignó a ver un reportaje de TV sobre los efectos adversos de los CEM y otro que era neutral. Los participantes fueron sometidos a estímulos eléctricos táctiles que tuvieron que puntuar mientras eran expuestos a una señal Wi-Fi simulada en el 50% de los ensayos. La exposición simulada (falsa) de Wi-Fi provocó una mayor intensidad de las puntuaciones del estímulo táctil en el grupo del Wi-Fi que vio los programas de TV, especialmente en los participantes con los niveles más elevados de amplificación de síntomas (percepción somatosensorial).

Las personas de este grupo Wi-Fi informaron de más niveles de ansiedad, respecto a la exposición a Wi-Fi que el grupo control y tendieron a sentirse más sensibles a los CEM después del experimento en comparación con los niveles previos al experimento. Según estos autores las noticias sensacionalistas o alarmistas pueden sensibilizar a la población para desarrollar un efecto nocebo y contribuir al desarrollo de la IAI-CEM. La promoción de pensamientos catastrofistas y aumentar la atención centrada en los propios síntomas corporales puede reforzar fácilmente la autopercepción y erróneamente atribuir a los CEM la causa de los síntomas.

Un estudio prospectivo (Papadopoulou et al., 2017) investigó la asociación entre el uso del teléfono móvil durante el embarazo y las habilidades motoras, del lenguaje y comunicación en niños de 3 y 5 años que nacieron de estas madres. En el estudio se incluyeron datos de mujeres reclutadas de la Cohorte de Madres Noruegas (“MoBa”) cuando estaban en los primeros meses del embarazo (17-18 semanas), desde el año 1999 hasta el 2008. La frecuencia de uso del teléfono móvil y las habilidades motoras, del lenguaje y comunicación en niños de 3 y 5 años se obtuvieron mediante cuestionarios. Los autores observaron una disminución del riesgo de padecer alteraciones de las habilidades estudiadas en los niños de 3 años en relación con el uso prenatal del teléfono móvil por parte de la madre. Afirman que el uso del teléfono móvil y la exposición a CEM-RF durante el embarazo no está asociado a efectos adversos para el desarrollo neurológico de niños de 3 a 5 años. Este hallazgo puede ser explicado por una mejora en la interacción madre hijo entre las usuarias del teléfono móvil. Es la primera vez que se obtienen resultados beneficiosos entre el uso materno del teléfono móvil y el desarrollo neurológico en una cohorte de población tan amplia. Aunque hay limitaciones metodológicas propias de estos estudios que no han medido factores de confusión.

Una revisión sistemática y un metaanálisis (Wang et al., 2017) investigó el uso del teléfono móvil y el dolor de cabeza. La búsqueda sistemática, que aplicó los criterios PRISMA, abarcó los estudios publicados entre enero de 1990 y mayo de 2017. De los 2.699 artículos recuperados solo se incluyeron 7 trabajos que cumplieron los criterios de calidad para su inclusión final en el metaanálisis.

Los resultados mostraron que el riesgo de sentir dolor de cabeza aumentó un 38% en usuarios de teléfono móvil en comparación con los no usuarios (OR=1,38; IC (95%):1,18-1,61, $p<0,001$).

Se sugiere que el uso del teléfono móvil está asociado de forma significativa con el dolor de cabeza. Entre los usuarios el riesgo aumentó en aquellos cuyas llamadas eran de mayor duración. Sin embargo, los autores afirman que se necesitan más estudios epidemiológicos y experimentales para confirmar esta asociación.

Algunos estudios previos han sugerido una asociación entre el uso del teléfono móvil y del teléfono inalámbrico por parte de los niños y el desarrollo de las funciones cognitivas. Esta posible relación fue investigada mediante un estudio prospectivo (Bhatt et al., 2017) en una cohorte de niños de escuelas primarias de Australia. Los datos sociodemográficos, uso del teléfono móvil y el teléfonos inalámbricos y funciones cognitivas fueron obtenidas mediante cuestionarios en dos momentos: 2010/2012 y en un seguimiento posterior en 2012-2013. Participaron 412 niños de los cuáles una proporción más alta usaba el teléfono inalámbrico: un 76% usó al principio del estudio y en el seguimiento. El teléfono móvil fue usado por el 31% al principio y un 43% en el seguimiento. De las 26 comparaciones de cambios en los resultados de las funciones cognitivas solo 4 demostraron una asociación significativa. El mayor uso del teléfono inalámbrico no tuvo efecto significativo en la mayoría de los cambios de las pruebas cognitivas. Debido al pequeño número de llamadas de los dos tipos de teléfonos los cambios observados pueden deberse al simple azar, según los mismos autores.

Un estudio suizo (Foster et al., 2019) realizó un seguimiento de resultados de estudios previos de una cohorte (HERMES) para valorar el impacto de la exposición a CEM-RF emitidos por dispositivos Wi-Fi sobre las funciones cognitivas (memoria figurativa). Se recogieron datos de 2 muestras independientes de estudiantes suizos, la primera en 24 escuelas de 7-8 grado en junio de 2012 y la segunda muestra en abril de 2014 con estudiantes de 7-9 grado en 22 escuelas. Se hizo un seguimiento 1 año después de cada fecha de inicio hasta abril de 2016. La participación fue voluntaria y el consentimiento obligatorio de padres y alumnos. Se aplicó un cuestionario para valorar el uso del teléfono móvil y de los medios de comunicación así como de la salud física y psicológica y otros factores socioeconómicos. Se hicieron test cognitivos y en una submuestra con 148

estudiantes, de las dos muestras se realizaron unas mediciones personales de CEM-RF que fueron representativas de la exposición de campo lejano (dosímetro con GPS) El rendimiento cognitivo se midió usando un sistema de test computerizado que midió la memoria figurativa y verbal (IST, Liepman et al 2007). La exposición a CEM-RF (teléfono móvil y otros dispositivos inalámbricos) se evaluó mediante cuestionario sobre la duración y el número de llamadas, lado de la cabeza que era usado de forma preferente al hablar, uso de auriculares, número de mensajes enviados/día, juegos electrónicos, redes sociales, duración del tráfico diarios de datos y si el teléfono móvil se mantenía apagado durante la noche. También se aplicó una escala (MPPUS) para evaluar el uso problemático del teléfono móvil. Se obtuvo información previa detallada del uso del teléfono móvil 6 meses antes del estudio hasta el final del seguimiento procedente de las compañías operadoras. Para reducir la sobrestimación del uso sobre reportado se realizaron cálculos adicionales para hacer una estimación modelada. La dosis de CEM-RF del cerebro fue calculada siguiendo un modelo dosimétrico descrito previamente por Roser et al.2015.

Los autores concluyen que hay una evidencia preliminar que sugiere que los CEM-RF pueden afectar las funciones cerebrales, como la memoria figurativa en regiones que están más expuestas durante el uso del teléfono móvil. Estos resultados no aportan evidencia conclusiva de efectos causales y deberían ser interpretados con cautela hasta que se confirmen en otras poblaciones no está claro qué procesos cerebrales y qué mecanismos bio fisiológicos pueden verse implicados.

Por último, un estudio transversal (Guxens et al., 2019) evaluó la relación de la exposición a CEM-RF de diferentes fuentes y la exposición al tiempo de pantalla con problemas emocionales y de comportamiento en 3102 niños de 5 años del estudio Amsterdam Born Children and their Development (ABCD), en los Países Bajos. La exposición residencial a CEM-RF de las estaciones base de telefonía móvil se estimó con un modelo de propagación de ondas de radio geoespacial en 3D. Las madres de los niños/ niñas informaron de la presencia residencial de fuentes interiores CEM-RF (estaciones base de teléfonos inalámbricos y Wi-Fi), llamadas de teléfonos móviles y teléfonos inalámbricos para niños y exposición al tiempo de pantalla (computadora / videojuegos y televisión). Los maestros (n=2.617) y las madres (n=3.019) informaron de forma independiente los

problemas emocionales y de comportamiento de los niños/as utilizando el Cuestionario de Fortalezas y Dificultades.

Los expuestos a mayores niveles de CEM-RF de las estaciones base de telefonía móvil mostraron mayores probabilidades de síntomas emocionales informados por la madre (OR=1,82, IC (95%):1,07-3,09). Los niños/as con teléfono inalámbrico en el hogar tenían menores probabilidades de comportamiento prosocial problemático informado por el maestro (OR 0,68; IC (95%): 0,48-0,97) y de problemas de relación con los compañeros informados por la madre (OR=0,61; IC (95%): 0,39-0,96). Los niños/as que vieron televisión ≥ 1.5 h / día tuvieron mayores probabilidades de hiperactividad / falta de atención por parte de la madre (OR=3,13; IC (95%):1,43-6,82).

Los autores concluyeron que el teléfono móvil y las llamadas de teléfonos inalámbricos, que conducen a exposiciones máximas de CEM-RF de la cabeza, no se asociaron con ningún problema emocional y de comportamiento en niños/as de 5 años. La exposición ambiental a radiofrecuencias de las estaciones base de telefonía móvil y de fuentes interiores y la observación de televisión, que contribuyen muy poco a la exposición a radiofrecuencias, se asociaron con problemas emocionales y de comportamiento específicos, pero principalmente cuando las madres informaron. Sin embargo, no se pudo descartar la confusión residual o la causalidad inversa.

La investigación longitudinal adicional, en particular a medida que los niños/as aumenten el uso de dispositivos de telecomunicaciones con la edad, puede ayudar a comprender mejor la contribución exacta de las diferentes fuentes de exposición a CEM-RF, si las hay. Además, es esencial un completo control de los factores de confusión para una correcta interpretación de los estudios sobre el tiempo de uso de las pantallas y los problemas emocionales y de conducta.

6.2.6 Conclusiones

- Desde la publicación del anterior informe del CCARS no se han producido cambios significativos en los resultados de los estudios publicados. La HE no es una enfermedad incluida en la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-OMS) y no existe un

protocolo validado y aceptado por la comunidad científica para el diagnóstico y tratamiento de la HE.

- De la revisión de la bibliografía se confirma que persiste la carencia o la insuficiente información sobre la exposición real a los CEM-RF. La dosimetría sigue siendo una de las principales debilidades de los estudios epidemiológicos y clínicos que impide obtener conclusiones relevantes.

- Los límites de exposición de las nuevas tecnologías basadas en 5G deberán cumplir los límites vigentes y no superar los límites considerados seguros por el RD1066/2001.

- Existe una asociación entre las personas que tienen una elevada percepción del riesgo y la presentación de síntomas subjetivos como el dolor de cabeza y espalda. Se requiere más investigación futura para dilucidar y probar los mecanismos subyacentes a las correlaciones aparentes entre el uso del teléfono móvil, el dolor de cabeza y otros síntomas de riesgo de salud.

- Los estudios clínicos controlados confirman que no hay una relación causal entre la exposición a las diversas fuentes de RF y los síntomas de HE. No hay un efecto atribuible a la exposición experimental en ensayos clínicos con voluntarios que declaran sentir electrosensibilidad. El efecto “nocebo” y/o otros desórdenes mentales o médicos pueden explicar los síntomas en muchos individuos con IAI-CEM.

- Las nuevas evidencias publicadas siguen confirmando que no se observan efectos adversos para la salud derivados de la exposición a las RF de las antenas de telefonía móvil, transmisión de Radio y TV, sistemas inalámbricos Wi-Fi) utilizados en el trabajo, la escuela o el hogar. Los niveles de exposición observados en los estudios publicados siguen siendo cientos o miles de veces inferiores a los considerados seguros por ICNIRP, OMS, UE y el RD 1066/2001.

6.2.7 Anexo 2. Resumen de estudios sobre Hipersensibilidad electromagnética (HE) o IAI-CEM y síntomas de salud inespecíficos.

Referencia	Población y objetivo del estudio	Tipo de estudio	Fecha	Participantes	Resultados
Schmiedsen et al 2019	Personas con IAI-CEM sometidas a estudios clínicos experimentales	Revisión sistemática cumple criterios:” Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)”	Marzo 2019	1540 participantes, 747 con IAI-CEM y 793 controles	No hay un efecto atribuible a la exposición. El efecto “nocebo” y/o otros desórdenes mentales o médicos pueden explicar los síntomas en muchos individuos con IAI-CEM.
SSM’s Scientific Council on EMF 2018 y 2019	Revisar y actualizar informe previos 2017 y 2018 sobre CEM y riesgos para la salud (Hipersensibilidad electromagnética y otros efectos)	Revisión sistemática narrativa.	Octubre 2015 -Marzo 2017. Abril de 2017 y marzo de 2018	Voluntarios adultos en 13 estudios de personas con HE y síntomas de salud inespecíficos	No hay sólidas evidencias científicas que avalen una relación causal entre exposición a CEM-RF y problemas de salud o de HE
ANSES 2016	Efectos de las CEM - RF en la infancia	Revisión sistemática	16 septiembre	Infancia y adolescencia	Los resultados no permiten establecer una relación causal entre los efectos biológicos descritos en modelos celulares,

			2011 -3 mayo 2016.		animales o humanos y cualquier posible efecto sobre la salud. Por ello, carece de fundamento proponer nuevos límites de exposición de la población relacionados con la protección de la salud.
ANSES 2018	Personas con IAI-CEM sometidas a estudios clínicos experimentales y que expresan ser hipersensibles	Revisión sistemática.	2014-2017	Voluntarios con HE adultos y adolescentes. Consulta a expertos y profesionales de la medicina.	No hay ninguna prueba experimental que permita establecer una relación de causalidad entre la exposición a CEM y los síntomas descritos por las personas que se declaran como hipersensibles a los cem.
Cho et al 2016	Participantes del Estudio de cohorte Coreano de Epidemiología y Genoma. Investigar la relación entre uso del teléfono móvil (frecuencia y duración de llamadas) y síntomas inespecíficos.	Estudio prospectivo. Entrevista cara a cara y cuestionarios estructurados.	2012 y 2013.	532 adultos sanos usuarios teléfonos móviles. Periodo promedio de uso de 16 años y la mayoría de los sujetos comenzaron a usar teléfonos móviles a finales de la década de 1990 y principios de la década de 2000. Media de edad 57 años.	La duración de las llamadas de teléfono móvil no se asoció significativamente con el estrés, el sueño, la función cognitiva o la depresión, pero se asoció de forma significativa con la gravedad de los dolores de cabeza en mujeres.
Cho et al. 2017	Participantes del Estudio Coreano de Epidemiología y Genoma. Relación entre uso del teléfono	Estudio de seguimiento de la misma población. Pruebas	2014 y 2015	532 adultos sanos. 100% de participación.	Disminución de la duración media de las llamadas. En las mujeres se observó una disminución de los dolores de cabeza. En los hombres no se observó ningún efecto.

	móvil y síntomas inespecíficos.	repetidas a los dos años	4 años de seguimiento		
Auvinen et al. 2019	Relación entre cantidad de uso del teléfono móvil y frecuencia de dolor de cabeza, tinnitus y pérdida auditiva	Estudio de cohortes prospectivo (COSMOS)	4 años de seguimiento	21.049 participantes en Suecia y 3.120 en Finlandia	Las personas que utilizaron el móvil durante más tiempo, para hacer o recibir llamadas, informaron de dolores de cabeza semanales ligeramente más frecuentes que los otros usuarios pero este resultado desaparecía después de ajustar los factores de confusión y no estuvo asociado con el tiempo de llamada. El tinnitus y la pérdida auditiva no se asoció con el tiempo de llamada
Cabré-Riera et al 2019	Investigar en una cohorte poblacional de adolescentes usuarios de dispositivos de telecomunicaciones y electrónicos con pantallas que emiten luz azul y síntomas subjetivos y del sueño.	Diseño observacional transversal.	8 meses de seguimiento	Adolescentes españoles de 17 -18 años	La frecuencia de llamadas con los teléfonos inalámbricos y el uso de las tabletas electrónicas se relacionaron con un aumento objetivo y subjetivo de problemas del sueño. Estos resultados parecen indicar que el retraso a la hora de dormir, la excitación mental y la exposición a la luz azul de las pantallas pueden desempeñar un papel más importante sobre el sueño que la elevada exposición del cerebro a los CEM-RF.
Liu et al 2019	Estudiar el uso del teléfono móvil (TM) y su relación con alteraciones del sueño y malestar mental	Estudio de diseño prospectivo observacional transversal.		Estudiantes chinos	El uso del TM durante un tiempo prolongado se estableció en un límite igual o superior a 4 horas diarias. El 23,5% de los participantes (4.333) que informó que usaban el móvil 4 horas o más al día presentaron una serie de alteraciones del sueño y del malestar

						mental. La reducción del uso del móvil se asoció a una mejoría del riesgo de padecer estos problemas.
Schoenei et al 2016	Estudiar el bienestar autoinformado y la prevalencia de síntomas inespecíficos en adolescentes y su relación con exposición a CEM-RF emitidas por estaciones base y transmisores fijos de TV y radio	Estudio de cohortes prospectivo. Análisis de factores de confusión (edad, actividad física, alcohol, nivel educativo padres, etc.)	Análisis al inicio del estudio y un año después.	439 estudiantes de 12-17 años suizos al inicio y 425 un año después.	La exposición media total al inicio del estudio fue de $9\mu\text{W} / \text{m}^2$. La exposición a RF-EMF de transmisores de sitio fijo no se asoció de manera consistente con síntomas auto informados en adolescentes.	
Schoenei et al 2017	Estudiar con la misma cohorte anterior de estudiantes si los CEM-RF de los TM y otros dispositivos inalámbricos se asociaban a un aumento d síntomas de salud.	Estudio de cohortes prospectivo. factores de confusión (edad, actividad física, alcohol, nivel de la escuela, etc.)	Seguimiento 2012/2013 y 2013/2014	439 participantes. Datos de exposición de las operadoras de TM de un subgrupo de 234 estudiantes. Tasa de participación en el seguimiento el 97 % (425).	Se observaron asociaciones más fuertes entre los síntomas de mala salud y el uso de dispositivos de comunicación inalámbrica que para las medidas de dosis de RF-EMF. Este patrón de resultados no respalda una asociación causal entre la exposición a RF-EMF y los síntomas de salud de los adolescentes, sino que sugiere que otros aspectos del amplio uso de los medios de comunicación están relacionados con los síntomas.	
Roser et al 2016	Estudiar con la misma cohorte anterior si la exposición a CEM-RF	Estudio de cohortes	1 año de seguimiento	439 participantes.	Ausencia de asociaciones. La falta de patrones consistentes de exposición-respuesta en los análisis longitudinales	

	de los TM y otros dispositivos inalámbricos se relaciona con problemas de comportamiento o capacidad de concentración.	prospectivo (HERMES)			sugiere que los problemas de comportamiento y la capacidad de concentración no se ven afectados por el uso de dispositivos de comunicación inalámbricos o la exposición RF-EMF. El sesgo de información y la causalidad inversa son explicaciones probables de los hallazgos transversales observados.
Martens, Slottje et al 2018	Estudiar en una muestra de una cohorte de población general holandesa la percepción del riesgo y síntomas inespecíficos de salud.	Estudio de Cohorte (AMIGO), observacional, establecida en 2011/2012	Seguimiento mediante cuestionario en 2013 y 2014	1.720 participantes	Existe una asociación entre las personas que tienen una elevada percepción del riesgo y la presentación de síntomas subjetivos como el dolor de cabeza y espalda. Los factores que más se asociaron con una valoración del riesgo de las antenas de telefonía móvil más alta fueron los siguientes: sexo femenino, personas más jóvenes, nivel educativo más elevado y tener síntomas afectivos negativos.
Martens, Reedijk et al 2018	Investigar las asociaciones entre exposiciones modeladas, el nivel auto percibido de las exposiciones y los síntomas inespecíficos, trastornos del sueño y síntomas respiratorios y	Estudio de muestra de la cohorte (AMIGO), observacional.	Seguimiento mediante cuestionarios en 2011/2012 y 2015	14.829 (1ª encuesta) y 7.905(2ª)	La exposición percibida se asoció consistentemente con un aumento de las puntuaciones de los síntomas auto percibidos (síntomas respiratorios, alteraciones del sueño y otros síntomas inespecíficos).

	la exposición a CEM-RF, ruido y contaminación del aire.						
Martens, Reedijk et al 2018	Evaluar asociaciones entre la exposición modelada (teórica) y la percibida a los CEM-RF de las estaciones base de telefonía móvil respecto al desarrollo de síntomas inespecíficos de salud y trastornos del sueño en la misma cohorte AMIGO.	Estudio de muestra de la cohorte (AMIGO), observacional.	Cuestionario en 2011/2012 y se hizo un seguimiento de un subgrupo en los años 2013 y 2014	14.829 personas en 1ª encuesta	La exposición percibida, síntomas inespecíficos y los trastornos del sueño se asociaron con puntuaciones más altas de notificación de síntomas en análisis de corte transversal y longitudinal (de seguimiento en el tiempo).		
Višnjić et al 2018	Investigar el riesgo potencial del modo y la intensidad de uso del teléfono móvil sobre su salud mental midiendo los niveles de depresión, ansiedad y estrés	Estudio de diseño transversal observacional. Transversal. Cuestionario estructurado.	Marzo a mayo del año académico 2015/2016 e incluyó a 785 estudiantes de ambos sexos	785 estudiantes universitarios en Serbia e Italia	La intensidad y modalidad del uso del TM podría ser un factor con influencia en las vías causales que pueden generar problemas mentales en la población universitaria.		
Huang et al 2018	Investigar si la prevalencia de IAI-CEM había aumentado desde 2007 cuando se hizo una encuesta que observó una prevalencia del 13,3%.	Estudio observacional. Revisión de la bibliografía y meta análisis.	Diciembre de 2012 y marzo de 2013.	Encuesta nacional con la misma metodología que en 2007 (tasa de respuesta 22,2%) y con tasa de respuesta similar (23,6%).	La tasa disminuyó al 4,65 % en un periodo de 5 años. En otros países también está disminuyendo en lugar de aumentar como se había previsto anteriormente. El meta análisis mostró que las mujeres tienen más probabilidades que los hombres de padecer IAI-CEM con		

						una OD (odds ratio) de 1,19(1.01-1,40 con un intervalo de confianza de 95%).
Sagiv et al 2018	Investigar el uso de teléfono móvil en relación con la pérdida auditiva neurosensorial repentina y la correlación entre la lateralidad de la pérdida auditiva neurosensorial repentina y la mano y el oído preferido para el uso del teléfono móvil.	Estudio transversal de casos	2014 y 2016	160 pacientes de una clínica de Otorrinolaringología en Israel.	No se encontró ninguna correlación.	
Durusoy et al 2017	Investigar el uso del TM, los niveles de exposición a CEM en las escuelas y los síntomas relacionados con esta exposición.	Estudio transversal	noviembre de 2009 y abril de 2011.	Cuestionario aplicado a 2.150 estudiantes de secundaria en Turquía	Asociación entre el uso del TM y, especialmente, el dolor de cabeza, dificultades de concentración, fatiga, alteraciones del sueño y calentamiento. No se observó ninguna asociación con los niveles ambientales de CEM en las escuelas y los síntomas	
Bräscher et al 2017	Investigar como los medios de comunicación influyen en la presentación de síntomas somáticos atribuidos a los CEM.	Estudio clínico experimental		65 personas sanas	Las noticias sensacionalistas o alarmistas pueden sensibilizar a la población para desarrollar un efecto nocebo y contribuir al desarrollo de la IAI-CEM	

Papadopoulou et al 2017	Investigar la asociación entre el uso del TM durante el embarazo y las habilidades motoras, del lenguaje y comunicación en niños de 3 y 5 años.	Estudio prospectivo con datos de la Cohorte de Madres Noruegas (MoBa).	Desde 1999 hasta el 2008.	Mujeres embarazadas reclutadas en los primeros meses de su embarazo ,45.389 madres-niño.	El uso del TM y la exposición a CEM-RF durante el embarazo no está asociado a efectos adversos para el desarrollo neurológico de niños de 3 a 5 años.
Wang et al 2017	Investigar el uso del TM y el dolor de cabeza.	Estudio de corte transversal, revisión sistemática y meta análisis	Búsqueda sistemática entre enero de 1990 y mayo de 2017.	De los 2.699 artículos recuperados solo se incluyeron 7 trabajos que cumplieron los criterios de calidad para su inclusión.	Se sugiere que el uso del TM está asociado de forma significativa con el dolor de cabeza. Entre los usuarios de TM el riesgo aumentó en aquellos cuyas llamadas eran de mayor duración. EL riesgo de sentir dolor de cabeza aumentó un 38% en usuarios de TM en comparación con los no usuarios (OR 1,38;95% IC: 1,18-1,61 p<0,001).
Bhatt et al 2017	Investigar la asociación entre el uso del TM y el teléfono inalámbrico (TInam.) y el desarrollo de las funciones cognitivas en una cohorte de niños de escuelas primarias de Australia.	Estudio de cohorte prospectivo	Cuestionarios en dos momentos 2010/2012 y seguimiento posterior en 2012-2013	Datos sociodemográficos, uso del TM y TInam y funciones cognitivas fueron obtenidas mediante cuestionarios aplicados a 412 niños	De las 26 comparaciones de cambios en los resultados de las funciones cognitivas solo 4 demostraron una asociación significativa. El mayor uso del TInam no tuvo efecto significativo en la mayoría de los cambios de las pruebas cognitivas. Debido al pequeño número de llamadas de los dos tipos de teléfonos los cambios observados pueden deberse al simple azar.

Guxens et al 2019	Evaluar la relación de la exposición a RF-EMF de diferentes fuentes y la exposición al tiempo de pantalla con problemas emocionales y de comportamiento	Estudio transversal, mediante cuestionarios aplicado a maestros y madres.		3102 niños de 5 años del estudio Amsterdam Born Children and their Development (ABCD). Países Bajos.	No se encontraron asociaciones entre el teléfono móvil y las llamadas de teléfonos inalámbricos y los problemas emocionales y de comportamiento en niños de 5 años.
Foerster et al 2018	Realizar un seguimiento de resultados de estudio previos para valorar el impacto de la exposición a CEM-RF emitidos por dispositivos wifi sobre las funciones cognitivas (memoria figurativa).	Estudio de cohorte prospectivo (HERMES)	Junio de 2012 y otra en 2014 con un seguimiento de las dos en 2016.	2 muestras independientes de estudiantes de escuelas suizas.	Hay una evidencia preliminar que sugiere que los CEM-RF pueden afectar las funciones cerebrales, como la memoria figurativa en regiones que están más expuestas durante el uso del TM. Estos resultados no aportan evidencia conclusiva de efectos causales y deberían ser interpretados con cautela hasta que se confirmen en otras poblaciones no esta claro que procesos cerebrales y que mecanismos bio fisiológicos pueden verse implicados.

Tabla 16 Resumen de estudios sobre Hipersensibilidad electromagnética (HE) o IAI-CEM y síntomas de salud inespecíficos.

(Fuente: *Elaboración propia (F.Vargas)*)

7 Revisión de los niveles de exposición/recomendaciones de instituciones y organismos de estandarización.

7.1 ICNIRP

La Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) publicó, en marzo del presente año, unas nuevas directrices (“*guidelines*”) para la protección de las personas a la exposición campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) en el rango de los 100 kHz a 300 GHz [ICNIRP, 2020]. Estas nuevas directrices sustituyen la parte de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia de las directrices de ICNIRP (1998), así como la parte de 100 Hz a 10 MHz de las directrices de baja frecuencia del ICNIRP (2010). El propósito del presente apartado es ayudar a entender las principales diferencias entre las directrices del ICNIRP (2020) y las anteriores.

7.1.1 Objetivos y propósito

El objetivo principal de estas directrices, como en el caso de las anteriores, es establecer unas pautas para limitar la exposición a los campos electromagnéticos que proporcionen un alto nivel de protección a todas las personas contra los potenciales efectos adversos para la salud de las exposiciones a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia, tanto continuos como discontinuos, y de corta o larga duración.

Para la realización de estas nuevas directrices, la ICNIRP obtuvo información de las más importantes revisiones internacionales sobre exposición a CEM-RF y de estudios científicamente comprobados, con la suficiente calidad científica para ser tomados como “evidencia” y utilizados para establecer restricciones de exposición. Esto incluyó una revisión exhaustiva de la Organización Mundial de la Salud sobre la exposición a CEM-RF y la salud que se publicó como documento técnico preliminar (OMS 2014), y los informes del Comité Científico sobre Riesgos de Salud Emergentes y Recientemente Identificados (SCENIHR 2015) y la Autoridad Sueca de Protección contra la Radiación (SSM 2015, 2016, 2018). Estos informes han revisado un extenso cuerpo de literatura científica sobre el tema, que abarca desde la investigación experimental hasta la

epidemiología, e incluyen la consideración de la salud en los niños y aquellos individuos que se consideran sensibles a los CEM-RF.

Seguidamente, se resumen las principales diferencias entre las nuevas directrices, ICNIRP (2020), y las directrices de la ICNIRP (1998) e ICNIRP (2010), cuyos valores de referencia estaban vigentes en los estudios y trabajos científicos revisados en el presente informe.

7.1.2 Cambios en las restricciones

Se han realizado una serie de cambios en las restricciones que se han traducido en una modificación de las mismas, que incluyen la adición de nuevas restricciones, enmiendas a restricciones antiguas y la eliminación de algunas restricciones. Estos cambios se describen en los apartados 6.1.3 y 6.1.4. Sin embargo, como comentario general:

- a) Se han introducido restricciones adicionales para tener en cuenta situaciones en las que las restricciones de la ICNIRP (1998) no daban cuenta adecuadamente de los nuevos desarrollos tecnológicos, como aspectos relacionados con las tecnologías 5G.
- b) Se han modificado las restricciones existentes para mejorar la precisión basada en los avances científicos desde 1998, como un conocimiento más preciso sobre la relación entre el promedio espacial de la exposición y el aumento de la temperatura.
- c) Se han eliminado restricciones en situaciones en las que quedó claro que no era necesaria una restricción particular para brindar protección contra los efectos adversos para la salud.

Sin embargo, hay dos nuevos cambios en la ICNIRP (2020) que tienen el potencial de fortalecer aún más la protección de la salud. El primero se refiere a los campos electromagnéticos para frecuencias superiores a 6 GHz, donde operará parcialmente la tecnología 5G, añadiendo nuevas restricciones para reducir la exposición máxima localizada que una persona puede recibir. El segundo se refiere a exposiciones breves de CEM-RF (<6 minutos), para 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 la ICNIRP (1998) tenía una restricción para 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.

Otro aspecto importante a señalar es que la ICNIRP (1998) y la ICNIRP (2010) no diferenciaron entre trabajadoras embarazadas y no embarazadas en términos de sus restricciones de exposición ocupacional, lo que puede provocar que el feto quede expuesto por encima de las restricciones públicas generales más conservadoras. Aunque no hay evidencia que demuestre que la exposición ocupacional del feto resultaría en efectos adversos para la salud, como medida conservadora, **la ICNIRP (2020) trata al feto como un miembro del público en general y, por lo tanto, sujeto a las restricciones del público en general.** En consecuencia, para garantizar que la exposición fetal no exceda las restricciones de exposición para el público en general, la ICNIRP (2020) especifica que una trabajadora embarazada está sujeta a las restricciones públicas generales.

La ICNIRP no tiene conocimiento de ninguna situación en la que la exposición que cumpla con las pautas de 1998 haya provocado aumentos de temperatura transitorios que hayan afectado negativamente a la salud, pero estas nuevas restricciones garantizaran que los usos tecnológicos nuevos o futuros tampoco afecten negativamente a la misma.

Seguidamente se describen los cambios técnicos que afectan tanto a las restricciones básicas como a los niveles de referencia.

7.1.3 Cambios técnicos que afectan a las restricciones básicas

- Restricciones de exposición promedio en todo el cuerpo.

La restricción básica de exposición para todo el cuerpo en la ICNIRP (1998) se estableció en términos del parámetro SAR (*Specific Energy Absorption Rate* o Tasa de Absorción Específica de Energía). Este es también el caso para la ICNIRP (2020). Sin embargo, mientras que **esta restricción en las directrices de la ICNIRP (1998) solo se aplicaba hasta 10 GHz, ahora en la ICNIRP (2020) es aplicable en todo el rango de 100 kHz a 300 GHz.** Esto asegurará que las exposiciones a las nuevas tecnologías no conduzcan a un aumento excesivo de la temperatura en el interior del cuerpo. **El tiempo promedio**

para esta restricción también se ha cambiado de 6 minutos en la ICNIRP (1998) a 30 minutos en la ICNIRP (2020), para que coincida mejor con el tiempo necesario para que aumente la temperatura central del cuerpo. **Los valores de los límites de las restricciones básicas no han cambiado**, ya que la investigación ha demostrado que eran aún más conservadores de lo que se pensaba originalmente.

- *Cambios en la "frecuencia de transición" para la exposición local.*

Las restricciones para exposición local a CEM-RF utilizan diferentes parámetros (“*quantities*”) de exposición para diferentes frecuencias. **En la ICNIRP (1998) se usó SAR hasta 10 GHz, y se usó Densidad de Potencia (S) por encima de 10 GHz.** La frecuencia a la que se produce este cambio se la denomina "frecuencia de transición". Se utilizan diferentes cantidades porque el SAR puede subestimar la exposición superficial a frecuencias más altas, mientras que la Densidad de Potencia puede subestimar la exposición en el interior del cuerpo a frecuencias más bajas. Aunque no existe una “frecuencia de transición” ideal, la **ICNIRP (2020)** ha adoptado un enfoque pragmático y **ha reducido la frecuencia de transición de 10 GHz a 6 GHz**, al proporcionar una explicación más precisa de los valores a exposición general.

- *Restricciones a la exposición local, promedio de 6 minutos, hasta la frecuencia de transición (≤ 6 GHz).*

Ambas directrices, tanto en la ICNIRP (1998) como en la ICNIRP (2020), utilizan los mismos valores de restricción básica SAR, promediados en 6 minutos para proteger contra el aumento excesivo de la temperatura local. Sin embargo, mientras que la **ICNIRP (1998) requería promediar SAR sobre una región de tejido contigua de 10 gramos, la ICNIRP (2020) requiere que se promedie sobre una región cúbica de 10 gramos.** El cambio en el promedio espacial es proporcionar una mejor aproximación al aumento de la temperatura.

Al igual que con la ICNIRP (1998), la ICNIRP (2020) proporciona diferentes límites de exposición para diferentes regiones del cuerpo para frecuencias por debajo de la “frecuencia de transición”. Sin embargo, hay diferencias sutiles en cómo se definen estas regiones del cuerpo. En la ICNIRP (2020), estas diferencias se han tenido en cuenta al establecer las restricciones para la cabeza y el torso y las extremidades, que son las partes

del cuerpo que la ICNIRP (2020) considera **para simplificar la evaluación de la exposición. Por lo tanto, no es necesario tener en cuenta el detalle del tipo de tejido expuesto, solo si la exposición es de la cabeza y torso o de las extremidades.**

- Restricciones a la exposición local, promedio de 6 minutos, por encima de la frecuencia de transición (> 6 GHz)

Hay algunos cambios para evaluar la protección para exposición local por encima de 6 GHz:

1. Mientras que la **ICNIRP (1998)** usó la cantidad ***Densidad de Potencia Incidente***, la **ICNIRP (2020)** usa ***Densidad de Potencia Absorbida***. Esto se debe a que esta última es una medida de la exposición del cuerpo y, por lo tanto, satisface mejor el criterio de una 'restricción básica', mientras que la primera no es una medida tan precisa pues hasta el 50% de la densidad de potencia incidente es reflejada.
2. Mientras que la **ICNIRP (1998)** promedió sobre una región de **20 cm²**, la **ICNIRP (2020)** requiere un promedio sobre una región de **4 cm²** (y en algunas situaciones una región de 1 cm²). Este cambio también asegura que una exposición permisible de más de 20 cm² no pueda ser focalizada en una región pequeña y aumentar la temperatura en exceso. Por ejemplo, para una restricción basada en un área de promedio de 20 cm², una exposición homogénea en una región de 4 cm² puede ser 5 veces mayor que si se promedia en toda la región de 20 cm².
3. Para tener en cuenta los haces altamente directivos que pueden ocurrir por encima de 30 GHz, la **ICNIRP (2020)** también ha incorporado una restricción de **1 cm² para frecuencias superiores a 30 GHz**. No se establecen restricciones equivalentes por debajo de 30 GHz porque los haces no están "suficientemente" enfocados para causar daño. Debe tenerse presente, que los dos puntos anteriores son particularmente relevantes para garantizar la seguridad con las tecnologías futuras, como el 5G.
4. Mientras que la **ICNIRP (1998)** redujo el tiempo promedio a medida que la frecuencia aumentaba, este método no se usa en la **ICNIRP (2020)** porque

proporciona una predicción más pobre del aumento de temperatura que la “restricción de exposición breve” adicional que se ha introducido en la ICNIRP (2020).

5. El valor de la restricción básica para CEM-RF superiores a 6 GHz (ahora es Densidad de Potencia Absorbida en lugar de Densidad de Potencia Incidente) se ha establecido para proporcionar exposiciones máximas equivalentes en el cuerpo por encima y por debajo de 6 GHz. Esto da como resultado un valor de restricción básico numérico más alto para CEM > 6 GHz que en ICNIRP (1998). Sin embargo, **debido al uso de un área de promedio de 4 cm² en las presentes directrices, a diferencia de 20 cm² en la ICNIRP (1998), la exposición máxima en el cuerpo para CEM > 6 GHz ahora es menor de lo que fue el caso en la guía ICNIRP (1998).**

- Restricciones para exposiciones locales breves (<6 minutos).

Las exposiciones breves e intensas de CEM-RF pueden elevar excesivamente la temperatura local del tejido, incluso si la potencia promedio durante 6 minutos no excede las restricciones promedio de 6 minutos. Esto es particularmente relevante para frecuencias superiores a 30 GHz, pero también puede ocurrir por debajo 400 MHz. En consecuencia, la ICNIRP (2020) proporciona restricciones adicionales para garantizar que las exposiciones en intervalos breves no provoquen aumentos excesivos de temperatura. Estas restricciones se establecen en función de la duración de la exposición y son aplicables tanto a los CEM de RF continuos (por ejemplo, señales sinusoidales) como discontinuos (por ejemplo, señales pulsadas).

Para frecuencias comprendidas entre 400 MHz a 6 GHz, esta restricción se da en términos de SA (*Specific Energy Absorption* o Absorción de Energía Específica), y por encima de 6 GHz se da en términos de U_{ab} (*Absorbed Energy Density* o Densidad de Energía Absorbida). Estas restricciones asegurarán que las nuevas y futuras tecnologías, como el 5G, que utilicen frecuencias más altas, no den como resultado un aumento excesivo de temperatura debido a una breve exposición.

- Restricciones de estimulación nerviosa (100 kHz a 10 MHz).

La ICNIRP (2020) no ha reevaluado las restricciones básicas de la ICNIRP (2010) que fueron diseñadas para proteger contra la estimulación nerviosa. Esto ocurre en el rango de 100 kHz a 10 MHz, donde tanto la estimulación nerviosa como los efectos por calentamiento pueden estar presentes. **En su lugar, las restricciones básicas del la ICNIRP (2010) para la estimulación nerviosa se han agregado a las restricciones básicas de la ICNIRP (2020).**

7.1.4 Cambios técnicos en los niveles de referencia

- Niveles de Referencia Adicionales

Las guías de la ICNIRP de 1998 proporcionan niveles de referencia, principalmente, para exposición continua de todo el cuerpo, lo cual es adecuado cuando se evalúan el cumplimiento con las emisiones de CEM-RF de estaciones base de telefonía. Sin embargo, estos niveles no abarcan todos los tipos de restricciones básicas. En las guías de 2020, la ICNIRP proporciona niveles de referencia para todas las restricciones básicas, permitiendo una forma más sencilla de evaluar su cumplimiento.

Sin embargo, nótese que, debido a las complejidades relacionadas con las distinciones de campo cercano y campo lejano, seguirá habiendo situaciones en las que no sea posible utilizar los niveles de referencia (estas situaciones se especifican en las directrices).

- Eliminación de Niveles de Referencia

A diferencia de las pautas proporcionadas en las guías de 1998, en las guías de 2020, la ICNIRP elimina los valores de referencia en términos de campo eléctrico (E) y magnético (H), manteniendo únicamente el de densidad de potencia (S) para los niveles de referencia de cuerpo entero por encima de 2 GHz.

- Mayor Especificación de las normas de cumplimiento

Las Directrices de la ICNIRP de 1998, especifican niveles de referencia principalmente para escenarios de CEM de campo lejano, pero se permite que dichos niveles se empleen también en la zona de campo cercano. Sin embargo, las guías de la ICNIRP de 2020 proporcionan niveles de referencia para ajustarse a todos los tipos de restricciones básicas. Concretamente, se proporcionan niveles de referencia con diferentes requisitos para los CEM-RF en la zona de campo lejano, campo cercano radiado, y campo cercano reactivo.

Se debe tener en cuenta que, el grado en que los niveles de referencia se corresponden adecuadamente a las restricciones básicas también se ve afectado por otros factores que están fuera del alcance de las directrices de la ICNIRP de 2020. En consecuencia, la especificación precisa de las zonas de campo lejano, campo cercano radiado y campo cercano reactivo debe considerarse conjuntamente con otras características importantes del escenario de exposición, como la forma y el tamaño de la antena. En consecuencia,

se especifica en 2020 que se requiere la aportación de un organismo de normas técnicas para la especificación precisa de las zonas de campo cercano y lejano a fin de garantizar la concordancia entre los niveles de referencia y las restricciones básicas.

Es importante señalar que, en las guías de 2020 se especifica más claramente que, en algunos escenarios de exposición, los niveles CEM no son lo suficientemente informativos como para garantizar que los niveles de referencia se correspondan con las restricciones básicas. En tales casos, los niveles de referencia no pueden utilizarse para verificar el cumplimiento, y se requiere el cumplimiento de las restricciones básicas. Por ejemplo, para los CEM por encima de 2 GHz dentro de la zona de campo cercano reactivo, como los que emanan de muchos teléfonos móviles y se miden cerca del dispositivo, no se pueden utilizar niveles de referencia para demostrar el cumplimiento.

- *Diferencias en los Valores de Niveles de Referencia*

Como se ha mencionado anteriormente, las guías ICNIRP de 2020 establecen nuevas categorías de los niveles de referencia que no figuraban en las guías de 1998. De forma concreta, para las frecuencias menores de 30 MHz, en las guías de 1998 los niveles de referencia eran muy conservadores, ya que no se disponía de investigación suficiente. Adicionalmente, en 2010 la ICNIRP actualizó dichos valores, pero eran operacionalmente muy limitantes y tenían un soporte científico débil. Sin embargo, los conocimientos mejorados y acumulados hasta el momento de la publicación de las nuevas guías, hace que los niveles de referencia para las frecuencias de 100 kHz a 30 MHz para los campos E y H sean más altos en las guías de 2020 que en las de 1998. Además, mientras que los niveles de referencia de los campos E y H disminuyen con el incremento de la frecuencia hasta los 20 MHz en las guías de 1998, las investigaciones han demostrado que, para ajustarse a las restricciones básicas de todo el cuerpo, esta disminución con la frecuencia debe extenderse hasta los 30 MHz. Estas diferencias pueden verse en la Figura 9.

Como también puede verse en la Figura 9, **no hay diferencias entre los valores del nivel de referencia promedio de todo el cuerpo de la ICNIRP (1998) y la ICNIRP (2020) por encima de 30 MHz** (nótese que por encima de 2 GHz en las guías de 2020 sólo hay niveles de densidad de potencia). Sin embargo, como las normas para aplicar los niveles de referencia difieren entre las dos directrices, los mismos valores de nivel de referencia darán lugar a diferentes magnitudes de exposición a una persona. Es decir, la ICNIRP de 1998 no especificó valores de nivel de referencia separados para las exposiciones en las

zonas de campo lejano y cercano, sino que permitió que se utilizaran los valores de nivel de referencia de la zona de campo lejano para los campos dentro de la zona de campo cercano. Los nuevos conocimientos científicos permitieron que en la ICNIRP de 2020 se establecieran normas para la aplicación de los niveles de referencia en el campo cercano y en el campo lejano por separado. Esto garantizará que las exposiciones dentro de la zona del campo cercano no den lugar a una sobreexposición. Además, como se ha mencionado anteriormente, aunque la ICNIRP en 1998 permitió que se utilizaran los campos E y H para los niveles de referencia medios de todo el cuerpo en toda la gama de frecuencias de 100 kHz a 300 GHz, este método puede dar lugar a inexactitudes para las frecuencias superiores a unos 2 GHz dentro de la zona de campo cercano, por lo que en las nuevas directrices deben utilizarse medidas de densidad de potencia.

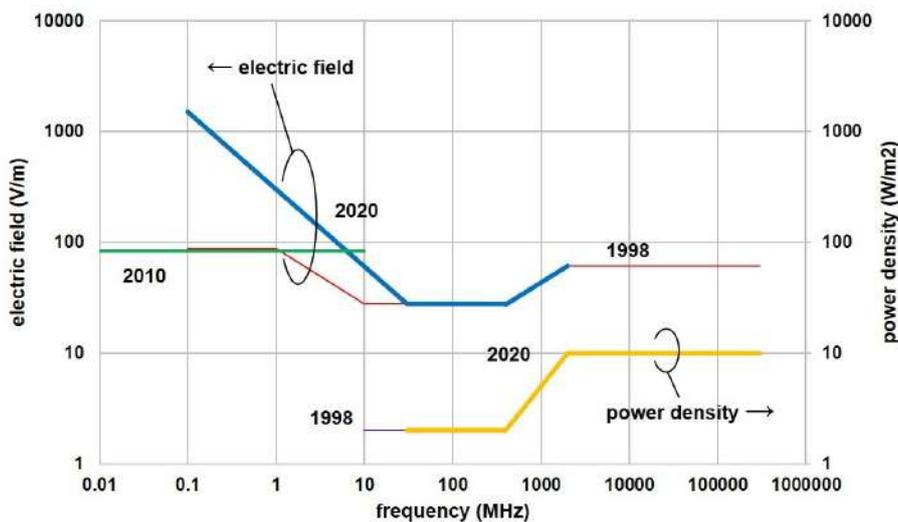


Figura 9 Niveles de referencia promedio de todo el cuerpo para el público en general (exposiciones > 30 min) para las directrices de la ICNIRP de 1998, 2010 (30 kHz a 10 MHz) y 2020, para la gama de frecuencias de 100 kHz a 300 GHz. Obsérvese que las unidades de los dos ejes verticales (campo eléctrico y densidad de potencia) son independientes entre sí [Fuente: ICNIRP].

7.2 IEEE

Entre sus estándares, el IEEE ha venido publicando diversas actualizaciones del “*IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz*”, siendo muy reciente la versión más actual de este estándar, bajo la denominación de IEEE Std C95.1™-2019 (IEEE, 2019).

Según se define en el mismo, el objetivo de este estándar es especificar los criterios y límites de exposición para proteger contra los efectos adversos para la salud en las personas asociados con la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos en el rango de frecuencia de 0 Hz a 300 GHz. El establecimiento y

descripción de límites es similar a los de la ICNIRP y a la implementación en la legislación española. En particular, este estándar se adelantó en algunas de sus modificaciones (frecuencia de transición de 6 GHz en lugar de la antigua de 10 GHz) a la revisión que se ha realizado de las recomendaciones de la ICNIRP muy recientemente aparecidas (ICNIRP, 2020).

Los límites, que incorporan márgenes de seguridad, se expresan en términos de dosimetría mediante límites de referencia o magnitudes in-situ (intensidad de campo, tasa de absorción específica -SAR- y densidad de potencia epitelial) y niveles de referencia de exposición o magnitudes externas, (campos eléctricos y magnéticos externos, densidad de potencia incidente, inducida y de contacto, corrientes y voltajes de contacto) más fáciles de medir y destinados a garantizar que no se excedan los límites de referencia. Los límites protegen contra los efectos adversos para la salud asociados con la electroestimulación de tejidos y el calentamiento local y de todo el cuerpo, y están destinados a aplicarse a las condiciones de exposición humana descritas. Es interesante recalcar que en el estándar se indica que estos niveles no están destinados a abordar las exposiciones de pacientes bajo el cuidado de profesionales médicos para los cuales se pueden aplicar otros riesgos y beneficios.

El proceso de revisión por el “IEEE International Committee on Electromagnetic Safety” (ICES) del IEEE se establece de forma que el IEEE ICES y sus subcomités están compuestos por personas con un interés material, pertenecientes a la administración, la industria y la Universidad, así como por profesionales independientes y público en general de acuerdo con los requisitos de membresía de todos los comités de normas desarrollados por el IEEE Standard Association (IEEE SA, s.f.). Se incluyen expertos de una variedad de disciplinas científicas como ingeniería, física, estadística, epidemiología, ciencias de la vida, medicina, evaluación de riesgos y gestión de riesgos.

Se estableció un grupo de trabajo de vigilancia para compilar una lista de citas de toda la literatura publicada relevante. El ICES acordó que solo los documentos revisados por pares y los informes técnicos de investigación original constituirían la base de datos primaria en la que se basaría cualquier análisis de riesgos. Se estableció un grupo de

trabajo de revisión de literatura (LRWG) que incluyó 16 grupos con las diferentes temáticas.

El ICES indica en este estándar un listado de hasta 74 instituciones internacionales que han revisado los efectos en la salud y que apoyan los límites de exposición establecidos en la versión 2005 de este estándar de seguridad (IEEE, 2006). Este listado de instituciones se referencia en (IEEE-ICES, 2020) y, basándose en sus declaraciones y en los nuevos estudios en las frecuencias **milimétricas**, ICES se centró fundamentalmente en el rango de frecuencias entre 6 GHz y 300 GHz para esta nueva revisión del estándar. En todo caso, el ICES sigue manteniendo una vigilancia de la literatura científica relevante incluido el esperado informe del Organización Mundial de la Salud OMS (WHO en inglés) “Environmental Health Criteria” (EHC), que se utilizará para actualizar la revisión y conclusiones de ICES.

La revisión de la literatura incluye elementos dosimétricos, pero, sobre todo y de manera conjunta, análisis de efectos biológicos. Por la dificultad de desimbricar ambas vertientes, se describirá en este apartado la revisión en su conjunto. En cuanto a los efectos, la revisión indica que se enmarcan en los denominados térmicos para altas frecuencias. Esta conclusión es consistente con las alcanzadas por otros grupos de expertos científicos y agencias gubernamentales, incluidas las siguientes revisiones o informes publicados hasta finales de 2017 (véase la lista de organizaciones e informes en las páginas 152 y 153 del estándar IEEE Std C95.1-2019 (IEEE, 2019)).

En el rango de 6 a 300 GHz, se han revisado estudios sobre termorregulación, neurofisiología, neuropatología, hematología, endocrinología, patología ocular, patología auditiva y percepción auditiva por microondas.

En el caso de estudios in vitro sobre células, este estándar agrupa tanto a las ondas radio por encima de 6 GHz como a las frecuencias de terahercios (THz).

Cabe hacer un inciso de la mención en este estándar de los efectos de las frecuencias de THz. En realidad, la banda de **terahercios** (THz) se define en el rango entre 300 GHz y 3000 GHz (o entre 300 GHz y 10 THz según otras clasificaciones), pero a veces también es comúnmente descrita de forma extensiva entre los centenares de GHz hasta las decenas

de miles de GHz. Se puede decir que es una banda de frecuencias que se encuentra entre la región de radiofrecuencia y la infrarroja.

La naturaleza no ionizante de los terahercios los hace atractivos para aplicaciones de salud y son prometedores como alternativa y complemento a algunas tecnologías de imagen actuales. Las imágenes en terahercios ofrecen una alternativa no invasiva no ionizante a los rayos X y también pueden proporcionar un mayor contraste en el diagnóstico clínico. Aplicaciones en imagen médica como la detección de cáncer, cáncer de piel, inspección de heridas y quemaduras y las imágenes dentales son candidatos inmediatos con algunas investigaciones iniciales prometedoras (Heidari, 2015). También la espectroscopía de THz parece tener potencial aplicación en el diagnóstico sobre sustancias biológicas incluso en el monitoreo de la calidad del aire.

El primer efecto directo esperable de la exposición de tejidos biológicos a frecuencias de THz es de naturaleza térmica y, por lo tanto, predecibles por los modelos térmicos convencionales. Teniendo en cuenta que las ondas de terahercios son fuertemente absorbidas por moléculas polares como el agua, la intensidad del pulso transmitido se reduce hasta el 99% después de 500 μm de piel (Fitzgerald, 2003).

Volviendo al estándar IEEE Std C95.1™-2019 y a la revisión realizada por el ICES, el rango de frecuencias de exposición investigado en el estándar es muy amplio, desde ondas milimétricas a terahercios (6 GHz a 60 THz); sin embargo, solo se han identificado 19 publicaciones que tratan sobre *aspectos biológicos de proliferación celular y la apoptosis*. Dentro de estos estudios se emplearon condiciones de exposición muy diferentes, incluidas numerosas frecuencias y niveles de densidad de potencia, así como duraciones de exposición a corto plazo (minutos) y a mediano plazo (varias horas). Por otro lado, se indica que el aumento de temperatura debe controlarse muy bien, ya que la temperatura aumenta rápidamente dentro de las soluciones que contienen agua en este rango de frecuencias y con las densidades de potencia aplicadas. Los datos presentados también consideran los llamados efectos no térmicos (bajo nivel), "respuestas biológicas", según los autores. Los efectos térmicos se consideraron "sin respuesta" o se mencionaron como "respuesta de efecto térmica".

Determinar si cada estudio se ha realizado bajo condiciones de temperatura controlada se considera fundamental y un elemento de calidad del estudio.

De 19 estudios, 14 detectaron respuestas después de la exposición al campo electromagnético (EMF). Sorprendentemente, entre estos estudios, el 60% no controló el cambio de temperatura. Por lo tanto, es difícil identificar si estas respuestas son el resultado del aumento de temperatura inducido por la exposición a los CEM, o como los propios autores declararon, estas respuestas son no térmicas.

El LWRG también analizó otras características de calidad relevantes. Solo el 68% aplicó control simulado, el 58% realizó dosimetría, el 42% usó control positivo y solo el 5% de los estudios se realizó de forma ciega, en este caso, un solo estudio.

Por ello, se considera que los controles en los experimentos necesitan mejorarse y no se considera adecuado sacar conclusiones sobre efectos biológicos. Aun así, se describen dichos experimentos *in vitro* que involucran frecuencias milimétricas (53,57 GHz a 78,33 GHz; 100 GHz a 150 GHz; 60,42 GHz; 42,25 GHz) y 7 publicaciones en las que los autores hablan de frecuencias de THz (0,12 THz a 0,18 THz; 0,106 THz; 0,1 THz a 0,15 THz), con resultados diversos e incluso contradictorio entre ellos.

Por otro lado, el estándar identifica un total de 14 publicaciones sobre efecto biológico manifestado *en genes y proteínas*. Dichos estudios involucran frecuencias desde 42,25 GHz a 10 THz y densidades de potencia entre 0,1 mW/cm² y 84 mW/cm² (salvo en una publicación con 1670 mW/cm²) y con tiempos de exposición entre minutos y horas.

Dentro de estas 14 publicaciones, todos utilizaron control simulado, dosimetría, controles positivos y control de temperatura. Sin embargo, ninguno de ellos se realizó de manera ciega. Ninguna de las investigaciones detectó respuestas inducidas después de la exposición a ondas milimétricas; sin embargo, debido al pequeño número de publicaciones disponibles, la evaluación o cualquier tipo de análisis no es posible. Del mismo modo, dado que solo cinco publicaciones tratan sobre la exposición a THz, una evaluación general no es apropiada.

Las conclusiones de esta revisión coinciden en gran parte con otra revisión de estudios (Simkó & Mattsson, 2019), detallado en el capítulo siguiente, y que cubre algunas bandas de milimétricas, en particular, en el rango de 30,1 a 65 GHz. También aquí los autores hacen incapié en lo reducido del número de estudios y que muchos de ellos no cumplen exigencias mínimas de calidad en las metodologías para poder extraer conclusiones.

Tras los análisis y revisiones realizadas, para una exposición de cuerpo entero, los límites de este estándar se basan en el precedente IEEE Std C95.1-2005 (IEEE, 2006), que son consistentes con las recomendaciones de la ICNIRP (ICNIRP, 1998) y con la normativa española (Ministerio de la Presidencia, 2001).

Como elemento de consistencia hay que indicar que los límites a 300 GHz para personas autorizadas en ambientes restringidos son los mismos que los correspondientes valores en estándares existentes para exposición al rango de frecuencias de infrarrojo que empieza en 300 GHz ((ANSI, 2014), (IEC, 2014)). En todo caso, las frecuencias y longitudes de onda que cubren este estándar del IEEE corresponden a la región “no ionizante” del espectro electromagnético.

Los límites establecidos para ser conforme a este nuevo estándar IEEE C95.1-2019, se encuentran recogidos en cuanto a niveles de exposición de referencia (cuerpo entero) a frecuencias milimétricas en la Tabla 17, donde se comparan con los de otras recomendaciones y normas.

Recomendación -Estándar- Organismo	Frecuencia	Restricciones básicas/ límites de referencia dosimétrico		Niveles de referencia / niveles de referencia de exposición (incidentes, rms)	
		SAR medio cuerpo entero (W/kg)	Densidad de potencia (W/m ²)	Campo eléctrico (V/m)	Densidad de potencia (W/m ²)
RD1066/ 2001	10-300 GHz		10	61	10 ^(b)
ICNIRP 1998	10-300 GHz		10 ^(d)	61	10 ^(b)
ICNIRP 2020	6-300 GHz	0,08 ^(c)	20 ^(a, e)		10 ^(c)
IEEE C95.1- 2019	6-300 GHz	0,08 ^(c)	0.4 ^(c)		10 ^(c, e)

- (a) Promedio temporal > 6 min
- (b) Promedio temporal > 68/(f^{1,05}) min
- (c) Promedio temporal > 30 min
- (d) Promedio espacial en 20 cm²
- (e) Promedio espacial en 4 cm²

Tabla 17 Límites de exposición (cuerpo entero) en frecuencias milimétricas

7.3 La ITU, el 5G y las ondas milimétricas

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT, o “ITU” en inglés) es el organismo especializado en telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas. Fundada en 1865 para facilitar la conectividad internacional de las redes de comunicaciones, atribuye el espectro de frecuencias radioeléctricas en el plano mundial y las órbitas de satélite; elabora las normas técnicas que garantizan la interconexión armoniosa de redes y tecnologías, y realiza una labor de desarrollo dando acceso a las TIC a las comunidades insuficientemente atendidas del mundo.

La ITU lanzó en 2019 el documento “Supplement 9 to ITU-T K-series Recommendations” (ITU, 2019) que analiza del impacto de la implementación de los sistemas de comunicaciones móviles con tecnología 5G respecto al nivel de exposición de campos electromagnéticos.

En este documento se indica que el despliegue de 5G implica la introducción, en alguna de sus etapas, de capa física de radio en ondas milimétricas. Las bandas de milimétricas, como la de 24-86 GHz, se utilizan fundamentalmente en los enlaces satelitales y en los radioenlaces actuales punto a punto. Estas frecuencias son de interés para futuros despliegues de 5G como bandas complementarias para un incremento notable de la capacidad del sistema, sobre todo para comunicaciones de corto alcance y cobertura en interiores.

Además, debido a esas frecuencias mayores y sus características de propagación, se espera que el número de estaciones base aumente, con redes que impliquen un despliegue de celdas más pequeñas, tecnologías avanzadas de antenas (MIMO) que utilicen haces estrechos redireccionables hacia los usuarios y con un escenario de emisiones posiblemente diferente al de los sistemas actuales.

Por un lado, la introducción de 5G podría incrementar los niveles de señales radio debido a la aparición de nuevos transmisores activos, sobre todo en un intervalo temporal de convivencia con sistemas anteriores. Basándose en anteriores transiciones de generaciones de sistemas de comunicaciones móviles, no se espera que niveles de exposición totales cambien sustancialmente y que sigan siendo una fracción de los límites de exposición de las recomendaciones de ICNIRP.

5G utilizará arquitecturas de radio y de red más eficientes en recursos energéticos y en el uso de señales de niveles más bajos que, junto a la disminución de tamaños de celda, son factores que apuntarían a tener niveles de exposición más bajos cerca de las estaciones base. Estas características se acentúan en el caso de los dispositivos IoT con tecnología 5G ya que, aunque se espera un incremento sustancial de los mismos, los dispositivos IoT se comunicarán en intervalos periódicos de tiempo muy pequeños y con cantidades de datos muy limitadas. Por ello, incluso los dispositivos “woreables”, localizados cerca del cuerpo humano, con sus transmisiones de baja potencia y corta duración, implicarán niveles de exposición muy limitados.

Este documento de ITU indica como referencia las recomendaciones y límites de exposición de la “*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*”

(ICNIRP)” y del “*Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*” y recomienda utilizarlos en el caso de que un país no tenga regulación al respecto o su regulación no cubra las frecuencias de interés. También indica que la investigación de los efectos en la salud debidos a la exposición de ondas milimétricas lleva décadas y continúa, habiendo pocos estudios biológicos en frecuencias por encima de 24 GHz. El documento de ITU también referencia la plataforma EMF-Portal (EMF-Portal, s.f.) donde se recogen algunos estudios sobre investigación en ondas milimétricas y salud.

Además, en el documento de ITU se indica que los enfoques de evaluación de exposición a RF basados en la PIRE (directamente o derivada de la potencia transmitida máxima) descritos en (ITU, 2019), (ITU, 2019), (IEC, 2019) son apropiados para estaciones base con sistemas MIMO masivos teniendo en cuenta el tiempo promedio según lo definido en los límites de exposición internacional (ICNIRP).

7.4 FCC

En Estados Unidos, el órgano competente para garantizar la protección frente a la exposición a CEM es la Comisión de Comunicaciones Federal (FCC, acrónimo de su nombre en inglés *Federal Communications Commission*). En 1996 estableció una serie de normas con valores muy similares a los de la ICNIRP y desde entonces sigue revisando los nuevos estudios en busca de evidencias científicas por si estos límites debían ser modificados. En noviembre del 2019, la FCC publicó una nota en la que considera que los límites de protección a campos electromagnéticos siguen siendo seguros a la vista de los más recientes estudios científicos. Para poder realizar esta afirmación, además de los estudios de sus miembros y asesores, la FCC solicitó, en marzo de 2019, su opinión por carta a otro organismo independiente, la U.S: *Food and Drugs Administration (FDA)* quien había realizado estudios independientes. En una carta fechada en abril de 2019, la FDA responde que considera los límites seguros si bien propone algunas modificaciones metodológicas menores que afectan al intervalo de frecuencias de 100 kHz a 300 kHz.

Posteriormente, en febrero del 2020, la FDA publicó el resultado de una revisión de todos los estudios epidemiológicos realizados entre 2008 y 2018. A la vista de los mismos considera que no hay ninguna evidencia científica que relacione la exposición a CEM

dentro de los niveles permitidos con la incidencia del cáncer. En sus conclusiones indica que, en general, los estudios se centran en estudiar la incidencia de cáncer en la población general, pero que, considerando que hoy en día se sabe que en la mayoría de los casos la aparición del cáncer es el resultado de una combinación de factores, los estudios deberían enfocarse en el estudio de la aparición de cáncer en las personas más predispuestas a ello por tener otras patologías. Pese a esta crítica metodológica, indica que no hay ninguna evidencia de que los CEM a los niveles permitidos puedan tener incidencia en la aparición de los casos de cáncer en estas personas especialmente sensibles.

7.5 Tabla Comparativa Límites

Seguidamente se incluye una Tabla comparativa de los límites de exposición en las distintas bandas de emisiones de CEM-RF para público en general. Se comparan los valores del ICNIRP (1998) e ICNIRP (2020) y los de la directiva C95.1 de 2019 del IEEE.

Recomendación-Estándar-Organismo	Frecuencia	Restricciones básicas/ límites de referencia dosimétrico		Niveles de referencia / niveles de referencia de exposición (incidentes, rms)	
		SAR medio cuerpo entero (W/kg)	Densidad de potencia (W/m ²)	Campo eléctrico (V/m)	Densidad de potencia (W/m ²)
RD1066/ 2001	10-400 MHz	0,08 ^(a)	10	28	2 ^(a)
	400 -2000 MHz	0,08 ^(a)		1,375f ^{1/2}	f/200 ^(a)
	2-10 GHz	0,08 ^(a)		61	10 ^(a)
	10-300 GHz			61	10 ^(b)
ICNIRP 1998	10-400 MHz		10 ^(d)	28	
	400-2000 MHz	0,08 ^(a)		1,375f ^{1/2}	f/200 ^(a)
	2-10 GHz	0,08 ^(a)		61	10 ^(a)
	10-300 GHz			61	10 ^(b)
ICNIRP 2020	30-400 MHz	0,08 ^(c)		27,7 ^(c)	2 ^(c)

	400-2000 MHz	0,08 ^(c)		1,375f ^{1/2} ^(c)	f/200 ^(c)
	2-6 GHz	0,08 ^(c)			10 ^(c)
	6-300 GHz	0,08 ^(c)	20 ^(a, e)		10 ^(c)
IEEE C95.1- 2019 (c)	30-100 MHz	0,08	0.4	27,5	2
	100-400 MHz	0,08	0.4	27,5	2
	400-2000 MHz	0,08	0.4		f/200
	2-6 GHz	0,08	0.4		10
	6-300 GHz	0,08	0.4		10 ^(e)

Tabla 18 Tabla Comparativa Límites IEEE, ICNIRP y Real Decreto 1066 /2001 para público en general, cuerpo completo

8 COMUNICACIÓN DEL RIESGO

8.1 Introducción

Los campos electromagnéticos (CEM) han estado presentes en la naturaleza desde antes de la aparición del ser humano, ya que la luz solar, los rayos cósmicos, las tormentas o la radiación natural terrestre son fuentes de exposición a estos campos. El desarrollo de la electricidad y de las tecnologías de la comunicación ha multiplicado las fuentes y diversificado sus características. La exposición personal a estos CEM ha aumentado drásticamente y los ciudadanos, en la actualidad, están expuestos a numerosas fuentes de CEM artificiales como las líneas de alta tensión, los electrodomésticos, los radares, la radio o la televisión, los teléfonos móviles, las redes inalámbricas Wi-Fi, Bluetooth, etc. Son innumerables las aplicaciones y beneficios que estos CEM aportan en nuestra vida, cabe destacar, además de las aplicaciones en telecomunicaciones, los usos en medicina de los infrarrojos, las microondas, la radiación ultravioleta o las radiaciones utilizadas en imagen médica como los rayos X, la tomografía computarizada, la medicina nuclear o la resonancia magnética, por destacar algunas.

En este contexto, la generalización de las tecnologías de la información y de la comunicación ha venido acompañada de informaciones provenientes de diferentes fuentes, algunas relevantes para la opinión pública, alertando sobre sus posibles efectos y, consecuentemente, de un incremento de la preocupación de la población por los posibles efectos que estos CEM podrían tener sobre la salud. En particular de esos CEM utilizados en comunicaciones, radiación de radiofrecuencia (RF), poco energética y no ionizante. A pesar de que, a los niveles habituales a los que estamos expuestos en nuestra vida diaria (Sagar et al., 2017; Chiaramello et al., 2019; Jalilian et al., 2019) o incluso en condiciones extremas de exposición (Ramirez-Vazquez et al., 2019b), los mecanismos de interacción, fundamentalmente calentamiento, de este tipo de radiación de RF son despreciables. Además, dada la naturaleza de estas radiaciones, muy poco energéticas, lejos de las energías/frecuencias ionizantes, es improbable una relación clara con la salud (Rööslí et al., 2010; Rubin et al., 2010; Repacholi et al., 2012; Baliatsas et al., 2012; Foster & Moulder, 2013; Klaps et al., 2016).

Por eso, es importante revisar sistemáticamente el conocimiento científico, el estado de la ciencia, sobre los límites máximos de exposición personal, que se fijaron incluyendo un factor de precaución teniendo en cuenta los umbrales de exposición a los que los efectos, térmicos y otros, podrían no ser despreciables.

Así, la Comisión Internacional para la Protección frente a Radiaciones No Ionizantes (*ICNIRP*) revisa periódicamente la evidencia científica disponible para establecer los límites máximos de exposición. Esta Comisión recomienda valores máximos para campos electromagnéticos no ionizantes, abarcando desde campos eléctricos y magnéticos estáticos (Ziegelberger, 2009), baja frecuencia de 1 Hz a 100 kHz (ICNIRP, 2010), alta frecuencia de 100 kHz a 300 GHz usados en telecomunicaciones (Ahlbom et al., 1998) cuya revisión se ha publicado en marzo de 2020.

Por su parte, la Comisión Europea, por recomendación del Consejo de 12 de julio de 1999 (Consejo de la Unión Europea, 1999), relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz), ha revisado periódicamente los posibles efectos potenciales de los CEM, mediante la revisión de la literatura científica por comités de científicos independientes (*Scientific Committees in Public Health—European Commission*). Asimismo, ha difundido información y contribuido al establecimiento de un marco regulatorio para la protección de los trabajadores y el público y para la comercialización de productos. Una de esas comisiones de expertos, publicó una “*final opinion*” sobre los “Efectos potenciales sobre la salud de la exposición a campos electromagnéticos” que se publicó el 20 de enero de 2015 (SCENIHR, 2015) descartando cualquier efecto sobre la salud (cáncer, infertilidad, hipersensibilidad, efectos a largo plazo, efectos cognitivos, enfermedades neurológicas, etc.) de la exposición personal a CEM de RF (CEM-RF) a los niveles habituales de exposición.

A pesar de las evidencias, en 2010, fecha del último eurobarómetro específico disponible sobre campos electromagnéticos (*Eurobarometer 73.3- Electromagnetic Fields*, 2010), un importante porcentaje de los encuestados asociaban riesgos sobre la salud a líneas de alta tensión (70%), antenas de telefonía móvil (70%) y teléfonos móviles (67%). En países como Italia, Grecia, Portugal o Chipre estos valores alcanzan en algunos casos el 95% y en España fueron del 80%, 75% y el 68% respectivamente. En conclusión, un 51% de los europeos indicaron estar preocupados por los riesgos sobre la salud de los CEM.

Los resultados de la Encuesta de Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología llevada a cabo en 2018 por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT, 2018) ponen de manifiesto la complejidad de la tarea de comunicar eficazmente cuestiones. Sus resultados también confirman la tendencia de encuestas anteriores con respecto a que Internet ha sustituido a la televisión, que ocupa el segundo lugar en preferencia, como el medio preferido para informarse sobre cuestiones científicas y tecnológicas, además, esa preferencia es mayor entre los jóvenes. También muestra que las cuestiones relacionadas con la salud interesan más a las mujeres que a los hombres y que la formación, clase social, sexo, edad, lugar de residencia son factores que afectan a la opinión sobre la relevancia de los asuntos. Una de las conclusiones de la encuesta es la necesidad de “promover una sociedad más crítica e informada, que apueste por el conocimiento, la evidencia y el rigor científico”, conclusión que, aunque se deduce de la pregunta relacionada con la ciencia aplicada a la salud y a las terapias pseudocientíficas, es extensible a la cuestión de las radiofrecuencias y la salud, si consideramos la relación generalmente existente entre activistas a favor de esas pseudoterapias y contra los CEM. El Comité Científico Asesor en Radiofrecuencia y Salud (CCARS) en el informe de 2016 (CCARS, 2016) ya evaluó, en particular con respecto a la hipersensibilidad electromagnética, cómo la información y la comunicación condicionaban la percepción del riesgo. Por todo ello, el objetivo de este capítulo es evaluar la evidencia científica disponible sobre la percepción del riesgo de los CEM-RF, el efecto de la información recibida y proponer estrategias para mejorar esa percepción.

8.2 La controversia social en torno a las infraestructuras de telefonía móvil

A mediados de los años 90 del pasado siglo, se comenzaron a desplegar, de manera simultánea en todo el mundo, redes de antenas para la prestación del servicio de telefonía móvil. Aunque los despliegues se hacían con estándares técnicos internacionales que ya tenían en cuenta la protección de la población a los efectos de los CEM-RF, limitando la exposición y, por lo tanto, la potencia de emisión de teléfonos y antenas, no se ofreció a la población la suficiente información al respecto. A pesar de una reacción rápida por parte de organismos, operadoras, expertos, etc., una percepción elevada del riesgo se propagó rápidamente entre los ciudadanos y en instituciones, administraciones locales y asociaciones. Así se produjo una situación paradigmática: por un lado, el rechazo a las

antenas que prestan el servicio era un fenómeno global al tiempo que crecía la demanda universal del servicio.

Tanto la Organización Mundial de la Salud (OMS) como la Unión Europea (UE) fueron conscientes a principios de los 2000 de esa carencia y de la necesidad de dar respuesta a una inquietud y percepción social del riesgo asociado a la telefonía móvil. Aunque esta percepción e inquietud estaban sobredimensionados.

A pesar de los esfuerzos realizados para informar y tranquilizar a la población, la OMS ya en su Nota N° 304 de mayo 2006 sobre “Los campos electromagnéticos y la salud pública” (OMS, 2006) reconocía que “...algunas personas consideran probable que la exposición a RF entrañe riesgos y que éstos puedan ser incluso graves. Ese temor se debe, entre otras cosas, a las noticias que publican los medios de comunicación sobre estudios científicos recientes y no confirmados, que provocan un sentimiento de inseguridad y la sensación de que puede haber riesgos desconocidos o no descubiertos. Otros factores son las molestias estéticas y la sensación de falta de control y participación en las decisiones de ubicación de las nuevas estaciones de base. La experiencia demuestra que los programas educativos, así como una comunicación eficaz y la participación del público y otras partes interesadas en las fases oportunas del proceso de decisión previo a la instalación de fuentes de RF, pueden aumentar la confianza y la aceptación del público”. La OMS en su nota de revisión de 2014, a la pregunta “¿tienen los móviles efectos en la salud?”, contesta: “En los dos últimos decenios se ha realizado un gran número de estudios para determinar si los teléfonos móviles pueden plantear riesgos para la salud. Hasta la fecha no se ha confirmado que el uso del teléfono móvil tenga efectos perjudiciales para la salud” (OMS, 2014).

El anuncio del despliegue de la quinta generación de telefonía móvil, 5G, ha vuelto a agitar el miedo y la alarma de los efectos sobre la salud de la RF, que muchos creían ya superado. Y, a pesar de que casi 30 años después, el paso del tiempo ha quitado validez al argumento fundamental de los que aseguraban, e incluso describían, los numerosos y graves efectos causados o agravados por la exposición a CEM-RF que observaríamos, éste vuelve a esgrimirse ante esta nueva tecnología.

8.3 Riesgo y percepción del riesgo

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.

Por esto, para gestionar el riesgo se ha de tener en cuenta el riesgo determinable técnicamente y el riesgo percibido. Como se ha indicado, 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 los beneficios percibidos y, así, tendremos una escala de percepción en la que el riesgo se considere despreciable, aceptable, tolerable o inaceptable dependiendo de diferentes factores. 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).

Son numerosos los autores e instituciones que tienen en cuenta el factor humano cuando afrontan la cuestión de la gestión y la comunicación del riesgo. En este sentido, Sandman (2016) ilustra de forma brillante que las creencias u opiniones son mucho más importantes a la hora de percibir el riesgo, y crear indignación y rechazo, que factores científicos como los niveles de exposición o los mecanismos de interacción al decir que “los riesgos que te matan no son necesariamente los riesgos que te preocupan y te asustan”.

8.4 Percepción del riesgo de los campos electromagnéticos

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.

Son muchos los factores que influyen en los niveles de exposición: la potencia emitida, la distancia a la antena, pero también la directividad, la ganancia, la zona a la que está enfocando, etc. Por tanto, la exposición personal a CEM-RF es difícil de evaluar de forma intuitiva y, consiguientemente, la percepción del riesgo dependerá de una magnitud, la exposición, que una persona no puede evaluar intuitivamente, sin medir. 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 evaluación 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.

8.5 Comunicación del riesgo de los campos electromagnéticos

El Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos define la comunicación del riesgo como el “proceso interactivo de intercambio de información y opinión, que implica múltiples mensajes acerca de la naturaleza del riesgo y otros mensajes, no estrictamente acerca de los riesgos, que expresan preocupación, opiniones o reacciones a mensajes de riesgo o planes legales e institucionales de gestión del riesgo” (OMS, 2005).

En definitiva, puesto que la percepción del riesgo se ve influenciada por múltiples factores, su comunicación no debe consistir únicamente en mostrar los resultados científicos, sino que las preocupaciones éticas y morales también serán elementos fundamentales que se deben tener en cuenta. O el grado de indignación que siente el ciudadano, cómo describe Sandman (2016).

Cabe destacar en este punto la influencia de los medios de comunicación en los procesos de comunicación masiva, ya que tienen un enorme impacto tanto en la manera en que se percibe el riesgo, como en el éxito o fracaso en las medidas de las instituciones para gestionarlo, especialmente si pensamos en riesgos sanitarios (tabaquismo, sedentarismo, vacunas, pandemias...). Por un lado, son una herramienta efectiva para aumentar el conocimiento, difundir mensajes claros e incrementar la participación individual en la prevención y el control (cambio en forma de vida, vacunaciones, precauciones en caso de alertas sanitarias...); por otro lado, ha de tenerse en cuenta que son igualmente efectivos

diseminando información inadecuada, reduciendo la confianza en las instituciones y adoptando las recomendaciones de las instituciones o administraciones responsables de la salud pública.

Nos encontramos en un momento de cambio radical en la forma de acceder y difundir información en lo que Valkenburg et al. (2016) han llamado “desmasificación de los medios de comunicación masiva”. La información personalizada accesible a través de la web, conforme a algoritmos de funcionamiento de los buscadores o plataformas que poco o nada tienen que ver con el conocimiento científico o la utilidad pública, permite al usuario aumentar su unión cognitiva y emocional, potenciando el sesgo de confirmación mediante el acceso o búsqueda de información, con resultados acordes a sus gustos o creencias, pero que, de alguna manera, limita el acceso a información crítica.

El análisis del contenido de páginas web y periódicos holandeses demostró cómo, a menudo, se transmite información contradictoria en contra de la evidencia científica disponible, ya que en ellos se informaba de la relación entre la exposición a CEM-RF con la aparición de síntomas o determinadas enfermedades como algunos tipos de cáncer (incluida la leucemia infantil) o el Alzheimer (Claassen et al., 2012). Además, en general, privilegian la comunicación de los aspectos negativos, ya que los humanos ponemos más interés en la información sobre alertas y aspectos perjudiciales para la salud, y con ello consiguen un mayor impacto y audiencia (Withthöft et al., 2018). Así, Claassen et al. (2012) indicaron que todos los canales de información adquieren importancia, dando relevancia tanto a las conversaciones con amigos y familiares, como a la información que les llega a través de las redes sociales y de medios de comunicación.

Por ello, es fundamental que la población acceda a información científica y fiable pero también sencilla de entender. Es ahí donde los científicos deberíamos asumir una mayor responsabilidad en divulgar la evidencia científica de forma clara y comprensible para la mayoría de la población. Los gobiernos deberían informar sobre las normas que regulan y controlan la seguridad y que sean los profesionales quienes, basándose en datos objetivos, tomen las decisiones, y las comuniquen a los ciudadanos. Todo ello teniendo en cuenta que la comunicación entre las diferentes partes debe hacerse de la forma más clara y efectiva posible (Eagleman, 2013).

La comunicación de riesgos por lo no expertos, en muchas ocasiones, se basa más en supuestos generales que en investigaciones sistemáticas o evidencias científicas (Fischhoff *et al.*, 2011). (Boehmert *et al.*, 2019) realizaron una revisión sistemática y metaanálisis sobre la comunicación de riesgos con respecto a los CEM-RF de las tecnologías de comunicación móvil incluyendo un total de 28 trabajos que fueron asignados a nueve categorías diferentes. No solo analizaron los efectos principales de la comunicación del riesgo sino también las interacciones con las características del propio receptor de la información que, como se ha indicado, puede condicionar plenamente la construcción de esa percepción. Así, los análisis de interacción sugirieron que, especialmente, la percepción de riesgo previa condicionaba la evaluación individual de la información sobre CEM-RF e influye en la credibilidad, la interpretación, la persuasión y, finalmente, en el efecto de la comunicación en la percepción del riesgo. A continuación, dado que la revisión sistemática de Boehmert *et al.* (2019) evalúa de forma exhaustiva las diferentes posibilidades, resumimos y ampliamos las más relevantes.

8.6 Comunicación de los límites y valores normales de exposición

Pocos estudios se han centrado en evaluar el efecto de la comunicación de los límites y valores reales de exposición. Wiedemann *et al.* (2008) evaluaron el efecto de informar sobre los valores de Tasa de Absorción Específica (SAR por sus siglas en inglés) sobre la percepción de riesgo sin encontrar relación. Nielsen (2010) concluyó que aportar información sobre qué hacer y qué no hacer proporcionaba más confiabilidad que la información técnica y objetiva. Además, que el proceso de informar puede aumentar la preocupación de parte de la población.

Ramírez-Vazquez *et al.* (2019a), gracias a la colaboración de 75 voluntarios portando exposímetros personales durante periodos de 24 horas, caracterizaron la exposición personal a CEM-RF en la ciudad de Albacete (España) y valoraron la percepción del riesgo. Los voluntarios recibieron toda la información de la exposición registrada para diferentes bandas de frecuencia. Los autores compararon la percepción del riesgo para diferentes bandas de frecuencia expresada por los participantes con la percepción de no participantes. En general, la percepción de riesgo de los participantes fue inferior a la de los no participantes, además, indicaron que ésta había bajado con respecto a su percepción antes de participar en el estudio. No obstante, ésta se había incrementado para bandas de

frecuencia como FM o TV a las que el grupo control no asignaba riesgo previamente; el acceso a la información había hecho aparecer un riesgo que los voluntarios no habían tenido en cuenta antes.

De forma similar, Zeleke et al. (2019) establecieron tres grupos con un total de 383 voluntarios: un grupo con información básica, otro con mensajes de precaución y un tercer grupo que recibió información sobre las mediciones de exposición personal. Este grupo sería similar al de Ramírez-Vazquez et al. (2019a). Pero, en este estudio, no encontraron diferencias estadísticamente significativas, por lo que la diferencia en la información recibida no afectaría al riesgo percibido por cada individuo.

8.7 Informar sobre la (no) existencia de riesgo

Otra manera de intentar reducir la percepción de riesgo es informar sobre la ausencia de riesgo. El problema reside en que los sujetos con una mayor percepción de riesgo son difíciles de persuadir, puesto que la credibilidad de los datos dependerá de la predisposición del sujeto. Así, darán mayor credibilidad a los datos que demuestren posibles efectos sobre la salud por lo que el resultado global sería el de no conseguir ningún cambio en la percepción (Boehmert et al., 2019).

En este sentido, Hartung et al. (2014) evaluaron si este tipo de información podría tener un efecto boomerang como ocurre con la información sobre drogas a drogodependientes o consumidores. Este efecto consiste en que la comunicación persuasiva provoca la respuesta opuesta a las intenciones del mensaje. Así, evaluaron el efecto que un mensaje claro tendría sobre diferentes grupos de sujetos y si habría diferencias cuando el mensaje era corto o más elaborado. Encontraron este efecto boomerang en las diferentes situaciones concluyendo que una comunicación razonable, no conseguirá el efecto deseado y que, incluso, mensajes breves y claros, conseguirían el efecto contrario.

8.8 Información sobre medidas de precaución

Otra forma de intervenir sobre la percepción del riesgo es la de ofrecer información sobre medidas de precaución como usar auriculares con cable cuando se usa el teléfono móvil o no usarlo en una gasolinera.

En este caso, este tipo de mensajes sobre medidas de precaución tendrían un efecto negativo involuntario sobre la percepción del riesgo (Boehmert et al., 2016). Este estudio desarrollado en Australia con 1.717 residentes mostró que intentar enmendar los mensajes de precaución para conseguir una mayor coherencia no tenía ningún efecto mientras que explicar la ineficacia de las medidas de precaución aumentó esa percepción de riesgo condicional. De modo que cambiar los mensajes de medidas de precaución con el fin de conseguir mayor consistencia y efectividad para reducir el riesgo, no produjo el efecto deseado.

Recientemente, Waters et al. (2019) han evaluado si ofrecer información sobre medidas de precaución condiciona el comportamiento futuro sobre la percepción del riesgo. La información condicionada produjo una mayor percepción de riesgo y fue mayor en los sujetos con mayor formación, pero las diferencias observadas no fueron concluyentes, aunque sugieren que la naturaleza del riesgo percibido podría estar relacionado con el comportamiento futuro.

Por tanto, emitir mensajes de precaución incrementaría la percepción de riesgo, esto es, la creencia de que los CEM-RF son peligrosos. Pero no sólo eso, sino que este tipo de mensajes de precaución incrementa los síntomas y respuestas nocebo ante una supuesta exposición (Boehmert et al., 2018).

Así, Boehmert et al. (2018) contaron con 137 participantes que recibieron información básica acerca de los límites de exposición Wi-Fi y mensajes de medidas de precaución como conectarse mediante un cable, para después recibir una exposición simulada. Los resultados mostraron que no hubo efecto de la información de precaución ni relación con las características de personalidad de los sujetos, pero sí describieron cómo la percepción de riesgo previa actuó de predictor ante respuestas nocebo, por lo que esos síntomas esperados no tenían que ver con la información recibida y sí con la predisposición.

8.9 Información sobre la ubicación de la antena

La presencia de una antena de telefonía móvil o estación base sigue siendo un catalizador de riesgo ante los CEM-RF en algunos lugares. La respuesta de las administraciones que,

en algunos casos, atendiendo a movimientos vecinales, eliminan la antena, tiene un efecto claro sobre la percepción del riesgo.

A pesar de que, como se ha indicado, la evidencia indica que la presencia de una estación base de telefonía móvil no supone ningún riesgo para la salud, las dinámicas de grupo de los vecinos o afectados, el intercambio de la información, comparar diferentes fuentes y riesgos, etc. condicionan plenamente la percepción del riesgo (Collins, 2010).

En este contexto, la llamada a la aplicación del principio de precaución tiende a caracterizarse, en general, como un enfoque responsable para evitar posibles riesgos para la salud y el medio ambiente frente a las incertidumbres científicas. Sin embargo, no suele ser una respuesta adecuada ya sea por el sesgo político o por responder a la presión pública (Wardman y Lofstedt, 2018). En los casos en que se han retirado antenas aplicando ese principio, se acaba produciendo la paradoja de que esa antena es retirada pero el resto de las antenas de la población que no han generado un rechazo público, siguen en su sitio. Wardman y Lofstedt (2018) analizaron esta situación en Reino Unido prestando atención a las condiciones socioculturales y las dinámicas políticas que sustentan la influencia pública en la anticipación y la capacidad de su respuesta.

Con un objetivo similar, de Graaff y Broer (2019) analizaron la influencia de distintos estilos de gobernanza y participación ciudadana por parte de las autoridades locales en la instalación de antenas. Identificaron tres escenarios: uno en el que se justifica el despliegue por razones de necesidad de servicio sin participación ciudadana, otro en el que se contemplase las preocupaciones por los efectos para la salud y se informase a los ciudadanos intentando responder a su inquietud con medidas o argumentos basados en la precaución y un tercero de colaboración con las distintas partes implicadas atendiendo a los distintos intereses y preocupaciones. Para ello llevaron a cabo encuestas cualitativas en Países Bajos y en el sur de California en las inmediaciones de emplazamientos de antenas. Los resultados mostraron que, aunque el despliegue de una antena tenía una importancia limitada en las inquietudes de los ciudadanos, describieron los cambios en la percepción del riesgo de los ciudadanos según los 3 estilos de gobernanza y concluyendo que la despolitización del tema ayuda a no rechazar las antenas y que la inquietud ante las antenas pervive, aunque haya disminuido, por las referencias a sus posibles efectos perjudiciales sobre la salud (precaución). Estos hallazgos apuntan a la necesidad de

examinar las prácticas concretas en los despliegues a través de las cuales un problema y un posible movimiento ciudadano emergen con el tiempo y la respuesta política dada.

8.10 Información sobre riesgo en medios de comunicación

La manera de informar de los medios de comunicación sobre los riesgos para la salud derivados de la exposición a CEM-RF puede incrementar la percepción del riesgo de la población. Claassen et al. (2012) analizaron durante 2 años un total de 155 artículos y 23 sitios web relevantes en Países Bajos. A menudo, los contenidos sugerían una relación entre exposición a CEM-RF y efectos sobre la salud, en los que predominaban los mensajes de precaución y de preocupación, pero que carecían de rigor científico. Esta falta de rigor científico y un predominio de los mensajes alarmistas se han encontrado en estudios posteriores (Bräscher et al., 2017; Martens et al., 2018; Witthöft et al., 2018), por lo que la información que se envía a la sociedad por estos medios sigue conteniendo alertas sobre posibles riesgos, mensajes de alarma y preocupación.

El efecto de estos mensajes sobre la percepción del riesgo, e incluso con efecto nocebo, parece claro. Varios estudios (Eldridge-Thomas y Rubin, 2013; Huang et al., 2018) han revisado la información de las noticias que trataban de CEM-RF, en las que se hablaba de la existencia de la hipersensibilidad asociada a la exposición a CEM-RF, y de sus efectos negativos sobre la salud. Este tipo de información errónea aumenta el grado de preocupación ciudadana ya preexistente acerca de la posible asociación entre síntomas y exposición, así como del incremento del riesgo a padecer enfermedades futuras, siendo este miedo aún mayor en aquellas personas que tenían mayores niveles de ansiedad previos (Witthöft y Rubin, 2013; Bräscher et al., 2017; Huang et al., 2018).

Además, mientras que la evidencia muestra que la reducción a la exposición a los CEM-RF no tiene más beneficio que el efecto placebo; casi la mitad de los periódicos informaba de los efectos beneficiosos que se podría alcanzar con las intervenciones destinadas a reducirla (Eldridge-Thomas & Rubin, 2013). Así, la información que recibe una persona puede influir sobre su estado psicológico y la percepción de una exposición de dos maneras diferentes: tranquilizando o aumentando la preocupación y ansiedad (Eldridge-Thomas y Rubin, 2013). Este efecto es especialmente importante en las personas que se

consideran hipersensibles a los CEM-RF (Witthöft y Rubin, 2013; Bräscher et al., 2017; Huang et al., 2018) y dependerá en gran medida de su personalidad (Witthöft et al., 2018).

8.11 Efecto nocebo de la información

Como se ha indicado, los estudios muestran que el mero hecho de creer que se está expuesto a CEM-RF, una nueva instalación o la presencia de una antena, la información sobre (no) efectos, o la llegada de información a la población sobre potenciales riesgos o medidas de precaución, puede provocar en las personas, ya no sólo el incremento de la percepción de un riesgo sino también, la aparición de ciertos síntomas que se atribuyen a la exposición.

Además, la prevalencia de personas que se consideran hipersensibles ha aumentado, ya que debido a la propagación de la idea errónea de relacionar la exposición a CEM-RF y síntomas, lleva por un lado a que las personas con síntomas preexistentes, que puedan o no tener explicación médica, se pueden auto diagnosticar como hipersensibles; y por otro lado, lleva a los individuos a verificar si aparecen o no síntomas tras la exposición (Rubin et al., 2010; Baliatsas et al., 2012; Eldridge-Thomas & Rubin, 2013; Bogers et al., 2018), por lo que son sujetos con una mayor predisposición a percibir un mayor riesgo.

De hecho, el estudio experimental realizado sobre el impacto de los medios de comunicación en dicho ámbito realizado por Witthoeft y Rubin (2013) concluyó que son las personas con mayores niveles previos de ansiedad, mayor tendencia a la somatización y más preocupación sobre la relación exposición-consecuencias, las que tras llegarle por los medios de comunicación información errónea y/o incompleta, asocian mayores efectos relacionados con la exposición a CEM-RF.

Debido a la inespecificidad y variabilidad de síntomas que las personas asocian a la exposición de CEM-RF, los criterios para considerar a una persona como posible hipersensible son muy heterogéneos entre los diferentes estudios (Baliatsas et al., 2012; Eltiti et al., 2018; Schmiedchen et al., 2019). Por dicha razón, y debido a que la autopercepción como hipersensible puede tener enormes consecuencias sociales, ya que a muchos los lleva a apartarse de la sociedad moderna actual, es necesario la definición de unos criterios claros para poder aplicarlos tanto en la clínica como en las sucesivas

investigaciones científicas. Hoy en día no podríamos estar hablando de una enfermedad provocada por la exposición a CEM-RF sino a un trastorno psicosomático o intolerancia ambiental idiopática atribuida a los CEM-RF (ver capítulo 0).

En cambio, como hemos indicado anteriormente, el trabajo de Boehmert et al. (2018) sí describió que la información de precaución conduce a una mayor percepción de los síntomas en una supuesta situación de exposición. Este resultado sería consecuencia de un posible efecto nocebo a los campos electromagnéticos simulados, basado en la interacción de la información de precaución con las características de la personalidad.

8.12 Cuando las fuentes de información son cuestionables

¿Qué ocurre cuando es una fuente científica, ya sea un investigador, profesor de la universidad o, incluso, una publicación en revista científica de impacto, la que alerta de forma irresponsable de los posibles riesgos para la salud? Veamos cuatro ejemplos.

El primero data de mayo de 2011, cuando la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (*IARC – International Agency for Research on Cancer*), dependiente de la OMS, anunció la inclusión de los CEM-RF, los que emiten los teléfonos móviles, en el grupo 2B de “posiblemente cancerígeno para los humanos” (IARC, 2011). Muchos medios de comunicación se hicieron eco del anuncio. La transmisión de esta información que podríamos enmarcar en medidas de precaución se realizó sin, por ejemplo, explicar qué significaba esa clasificación como grupo 2B. Casi 10 años después, no se cuenta con evidencia que establezca claramente una relación causal entre exposición y cáncer, no se cuenta con una hipótesis plausible de mecanismo de interacción ni la epidemiología confirma los peores augurios de algunos científicos. Nos encontramos ante un ejemplo, no de información cuestionable o no científica, sino de una clasificación no concluyente cuyo principal problema ha sido, y es, la forma en la que se comunicó a la sociedad.

El segundo ejemplo de información cuestionable, en este caso con aspecto de científica, pero que no lo es. Se trata del llamado informe Bioinitiative promovido por David O’Carpenter y Cindy Sage (2012). Se trata de una recopilación interesada, una revisión narrativa con pretensión falsa de revisión sistemática. Es uno de los documentos de referencia de los movimientos contra las antenas de telefonía móvil y las radiaciones de

RF. Ha sido duramente criticado en el seno de la comunidad científica (Foster y Trottier, 2013) como ejemplo de mala conducta académica por suponer un claro ejemplo de selección e inclusión selectiva de aquellos estudios que coinciden con una posición, opinión o creencia (“*cherry picking*” en inglés) con un sesgo “de parte interesada”.

El tercer ejemplo que nos permite ilustrar este apartado es un artículo científico publicado en la revista *Environmental Research* (factor de impacto en *Journal Citation Reports*, JCR, de 5,026). Con el contundente título de “El Wi-Fi es una amenaza importante para la salud humana” (Pall, 2018), se trata de una selección interesada de 23 artículos publicados en revistas de baja calidad o no indexadas, en el que se evalúa la supuesta evidencia disponible sobre 7 efectos de las Wi-Fi sobre la salud humana. Uno de ellos es el relativo a efectos sobre el esperma y la infertilidad. De los 8 trabajos incluidos en este apartado, sólo uno es en humanos y se trata de una publicación en una revista del último cuartil (Q4) del JCR en la que los sujetos se obtuvieron de una clínica de infertilidad y no contó con grupo control. Algo parecido ocurre con el resto de los efectos, en los que la evidencia en humanos es escasa o inexistente y predominan los estudios *in vitro*. Este trabajo ha recibido dos comentarios al editor que han sido aceptados por la revista y que cuestionan desde el título y la metodología hasta las conclusiones (Foster & Moulder, 2019; Najera, 2019).

Un último ejemplo de información con aspecto de científica que puede afectar a la percepción del riesgo es el conocido como “Llamamiento internacional para detener la implantación de la red 5G en la Tierra y en el espacio” (*Stop 5G on Earth and in Space, International Appeal*) promovido por Arthur Firstenberg. De nuevo, una selección interesada sin metodología objetiva sirve para recoger firmas, supuestamente de científicos, que apoyen el llamamiento. Un correo electrónico servirá para firmar como científico y apoyar el llamamiento que ha recibido importante atención mediática. Son sólo cuatro ejemplos de fuentes de información cuestionables con aspecto de científicas que no han sido publicadas en revistas científicas tras un proceso de revisión por pares, o incluso procedentes de revistas científicas como es el caso del artículo de Pall, y que son utilizados para promover el miedo y movilizar a la población ante los terribles riesgos de los CEM-RF en páginas web y medios de comunicación.

Como se ha mostrado a lo largo del capítulo, son muchos los factores que influyen en la percepción del riesgo de la exposición a CEM-RF sobre la salud. No podremos actuar sobre creencias u opiniones previas o prejuicios pero si podemos facilitar una información que evite aumentar una percepción del riesgo distorsionada.

-Los comunicadores y periodistas, como principales generadores y transmisores de información, deben contar con fuentes fiables y rigurosas. El CCARS debe estar a su disposición y responder ante bulos e informaciones falsas como fuente primaria de información al servicio de los informadores. Así, a la hora de comunicar riesgos o medidas de precaución, debe lograr una cobertura equilibrada y rigurosa que refleje el estado actual del conocimiento.

-Sobre las recomendaciones de precaución o preventivas 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.

-Es importante informar de los patrones y niveles de exposición habituales a CEM-RF. El conocimiento de estos niveles referidos a los niveles de seguridad (ICNIRP) o a los niveles máximos permitidos legalmente, puede ayudar a reducir el riesgo independientemente de si la duda se refiere a posibles efectos perjudiciales sobre la salud como sí no.

-Es recomendable informar a la población sobre la metodología de las evaluaciones de riesgos. Esto permite a los destinatarios del mensaje comprender el proceso de evaluación de riesgos.

-La toma de decisiones por parte de gobernantes, generalmente locales, puede ser crucial a la hora de alimentar movimientos contra instalaciones de telefonía móvil o de retirar una estación base. Por ello, deben contar con información científica rigurosa o con el asesoramiento de expertos con experiencia real y continuada en el tema. El CCARS debe ponerse a disposición de estas administraciones para facilitar dicha información y confrontar decisiones como, por ejemplo, la retirada de una antena, pero dejando el resto de las instalaciones de un municipio.

En los últimos meses, el Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social, el Ministerio de Ciencia e Innovación y el Ministerio de Universidades, junto con, entre otras, la Organización Médica Colegial, está haciendo un gran esfuerzo por denunciar y dar respuesta a las pseudociencias y las pseudoterapias.

8.13 Conclusiones

La evidencia científica muestra que a los niveles habituales de exposición personal a CEM-RF no hay evidencia de riesgo para la salud de las personas.

Es imprescindible hacer llegar esta evidencia a la sociedad para reducir su percepción del riesgo, pero, para ello, se deben tener en cuenta los diferentes factores que pueden condicionar la consecución de ese objetivo.

Una deficiente gestión de la información o de la forma en la que se difunde pueden producir el efecto contrario al buscado y alarmar, crear desconfianza o reforzar percepciones distorsionadas.

9 CONCLUSIONES

Dosimetría y evaluación de la exposición

Nuevas Fuentes de Radiofrecuencia: Redes 5G

Los sistemas 5G por sí mismos no suponen, desde el punto de vista electromagnético, una diferencia notable con su predecesor, el sistema 4G/LTE. La mayor diferencia en la interfaz radio se encuentra en técnicas de antena que permitirán mejorar la experiencia de usuario y favorecer nuevos casos de uso y aplicaciones.

Sin embargo, la novedad se encuentra en las bandas de frecuencias utilizadas, ya que en 5G se contempla que en el futuro se desplieguen servicios 5G en bandas de milimétricas en torno a 26 GHz. Para bandas de frecuencias medias y bajas (700 MHz, y 3,6 GHz) aplican los mismos límites de exposición que aplican a los sistemas de banda ancha móvil tradicional y que vienen marcados por las pautas de la ICNIRP. Lo que realmente supone un reto en 5G es la metodología de medida de la exposición, ya que las particularidades de su interfaz radio hacen que las medidas deban de adaptarse para medir lo más fielmente posible.

Tecnologías inalámbricas y niveles de exposición a las ondas electromagnéticas de RF.

Los resultados de los estudios analizados para evaluar la exposición a los sistemas Wi-Fi confirman que los niveles de exposición CEM-RF promedio (típico) y máximo (pico) medidos en aulas ocupadas por estudiantes en guarderías y escuelas primarias y secundarias fueron del orden de 10^{-4} % y 10^{-2} % del nivel de referencia de la ICNIRP, respectivamente, es decir, varios órdenes de magnitud inferiores a los niveles recomendados. Los valores obtenidos están en consonancia con los valores anteriores obtenidos en estudios previos y reseñados en el [Informe del CCARS 2013-2016].

La exposición habitual a CEM-RF a la que están expuestos los escolares a través de Wi-Fi en la escuela es menor que la exposición debida a otras fuentes presentes en las proximidades.

La exposición en edificios educativos, como escuelas, universidades, jardines de infancia, etc., indica niveles de exposición muy bajos, con valores medios de exposición total en el rango de 0,07–0,54 V/m. Se observaron niveles similares de exposición en otros edificios públicos, como aeropuertos, estaciones de ferrocarril, centros comerciales, etc., con valores medios de exposición total en el rango de 0,15–0,54 V/m. Todos los resultados mostraron que en todos los entornos considerados los niveles de exposición estaban muy por debajo de los niveles de referencia de la ICNIRP y los establecidos en el RD 1066/2001 para exposición pública general (61 V/m).

Los niveles medios máximos de exposición, considerando la banda de frecuencia de CEM-RF completa, fueron en las oficinas (1,14 V/m) y los transportes públicos (0,97 V/m), y los niveles más bajos de exposición en hogares y apartamentos, con valores medios en el rango de 0,13 a 0,43 V/m.

Una revisión sistemática sobre la exposición a CEM-RF en el entorno cotidiano en Europa y sobre las características clave de los diversos tipos de estudios estableció que en Europa se han utilizado diferentes enfoques y procedimientos que limitan la comparabilidad entre los mismos. Las exposiciones en los hogares suelen estar en el rango de 0.1-0.4 V/m con contribuciones relevantes del enlace descendente, enlace ascendente y DECT, mientras que la contribución de las redes WLAN es relativamente baja. Para una mejor comparabilidad entre países y para evaluar las tendencias temporales, se necesita un enfoque más armonizado entre los estudios.

5G utilizará arquitecturas de radio y de red más eficientes en recursos energéticos y en el uso de señales de niveles más bajos que, junto a la disminución de tamaños de celda, son factores que apuntarían a tener niveles de exposición más bajos cerca de las estaciones base. Estas características se acentúan en el caso de los dispositivos IoT con tecnología 5G ya que, aunque se espera un incremento sustancial de los mismos, los dispositivos IoT se comunicaran en intervalos periódicos de tiempo muy pequeños y con cantidades de datos muy limitadas. Por ello, incluso los dispositivos “woreables”, localizados cerca del cuerpo humano, con sus transmisiones de baja potencia y corta duración, implicarán niveles de exposición muy limitados.

Otros dispositivos inalámbricos en bandas de uso común.

Sobre la utilización de dispositivos inalámbricos en bandas de uso común (“ISM” o bandas “libres”) cabe indicar que las normas sobre uso del espectro radioeléctrico, bien internacionales o su implementación nacional, no constituyen directamente una reglamentación sobre exposición humana a campos electromagnéticos y que las restricciones de potencia que emanan de su utilización bajo la consideración de uso común suponen también, de forma derivada, una protección frente a dicha exposición, verificándose que, con análisis teóricos y con experimentos dosimétricos, los valores obtenidos de emisiones en el normal funcionamiento de dichos dispositivos están típicamente en niveles muy inferiores a los niveles de referencia de las recomendaciones de la ICNIRP.

Ondas milimétricas

Respecto de las ondas milimétricas y los terahercios, los estudios realizados y las revisiones de estudios coinciden en el análisis de los efectos térmicos como efecto fundamental de la exposición a CEM en estas frecuencias. Para el análisis de los efectos biológicos, se concluye que el número de estudios realizado en estas bandas de frecuencia es reducido y que se aprecian algunas deficiencias en su metodología de realización. Se demanda la realización de un mayor número de experimentos y, sobre todo, que se mejore su realización experimental (medidas dosimétricas rigurosas, condiciones comunes de exposición en niveles y tiempo, control de temperatura, realización de forma ciega, ...).

Con los estudios disponibles más recientes, organizaciones científicas y de estandarización como la ICNIRP (recomendaciones 2020) e IEEE (estándar IEEE C95.1-2019) han actualizado sus valores de exposición en cuanto a recomendaciones y estandarización, respectivamente. Desde el punto de vista tecnológico, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) referencia a las recomendaciones de la ICNIRP y se hace partícipe de la necesidad de ampliar los estudios dosimétricos y biológicos en bandas milimétricas. En cuanto a empresas tecnológicas y operadoras de comunicaciones, cada vez se escuchan más propuestas de adoptar aproximaciones estadísticas para la evaluación del cumplimiento de estándares sobre exposición a campos electromagnéticos en los nuevos sistemas de comunicaciones vía radio con nuevas tecnologías que involucren diversidad y apuntamiento de haz en las antenas. También se

aboga por una mayor unificación de criterios en las normativas nacionales y que se tome como referencia las recomendaciones de los organismos científicos y de estandarización.

Estudios Clínicos y Epidemiológicos. Revisión de las Evidencias sobre Tumores del Encéfalo y del Sistema Nervioso Central

La evidencia actual de los estudios in vitro, in vivo y epidemiológicos no indican una asociación con el uso del teléfono móvil y el desarrollo de tumores en los órganos y tejidos más expuestos (Rööslí et al., 2019).

- De los resultados de la mayoría de los estudios revisados se deduce que no se observa un efecto carcinógeno derivado de la exposición a CEM-RF a los niveles habituales de la población.

- En algunos estudios (Prasad et al., 2017, Bortkiewicz et al., 2017 y Yang M et al., 2017, Hardell & Carlberg, 2017) se observó un ligero aumento de gliomas y/o glioblastomas en usuarios de largo plazo. Otro autor (Wang Y) cree que la evidencia actual es de baja calidad y de cantidad limitada.

- En otros estudios que señalan un aumento de las tasas de incidencia de tumores, este se debió a tumores benignos (meningiomas) o Glioblastoma multiforme (Philips et al., 2018) aunque este autor considera que estos estudios aportan poca evidencia y otro estudio duda que exista una relación causal (de Vocht, F. 2019).

- Globalmente, la evidencia revisada confirma que es más plausible que el ligero aumento del riesgo de glioma observado en usuarios intensivos y de largo plazo puede ser una combinación de azar, sesgos o factores de confusión y en el análisis combinado de datos, como la propia IARC ya estableció cuando publicó su declaración (2011) sobre la carcinogenicidad como 2b de los CEM-RF emitidos por los teléfonos móviles. Esta afirmación es coherente con el SCENHIR, que concluyó en su última revisión sistemática (2015) que la evidencia de la relación entre glioma y uso del teléfono móvil es más débil desde el año 2011.

- Incluso aceptando que los usuarios intensivos del teléfono móvil tuvieran un aumento del riesgo de glioma, este sería muy pequeño y su detección en los estudios epidemiológicos muy difícil y mucho menos en los estudios de evolución de las tasas de incidencia y el número de casos anual de tumores primarios del SNC.
- Las revisiones sistemáticas de las agencias y comités especializados en evaluación del riesgo de los CEM (SSM, *Health Council of Nederland*, o *Istituto Superiore de Sanita*) coinciden en que los resultados apuntan hacia una ausencia de asociación entre el uso del teléfono móvil y el aumento del riesgo de tumores.

Efectos de las Radiofrecuencias sobre la salud e Hipersensibilidad Electromagnética (HE)

- Desde la publicación del anterior informe del CCARS no se han producido cambios significativos en los resultados de los estudios publicados. La HE no es una enfermedad incluida en la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-OMS) y no existe un protocolo validado y aceptado por la comunidad científica para el diagnóstico y tratamiento de la HE.
- De la revisión de la bibliografía se confirma que persiste la carencia o la insuficiente información sobre la exposición real a los CEM-RF. La dosimetría sigue siendo una de las principales debilidades de los estudios epidemiológicos y clínicos que impide obtener conclusiones relevantes.
- Los límites de exposición de las nuevas tecnologías basadas en 5G deberán cumplir los límites vigentes y no superar los límites considerados seguros por el RD1066/2001.
- Existe una asociación entre las personas que tienen una elevada percepción del riesgo y la presentación de síntomas subjetivos como el dolor de cabeza y espalda. Se requiere más investigación futura para dilucidar y probar los mecanismos subyacentes a las correlaciones aparentes entre el uso del teléfono móvil, el dolor de cabeza y otros síntomas de riesgo de salud.

- Los estudios clínicos controlados confirman que no hay una relación causal entre la exposición a las diversas fuentes de RF y los síntomas de HE. No hay un efecto atribuible a la exposición experimental en ensayos clínicos con voluntarios que declaran sentir electrosensibilidad. El efecto “nocebo” y/o otros desórdenes mentales o médicos pueden explicar los síntomas en muchos individuos con IAI-CEM.

- Las nuevas evidencias publicadas siguen confirmando que no se observan efectos adversos para la salud derivados de la exposición a las RF de las antenas de telefonía móvil, transmisión de Radio y TV, sistemas inalámbricos (Wi-Fi) utilizados en el trabajo, la escuela o el hogar. Los niveles de exposición observados en los estudios publicados siguen siendo cientos o miles de veces inferiores a los considerados seguros por la ICNIRP, OMS, UE y el RD 1066/2001.

Revisión de los niveles de exposición/recomendaciones de instituciones y organismos de estandarización

- Globalmente las directrices de la ICNIRP 2020 no establecen niveles de exposición más restrictivos que las anteriores de 1998.

- Se han introducido restricciones adicionales para tener en cuenta situaciones en las que las restricciones de la ICNIRP (1998) no daban cuenta adecuadamente de los nuevos desarrollos tecnológicos, como aspectos relacionados con las tecnologías 5G.

- Se han modificado las restricciones existentes para mejorar la precisión basada en los avances científicos desde 1998, como un conocimiento más preciso sobre la relación entre el promedio espacial de la exposición y el aumento de la temperatura.

- Se han eliminado restricciones en situaciones en las que quedó claro que no era necesaria una restricción particular para brindar protección contra los efectos adversos para la salud.

- La FCC considera que a luz de las nuevas evidencias no es necesario modificar los límites actuales de exposición a CEM-RF en los EEUU.

10 RECOMENDACIONES

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 cuenta⁴.

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

⁴ Ver en anexo a las presentes Recomendaciones

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 RECOMENDACIONES INFORME CCARS 2013-2016

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

“De la lectura del presente informe se desprende que es necesario mejorar el conocimiento y la información de la población sobre cómo funcionan las RF y qué efectos reales tienen los campos electromagnéticos sobre la salud humana. Algunos segmentos de la ciudadanía mantienen sus dudas e incertidumbre sobre las consecuencias del uso y exposición a las nuevas tecnologías de telecomunicación. Esta inquietud genera respuestas de rechazo a la instalación de infraestructuras de telecomunicación que dificultan el desarrollo de nuevas tecnologías y empeoran la prestación de un servicio de calidad. El CCARS considera que desde la publicación del anterior informe, en 2013, se han producido muy pocos avances que permitan un mejor conocimiento de las RF que están plenamente integradas en nuestra vida diaria. Cada día que pasa se van incorporando nuevas aplicaciones tecnológicas que amplían los usos de los CEM (drones, Internet de las cosas, sensores adosados al cuerpo humano, contadores inteligentes, comunicaciones en vehículos, auriculares inalámbricos, etc.). La introducción de estas tecnologías no va acompañada de una labor pedagógica simultánea sobre las implicaciones y consecuencias de su uso.

Por estas razones el CCARS recomienda las siguientes medidas: Debe aumentarse la financiación pública y privada de los planes y programas de Investigación, Desarrollo e Innovación sobre los efectos de los CEM en el ser humano. Nuestro país debería tener una mayor presencia internacional en los proyectos de investigación que están en fase de ejecución y en las actividades de las Agencias y Organismos competentes en la evaluación de riesgos de los CEM (OMS, IARC, UE, ICNIRP, US National Toxicology Programme, etc.). Al mismo tiempo, las Autoridades competentes (Ministerios de Energía, Turismo y Agenda Digital y de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad) deberían coordinar sus actividades y mejorar la cooperación para optimizar y rentabilizar los resultados de los proyectos de investigación públicos y privados sobre los CEM (Mobi kids, COSMOS, Geronimo, WHO EMF Project, Lexnet, etc.). Debe fomentarse una

mayor 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.) 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 implantación y desarrollo ordenado de las nuevas tecnologías de telecomunicaciones. Las autoridades competentes deberían realizar campañas de información y educación sobre los CEM, sus usos, aplicaciones y efectos. 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. Estas actividades informativas deben favorecer un uso razonable de las nuevas tecnologías 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 (intimidación, medios de transporte público, lugares de ocio, etc.) y un uso seguro (conducción de vehículos). Todos los estudios y sistemas de vigilancia de los niveles de exposición que se utilizan en nuestro país y en Europa confirman, de forma reiterada que están cientos o miles de veces por debajo de los recomendados por la UE, la OMS, el ICNIRP y la legislación estatal (Real Decreto 1066/2001). Por ello, no se recomienda invertir recursos en nuevos sistemas de vigilancia que no aportan novedades significativas sobre los niveles de exposición ya conocidos.”

12 REFERENCIAS

Metodología

Gisbert, J. P., & Bonfill, X. (2004). ¿Cómo realizar, evaluar y utilizar revisiones sistemáticas y metaanálisis? *Gastroenterología y Hepatología*, 27(3), 129-149. [https://doi.org/10.1016/S0210-5705\(03\)79110-9](https://doi.org/10.1016/S0210-5705(03)79110-9)

Manchado Garabito, R., Tamames Gómez, S., López González, M., Mohedano Macías, L., D'Agostino, M., & Veiga de Cabo, J. (2009). Revisiones Sistemáticas Exploratorias. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 55(216), 12-19. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0465-546X2009000300002&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Ortiz Z, García Dieguez M, Laffaire E (1999), Medicina basada en la evidencia. Bol Acad. Nac. Med. Buenos Aires 76, 445-454.

CTFPHC, Canadian Task Force on Preventive Health Care (2003). New grades for recommendations from the Canadian Task Force on Preventive Health Care. *CMAJ* ;169(3):207-8

Patiño Restrepo J F 1999 Medicina basada en la Evidencia Revista Medicina 21 (2) 5-14

USPSTF 2003 U.S. Preventive Services Task Force Ratings: Strength of Recommendations and Quality of Evidence. Guide to Clinical Preventive Services Third Edition: Periodic Updates, 2000-2003. Rockville: Agency for Healthcare Research and Quality. Disponible en: <http://www.ahrq.gov/clinic/3rduspstf/ratings.htm>

AHRQ (2005) Agency for Healthcare Research and Quality (AHRQ). EPC Evidence Reports. Rockville. Disponible en: <http://www.ahrq.gov/clinic/epcindex.htm>

OCEBM 2006 Centre for Evidence-Based Medicine de Oxford. Levels of Evidence and Grades of Recommendation Elsevier. Oxford: Centre for Evidence-Based Medicine de Oxford. Disponible en http://www.cebm.net/levels_of_evidence.asp

SIGN 2001 Scottish Intercollegiate Guidelines Network. A guideline developers' handbook Edinburgh: Scottish Intercollegiate Guidelines Network; Disponible en: <http://www.show.scot.nhs.uk/sign/guidelines/fulltext/50/index.html>

National Institute for Clinical Excellence (NICE). Guidelines Development methods. Guideline Development Methods- Chapter 7: Reviewing and grading the evidence [Internet]. London: NICE; February 2004 (updated March 2005) [acceso 24 de marzo del 2005] Disponible en: http://www.nice.org.uk/pdf/GDM_Chap-ter7_0305.pdf

NICE 2004 National Institute for Clinical Excellence (NICE). Guidelines Development methods. Guideline Development Methods London: Disponible en: http://www.nice.org.uk/pdf/GDM_Chap-ter11_0305.pdf

Hagg Misra JB Larson MB 2011 La Piratería como Prevención de Ciclones Tropicales Disponible en <https://www.pastafarismo.es/propaganda/calentamiento-global/>

Harbour R, Miller J, 2001 for the Scottish Intercollegiate Guidelines Network Grading Review Group. A new system for grading recommendations in evidence based guidelines. *BMJ* 2001.

CCARS 2017 Comité científico asesor sobre radiofrecuencia y salud. Informe sobre radiofrecuencia y salud (2013-2013). Ed. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación ISBN 978-84-936910-3-5

Jefferson T, Wager E, Davidoff F, 2002 Measuring the Quality of Editorial Peer Review. *JAMA*. 287(21):2786-2790.

Lovejoy TI, Revenson TA, France CR 2011. Reviewing Manuscripts for Peer-Review Journals: A Primer for Novice and Seasoned Reviewers; *Ann Behav Med*. 2011 42(1):1-13

Travis I. Lovejoy, M.S., M.P.H., Tracey A. Revenson, Ph.D., Christopher R. France, Ph.D.

Allen H, Cyry A, Gaston M, Graf C, Wakley H Willis M 2019 What does better peer review look like? Underlying principles and recommendations for better practice. *Learned Publishing* 2019; 32: 163–175

Moghissi AA, Calderone RA, McBride DK, Jaeger Lisa 2017. Innovation in Regulatory Science: Metrics for Evaluation of Regulatory Science Claims Based on Best Available Regulatory Science. *Jof Regul. Sci* 05 50–59

Nuevas Fuentes de Radiofrecuencia: Redes 5G

Aerts, S., Verloock, L., Van Den Bossche, M., Colombi, D., Martens, L., Tornevik, C., & Joseph, W. (2019). In-situ measurement methodology for the assessment of 5G NR massive MIMO base station exposure at sub-6 GHz frequencies. *IEEE Access*, 7, 184658–184667. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2961225>

Boletín Oficial del Estado (BOE). Ley 9/2014, de 9 de mayo, de Telecomunicaciones., BOE § (2014).

Chiaraviglio, L., Cacciapuoti, A. S., Martino, G. DI, Fiore, M., Montesano, M., Trucchi, D., & Melazzi, N. B. (2018). Planning 5G Networks under EMF Constraints: State of the Art and Vision. *IEEE Access*, 6, 51021–51037. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2868347>

- Commisson, E. (2016). *5g for Europe Action Plan. COM(2016) 588 final*. Bruselas.
- Dahlman, E., Parkvall, S., & Sköld, J. (2018). *5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology*. (Academic Press, Ed.).
- Diario Oficial de la Union Europea. Decision (EU) 2017/899 del Parlamento y el Consejo Europeo sobre el uso de la banda de frecuencias 470-790 MHz en la Unión (2017).
- European Commission, Networks, E. C., Spectrum, R., & Group, P. (2019). *STRATEGIC SPECTRUM ROADMAP TOWARDS 5G FOR EUROPE. RSPG Opinion on 5G implementation challenges (RSPG 3rd opinion on 5G)*. Brussels.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE. (2019). *IEEE Std C95.1™-2019 “IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz.” IEEE Access* (Vol. 7). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2954823>
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. (2020). 9th International Non Ionizing Radiation (NIR) Workshop. Retrieved March 9, 2020, from <https://www.icnirp.org/en/workshops/article/workshop-nir2020.html>
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). (1998). *Guidelines for Limiting Exposure To Time - Varying Electromagnetic fields up to 300 GHz. Health Physics* (Vol. 74).
- International Electrotechnical Commission: (IEC). (2017). *Determination of RF field strength, power density and SAR in the vicinity of radiocommunication base stations for the purpose of evaluating human exposure (IEC 62232). 61010-1 © Iec:2001* (Vol. 2006).
- International, Electrotechnical, & Commission: (IEC). (2019). *Case studies supporting IEC 62232 - Determination of RF field strength, power density and SAR in the vicinity of radiocommunication base stations for the purpose of evaluating human exposure*.
- Keller, H. (2019). On the Assessment of Human Exposure to Electromagnetic Fields

Transmitted by 5G NR Base Stations. *Health Physics*, 117(5), 541–545.
<https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001089>

Larsson, E. G., Edfors, O., Tufvesson, F., & Marzetta, T. L. (2014). Massive MIMO for next generation wireless systems. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 186–195.
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6736761>

Ministerial Declaration. (2017). *Making 5G a success for Europe*. Tallin.

Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. (n.d.). Red.es. Retrieved March 10, 2020, from <https://red.es/>

Ministerio de Energia Turismo y Agenda Digital. (2018). *Plan Nacional 5G 2018-2020*.
Plan Nacional 5G 2018-2020.

Parkvall, S., Dahlman, E., Furuskar, A., & Frenne, M. (2017). NR: The new 5G radio access technology. *IEEE Communications Standards Magazine*, 1(4), 24–30.
<https://doi.org/10.1109/MCOMSTD.2017.1700042>

Pawlak, R., Krawiec, P., & Zurek, J. (2019). On measuring electromagnetic fields in 5g technology. *IEEE Access*, 7, 29826–29835.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2902481>

Piloto 5G Andalucía. (n.d.). Piloto 5G Andalucía. Retrieved March 10, 2020, from <https://www.piloto5gandalucia.es/>

Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital. (2018). *Hoja de ruta del proceso de autorización de la banda de frecuencias de 700 MHz para la prestación de servicios de comunicaciones electrónicas de banda ancha inalámbrica Año 2018*.

Thors, B., Furuskar, A., Colombi, D., & Tornevik, C. (2017). Time-Averaged Realistic Maximum Power Levels for the Assessment of Radio Frequency Exposure for 5G Radio Base Stations Using Massive MIMO. *IEEE Access*, 5, 19711–19719.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2753459>

Werner, R., Knipe, P., & Iskra, S. (2019). A Comparison between Measured and Computed Assessments of the RF Exposure Compliance Boundary of an In-Situ Radio Base Station Massive MIMO Antenna. *IEEE Access*, 7, 170682–170689. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2955715>

Tecnologías inalámbricas y niveles de exposición a las ondas electromagnéticas de RF.

L. Hardell, T. Koppel, M. Carlberg, M. Ahonen and L. Hedendahl, “Radiofrequency radiation at Stockholm Central Railway Station in Sweden and some medical aspects on public exposure to RF fields”, *International Journal of Oncology*, Vol. 49, pp.1315-1324, 2016. DOI: 10.3892/IJO.2016.3657.

L. Verloock, W. Joseph, G. Vermeeren and L. Martens, “Procedure for assessment of general public exposure from WLAN in offices and in wireless sensor network testbed, *Health Physics*, Vol. 98, pp. 628-628, 2010.

K. Forster and J. Moulder, “Wi-Fi and health: Review of current status of research”, *Health Physics*, Vol. 105, pp.531-575, 2013.

Foster, K.R; Is Wi-Fi a Health Threat in Schools?, *Education Next*, pp. 29-36, Summer 2019.

Wi-Fi in Schools Australia. <http://www.wifi-in-schools-australia.org>. (3 de Marzo 2020. Última fecha de acceso).

M. Khalid, T. Mee, A. Peyman, D. Addison, C. Calderon, M. Maslanyj and S. Mann, “Exposure to radio frequency electromagnetic fields from wireless computer networks: Duty factors and Wi-Fi devices operating in schools”, *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, Vol.107, pp. 412-420, 2011. DOI:10.1016/j.pbiomolbio.2011.08.004.

W. Joseph; D. Pareit, G. Vermeeren, D. Naudts, L. Verloock, L. Martens and I. Moerman, “Determination of the Duty Cycle of WLAN for Realistic Radio Frequency Electromagnetic Field Exposure Assessment”, *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, Vol.11, pp. 30-36, 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2012.20.002>.

Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE 802.11a. 1999a. Supplement to IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange Between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY). Specifications: High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band. IEEE, New York.

Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE 802.11b. 1999b. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY). Specifications, High-speed Physical Layer in the 2,4 GHz Band. IEEE, New York.

Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE 802.11g. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY). Specifications, Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2,4 GHz Band. IEEE, New York.

Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE 802.11n. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY). Specifications, Enhancements for Higher Throughput. IEEE, New York.

IEEE Standard for Information Technology IEEE 802.11ad - Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 3: Enhancements for Very High Throughput in the 60 GHz Band

Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. Orden ETU/1033/2017, de 25 de octubre de 2017, por la que se aprueba el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.

K. Karipidis, S. Henderson, D. Wijayasinghe, L. Tjong and R. Tinker, “Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields from Wi-Fi in Australian Schools”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol.178, No. 4, pp. 432-439, January 2017. DOI:10.1093/rpd/ncw370.

C. R. Bhatt, M. Redmayne, B. Billah, M. J. Abramsom and G Benke, “Radiofrequency-Electromagnetic Field Exposure in Kindergaten Children”, *Journal in Exposure Science and Enviromental Epidemiology*, Vol. 27, pp. 497-504, 201. DOI: 10.1038/jes.2016.55

C. Kurnaz, B. K. Engiz, and M. C. Bozkurt, “Measurement and evaluation of electric strength levels in primary and secondary schools in a pilot region”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 179, No. 3. pp. 282-290, 2018.

- L. Van Wel, R. Vermeulen, M. van Eijsden, T. Vrijkotte, H. Kromhout and A. Huss, "Radiofrequency Exposure Levels in Amsterdam Schools", *Bioelectromagnetics*, Vol. 38, pp. 397-400, 2017.
- L.K. Hedendahl, M. Carlberg, T. Koppel and L. Hardel, "Measurements of Radiofrequency Radiation with Body-Borne Exposimeter in Swedish Schools with Wi-Fi", *Frontiers in Public Health*, Vol. 5, Article 279, November 2017. DOI: 10/3389/fpubh.2017.00279.
- M. Ibrani; E. Hamiti, L. Ahma and B. Shala, "Assessment of personal radio frequency electromagnetic field exposure in specific indoor workplaces and possible worst-cases scenarios", *International Journal of Electronics and Communications (AEÜ)*, Vol. 70, pp. 803-813, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aeue.2016.03.007>.
- R. Aminzadeh, A. Thielens, A. Bamba, L. Kone, D. P. Gaillot, M. Lienard, L Martens and W. Joseph, "On-Body calibration and measurements using personal radio frequency exposimeters in indoor diffuse and specular environments". *Bioelectromagnetics*, Vol. 37, pp. 298–309, 2016.
- L. Birks, B. Struchen, M. Eeftens, L. van Wel, A. Huss, P. Gajsek, L. Kheifets, M. Gallastegi, A. Dalmau-Bueno, M. Estarlich, M. F. Fernández, I. K. Meder, A. Ferrero, A. Jiménez-Zabala, M. Torrent, T. G. M. Vrijkotte, E. Cardis, J. Olsen, B. Valic, R. Vermeulen, M. Vrijheid, M. Roosli and M. Guxens, "Spatial and temporal variability of personal environment exposure to radio frequency electromagnetic fields in children in Europe", *Environment International*, Vol. 117, pp.204-214, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.026>.
- K. Roser, A. Schoeni, B. Struchen, M. Zahner, M. Eeftens, J. Fröhlich and M. Roosli, "Personal Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure Measurements in Swiss Adolescents", *Enviroment International*, pp. 303-3014, 2017, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.008>.
- M. Eefetens, B. Struchen, L. E. Birks, E. Cardis, M. Estarlich, M. F. Fernández, P. Gajseck, M. Gallastegi, A. Huss, L. Kheifets, I. K. Meder, J. Olsen, M. Torrent, T. Treck, B. Valic, R. Vermuelen, M. Vrijheid, L. van Wel, M. Guxens and M. Rööslı, "Personal Exposure to Radio-Frequency Electromagnetic Fields in Europe: Is there a Generation Gap?", *Environmet International*, Vol. 121, pp. 216-226, September 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.09.002>.
- E. Chiaramello, M. Bonato, S. Fiocchi, G. Tognola, M. Parazzini, P. Ravazzani and J. Wiart, "Radio Frequency Electromagnetic Fields Exposure Assessment in Indoor Environments: A Review". *International Journal of Environmet Research and Public Health*, Vol. 16 pp. 1-29, 2019. DOI:10.3390/ijerph16060955.

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz.), *Health Physics*, 1998, 74, pp.494-522.

S. Sagar, S. Dongus, A. Schoeni, K. Roser, M. Eeftens, B. Struchen, M. Foerster, N. Meier, S. Adem anad M. Rössli, “*Radiofrequency electromagnetic field exposure in everyday microenvironments in Europe: A systematic literature review*”, *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 2018, 28, pp. 147-160.

Informe sobre Radiofrecuencias y Salud (2013-2016). Comité Científico Asesor sobre Radiofrecuencia y Salud.

Otros dispositivos inalámbricos en bandas de uso común y Ondas milimétricas

ANSI. (2014). *ANSI Z136.1-2014, American National Standard for the Safe Use of Lasers*.

Calcagnini, G., Censi, F., & Bartolini, P. (2007). Electromagnetic immunity. *Ann Ist*, 43(3), 268-276.

Colombi, D., Thors, B., & Törnevik, C. (2015). Implications of EMF exposure limits on output power levels for 5G devices above 6 GHz. *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, 14, 1247–1249.

EMF-Portal. (s.f.). Recuperado el 2020, de <https://www.emf-portal.org/en>

Fitzgerald, A. (2003). Catalogue of Human Tissue Optical Properties at Terahertz Frequencies. *Journal of Biological Physics*, 129, 123–128.

Foster, K., Chou, C., & Petersen, C. (2018). Radiofrequency exposure standards. *Bioengineering and Biophysical Aspects of Electromagnetic Fields*, 463–511.

Guéna, A., & et al. (2017). Electromagnetic analysis: Radiated emission of IoT applications close to an anthropomorphic mannequin., (págs. 1-5).

Guido, K., & Kiourti, A. (2020). Wireless Wearables and Implants: A Dosimetry Review. *Bioelectromagnetics*. doi:<https://doi.org/10.1002/bem.22240>

Heidari, A. (2015). Terahertz Technology in the Future of Health and Medical Applications. (A. S. Health, Ed.) *Springer Series in Bio-/Neuroinformatics*, 5, 663-670.

ICNIRP. (1998). *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection Guidelines For Limiting Exposure To Time-Varying Electric, Magnetic And Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz)*. Published in *Health Physics*, 74 (4):494-522; 1998.

- IEC. (2014). *IEC 60825-1, IEC Standard Safety of Laser Products—Part 1: Equipment Classification and Requirements*.
- IEC. (2019). *IEC TR 62669:2019, Case studies supporting IEC 62232 – Determination of RF field strength, power density and SAR in the vicinity of radiocommunication base stations for the purpose of evaluating human exposure*.
- IEEE. (2003). *IEEE Standard Letter Designations for Radar-Frequency Bands. IEEE Std 521-2002. IEEE Standards Board*.
- IEEE. (2006). *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz," in IEEE Std C95.1-2005 (Revision of IEEE Std C95.1-1991) , vol., no., pp.1-238, 19 April 2006*.
- IEEE. (2019). *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz," in IEEE Std C95.1-2019 (Revision of IEEE Std C95.1-2005/ Incorporates IEEE Std C95.1-2019/Cor 1-2019) , (Approved 8 February)*.
- IEEE-ICES. (2020). *International Committee on Electromagnetic Safety (ICES). Expert Reviews. Statements from Governments and Expert Panels Concerning Health Effects and Safe Exposure Levels of Radiofrequency Energy (2010-2020)*. Obtenido de <http://www.ices-emfsafety.org/expert-reviews/>
- ITU. (2017). *Acceptable Electromagnetic Field levels – Polish case study*. Obtenido de <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/Europe/Documents/Events/2017/Spectrum%20Management/Session%204%20Acceptable%20EMF%20levels%20-%20Polish%20case%20study%20FINAL.pdf>
- ITU. (2018). *ITU-T K.Sup14, The impact of RF-EMF exposure limits stricter than the ICNIRP or IEEE guidelines on 4G and 5G mobile network deployment*.
- ITU. (2019). *5G technology and human exposure to radio frequency electromagnetic fields. SERIES K Supplement 9 (05/2019). Protection Against Interference. Telecommunication Standardization Sector of ITU. ITU-T*.
- ITU. (2019). *Electromagnetic field compliance assessments for 5G wireless networks. Recomendación K.Sup16. ITU*.
- ITU. (2019). *Medición de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia para determinar el cumplimiento de los límites de exposición de las personas cuando se pone en servicio una estación de base. Recomendación K.100. ITU*.
- Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. (2017). *Orden ETU/1033/2017, de 25 de octubre, por la que se aprueba el cuadro nacional de atribución de frecuencias. «BOE» núm. 259, de 27 de octubre de 2017, Referencia: BOE-A-2017-12318*.
- Ministerio de la Presidencia. (2001). *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.

Naqvi, A., & Lim, S. (2018). Review of recent phased arrays for millimeter-wave wireless communication. *Sensors*, 18(10), 3194.

Thors, B., Furuskar, A., Colombi, D., & Tornevik, C. (2017). Time-averaged realistic maximum power levels for the assessment of radio frequency exposure for 5G radio base stations using Massive MIMO. *IEEE Access*, 5, 19711-19719.

Törnevik, C. (2017). Impact of EMF limits on 5G network roll-out. ITU Workshop on 5G. ITU.

Estudios experimentales in vivo e in vitro

SCENIHR (2015) Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). *Bioelectromagnetics* 36(6), 480-484.

HCN (2016) Health Council of the Netherlands. Mobile phones and cancer: part 3. Update and overall conclusions from epidemiological and animal studies. The Hague: Health Council of the Netherlands;

SRSASCEF (2018) Swedish Radiation Safety Authority Scientific Council on Electromagnetic Fields. Recent research on EMF and health risk—twelfth report from SSM's scientific council on electromagnetic fields. Stockholm: Swedish Radiation Safety Authority

ICNIRP (2019). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (2019). Critical evaluation of two radiofrequency electromagnetic field animal carcinogenicity studies published in 2018. *Health Physics* 118(0) 1-8.

ICNIRP (2018), ICNIRP note on recent animal carcinogenesis studies. <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPnote2018.pdf>

FDA United States Food and Drugs Administration (2018) Review of Published Literature between 2008 and 2018 of Relevance to Radiofrequency Radiation and Cancer <https://www.fda.gov/media/135043/download>

National Toxicology Program (2018). Toxicology and carcinogenesis studies in Hsd: Sprague Dawley SD rats exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. Raleigh: National Toxicology Program.

Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, Mandrioli D, Manservigi M, Manservigi F, Manzoli I, Menghetti I, Montella R, Panzacchi S, Sgargi D,

Strollo V, Vornoli A, Belpoggi F. (2018) Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1.8 GHz GSM base station environmental emission. *Environ Res* 165 496–503

Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (2015). SCENIHR opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). *Bioelectromagnetics* 36(6), 480-484.

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (2019). Critical evaluation of two radiofrequency electromagnetic field animal carcinogenetic studies published in 2018. *Health Physics* 118(0) 1-8.

Simkó M y Mattsson MO (2019) 5G Wireless Communication and Health Effects-A Pragmatic Review Based on Available Studies Regarding 6 to 100 GHz. *Int J Environ Res Public Health*. 16(18) E3406.

Singh, R., Nath, R., Mathur, A. K., & Sharma, R. S. (2018). Effect of radiofrequency radiation on reproductive health. *The Indian journal of medical research*, 148 (Suppl), S92–S99.

Franchini, Valeria et al (2018) .Biological Effects of 25 to 150 GHz Radiation After In Vitro Exposure of Human Fibroblasts: a Comparison of Experimental Results. *J. of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 39 (9) 899-911.

Nguyen T H et al (2016) The Bioeffects Resulting from Prokaryotic Cells and Yeast Being Exposed to an 18 GHz Electromagnetic Field. *PLoS ONE*, 11(7) :e0158135

Jooyan N et al (2019) Direct and indirect effects of exposure to 900 MHz GSM radiofrequency electromagnetic fields on CHO cell line: Evidence of bystander effect by non-ionizing radiation.. *Environ Res*. 174:176-187

Moquet J, Ainsbury E, Bouffler S, Lloyd D. (2008) Exposure to low level GSM 935 MHz radiofrequency fields does not induce apoptosis in proliferating or differentiated murine neuroblastoma cells. *Radiat Prot Dosimetry* 131(3):287-96.

Falzone N, Huyser C, Franken DR, Leszczynski D. (2010) Mobile phone radiation does not induce pro- apoptosis effects in human spermatozoa. *Radiat Res*;174(2):169-76.

Palumbo R, Brescia F, Capasso D, Sannino A, Sarti M, Capri M, et al.(2008) Exposure to 900 MHz radiofrequency radiation induces caspase 3 activation in proliferating human lymphocytes. *Radiat Res*;170(3):327-34.

Simon D, Daubos A, Pain C, Fitoussi R, Vie K, Taieb A, et al. (2013) Exposure to acute electromagnetic radiation of mobile phone exposure range alters transiently skin

homeostasis of a model of pigmented reconstructed epidermis. *Int J Cosmet Sci*;35(1):27-34.

Joubert V, Bourthoumieu S, Leveque P, Yardin C.(2008) Apoptosis is induced by radiofrequency fields through the caspase-independent mitochondrial pathway in cortical neurons. *Radiat Res*;169(1):38-45.

Terro F, Magnaudeix A, Crochetet M, Martin L, Bourthoumieu S, Wilson CM, et al. (2012) GSM-900MHz at low dose temperature-dependently downregulates alpha-synuclein in cultured cerebral cells independently of chaperone-mediated-autophagy. *Toxicology* ;292(2-3):136-44.

Liu YX, Tai JL, Li GQ, Zhang ZW, Xue JH, Liu HS, et al.(2012) Exposure to 1950-MHz TD-SCDMA electromagnetic fields affects the apoptosis of astrocytes via caspase-3-dependent pathway. *PLoS One*;7(8):e42332.

Ballardin M, Tusa I, Fontana N, Monorchio A, Pelletti C, Rogovich A, et al. (2011) Non-thermal effects of 2.45 GHz microwaves on spindle assembly, mitotic cells and viability of Chinese hamster V-79 cells. *Mutat Res*;716(1-2):1-9.

Luukkonen J, Hakulinen P, Maki-Paakkanen J, Juutilainen J, Naarala J. 2009 Enhancement of chemically induced reactive oxygen species production and DNA damage in human SH-SY5Y neuroblastoma cells by 872 MHz radiofrequency radiation. *Mutat Res*;662(1-2):54-8.

Luukkonen J, Juutilainen J, Naarala J. 2010 Combined effects of 872 MHz radiofrequency radiation and ferrous chloride on reactive oxygen species production and DNA damage in human SH-SY5Y neuroblastoma cells. *Bioelectromagnetics*;31(6):417-24.

Falzone N, Huyser C, Franken DR, Leszczynski D. 2010 Mobile phone radiation does not induce pro- apoptosis effects in human spermatozoa. *Radiat Res*;174(2):169-76.

Poullietier de Gannes F, Haro E, Hurtier A, Taxile M, Ruffie G, Billaudel B, et al.2011 Effect of exposure to the edge signal on oxidative stress in brain cell models. *Radiat Res*; 175(2):225-30.

Hong MN, Kim BC, Ko YG, Lee YS, Hong SC, Kim T, et al. 2012 Effects of 837 and 1950 MHz radiofrequency radiation exposure alone or combined on oxidative stress in MCF10A cells. *Bioelectromagnetics*;33(7):604-11.

Liu C, Duan W, Xu S, Chen C, He M, Zhang L, et al. 2013 Exposure to 1800 MHz radiofrequency electromagnetic radiation induces oxidative DNA base damage in a mouse spermatocyte-derived cell line. *Toxicol Lett* 2013;218(1):2-9.

De Iuliis GN, Newey RJ, King BV, Aitken RJ. 2009 Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro. *PLoS One*;4(7):e6446.

Liu K, Zhang G, Wang Z, Liu Y, Dong J, Dong X, et al. 2014 The protective effect of autophagy on mouse spermatocyte derived cells exposure to 1800MHz radiofrequency electromagnetic radiation. *Toxicol Lett*;228(3):216-24.

Sefidbakht Y, Moosavi-Movahedi AA, Hosseinkhani S, Khodagholi F, Torkzadeh-Mahani M, Foolad F, et al. 2014. Effects of 940 MHz EMF on bioluminescence and oxidative response of stable luciferase producing HEK cells. *Photochem Photobiol Sci*;13(7):1082-92.

Ni S, Yu Y, Zhang Y, Wu W, Lai K, Yao K. Study of oxidative stress in human lens epithelial cells exposed to 1.8 GHz radiofrequency fields. *PLoS One* 2013;8(8):e72370.

Eghlidospour M, Ghanbari A, Mortazavi SMJ, Azari H. 2017 Effects of radiofrequency exposure emitted from a GSM mobile phone on proliferation, differentiation, and apoptosis of neural stem cells. *Anat Cell Biol*.;50(2):115–123.

Estudios Clínicos y Epidemiológicos. Revisión de las evidencias sobre Tumores del Encéfalo y del Sistema Nervioso Central

Galceran, J., Ameijide, A., Carulla, M., Mateos, A., Quirós, J. R., Rojas, D., Alemán, A., Torrella, A., Chico, M., Vicente, M., Díaz, J. M., Larrañaga, N., Marcos-Gragera, R., Sánchez, M. J., Perucha, J., Franch, P., Navarro, C., Ardanaz, E., Bigorra, J., ... REDECAN Working Group. (2017). Cancer incidence in Spain, 2015. *Clinical & Translational Oncology: Official Publication of the Federation of Spanish Oncology Societies and of the National Cancer Institute of Mexico*, 19(7), 799-825. <https://doi.org/10.1007/s12094-016-1607-9>

Leng, L. (2016). The relationship between mobile phone use and risk of brain tumor: A systematic review and meta-analysis of trails in the last decade. *Chinese Neurosurgical Journal*, 2(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s41016-016-0059-y>

McNeill, K. A. (2016). Epidemiology of Brain Tumors. *Neurologic Clinics*, 34(4), 981-998. <https://doi.org/10.1016/j.ncl.2016.06.014>

Ministerie van Volksgezondheid, W. en S. (2016, junio 1). *Mobile phones and cancer: Part 3. Update and overall conclusions from epidemiological and animal studies - Advisory report - The Health Council of the Netherlands* [Publicatie]. <https://www.healthcouncil.nl/documents/advisory-reports/2016/06/01/mobile-phones-and-cancer-part-3-update-and-overall-conclusions-from-epidemiological-and-animal-studies>

Bortkiewicz, A. (2017). Erratum to Bortkiewicz et al. «Mobile phone use and risk for intracranial tumors and salivary gland tumors—A meta-analysis» (*Int J Occup Med Environ Health* 2017;30(1):27-43). *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 30(4), 685. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01215>

Bortkiewicz, A., Gadzicka, E., & Szymczak, W. (2017). Mobile phone use and risk for intracranial tumors and salivary gland tumors – A meta-analysis. *International Journal*

of *Occupational Medicine and Environmental Health*, 30(1), 27-43. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.00802>

Castillejo, M. M., & Zulaica, C. V. (s. f.). *Calidad de la evidencia y grado de recomendación*. 18.

Chapman, S., Azizi, L., Luo, Q., & Sitas, F. (2016). Has the incidence of brain cancer risen in Australia since the introduction of mobile phones 29 years ago? *Cancer Epidemiology*, 42, 199-205. <https://doi.org/10.1016/j.canep.2016.04.010>

de Vocht, F. (2016). Inferring the 1985-2014 impact of mobile phone use on selected brain cancer subtypes using Bayesian structural time series and synthetic controls. *Environment International*, 97, 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.10.019>

de Vocht, F. (2017a). Corrigendum to «Inferring the 1985-2014 impact of mobile phone use on selected brain cancer subtypes using Bayesian structural time series and synthetic controls» [Environ. Int. (2016), 97, 100-107]. *Environment International*, 101, 201-202. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.01.015>

de Vocht, F. (2019). Analyses of temporal and spatial patterns of glioblastoma multiforme and other brain cancer subtypes in relation to mobile phones using synthetic counterfactuals. *Environmental Research*, 168, 329-335. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.10.011>

Estimaciones de la incidencia del cáncer en España, 2019. Red Española de Registros de Cáncer (REDECAN), 2019., s. f.)

Epidemiología de los Tumores Sistema nervioso Central. Marcela Guevara. Eva Ardanaz. Talavera de la Reina. 27 Octubre 2016

Fuentes-Raspall, R., Solans, M., Roca-Barceló, A., Vilardell, L., Puigdemont, M., del Barco, S., Comas, R., García-Velasco, A., Astudillo, A., Carmona-García, M. C., & Marcos-Gragera, R. (2017). Descriptive epidemiology of primary malignant and non-malignant central nervous tumors in Spain: Results from the Girona Cancer Registry (1994–2013). *Cancer Epidemiology*, 50, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.canep.2017.07.005>

Gao, H., Aresu, M., Vergnaud, A.-C., McRobie, D., Spear, J., Heard, A., Kongsgård, H. W., Singh, D., Muller, D. C., & Elliott, P. (2019). Personal radio use and cancer risks among 48,518 British police officers and staff from the Airwave Health Monitoring Study. *British Journal of Cancer*, 120(3), 375-378. <https://doi.org/10.1038/s41416-018-0365-6>

Grell, K., Frederiksen, K., Schüz, J., Cardis, E., Armstrong, B., Siemiatycki, J., Krewski, D. R., McBride, M. L., Johansen, C., Auvinen, A., Hours, M., Blettner, M., Sadetzki, S., Lagorio, S., Yamaguchi, N., Woodward, A., Tynes, T., Feychting, M., Fleming, S. J., ... Andersen, P. K. (2016). The Intracranial Distribution of Gliomas in Relation to Exposure From Mobile Phones: Analyses From the INTERPHONE Study. *American Journal of Epidemiology*, 184(11), 818-828. <https://doi.org/10.1093/aje/kww082>

Istituto Superiore di Sanità Radiazioni a radiofrequenze e tumori: Sintesi delle evidenze scientifiche. Susanna Lagorio, Laura Anglesio, Giovanni d'Amore, Carmela Marino, Maria Rosaria Scarfi 2019, ii, 111 p. *Rapporti ISTISAN 19/11—Buscar con Google.* (s. f.). Recuperado 2 de enero de 2020, de <https://www.google.com/search?q=Istituto+Superiore+di+Sanit%C3%A0+Radiazioni+a+radiofrequenze+e+tumori%3A+sintesi+delle+evidenze+scientifiche>

Karipidis, K., Elwood, M., Benke, G., Sanagou, M., Tjong, L., & Croft, R. J. (2018). Mobile phone use and incidence of brain tumour histological types, grading or anatomical location: A population-based ecological study. *BMJ Open*, 8(12), e024489. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-024489>

Keinan-Boker, L., Friedman, E., & Silverman, B. G. (2018). Trends in the incidence of primary brain, central nervous system and intracranial tumors in Israel, 1990-2015. *Cancer Epidemiology*, 56, 6-13. <https://doi.org/10.1016/j.canep.2018.07.003>

Leng, L., & Zhang, Y. (2016). Etiology of Pituitary Tumors: A Case Control Study. *Turkish Neurosurgery*, 26(2), 195-199. <https://doi.org/10.5137/1019-5149.JTN.5985-12.1>

Momoli, F., Siemiatycki, J., McBride, M. L., Parent, M.-É., Richardson, L., Bedard, D., Platt, R., Vrijheid, M., Cardis, E., & Krewski, D. (2017). Probabilistic Multiple-Bias Modeling Applied to the Canadian Data From the Interphone Study of Mobile Phone Use and Risk of Glioma, Meningioma, Acoustic Neuroma, and Parotid Gland Tumors. *American Journal of Epidemiology*, 186(7), 885-893. <https://doi.org/10.1093/aje/kwx157>

Natukka, T., Raitanen, J., Haapasalo, H., & Auvinen, A. (2019). Incidence trends of adult malignant brain tumors in Finland, 1990-2016. *Acta Oncologica (Stockholm, Sweden)*, 58(7), 990-996. <https://doi.org/10.1080/0284186X.2019.1603396>

Nilsson, J., Järås, J., Henriksson, R., Holgersson, G., Bergström, S., Estenberg, J., Augustsson, T., & Bergqvist, M. (2019). No Evidence for Increased Brain Tumour Incidence in the Swedish National Cancer Register Between Years 1980-2012. *Anticancer Research*, 39(2), 791-796. <https://doi.org/10.21873/anticancer.13176>

Olsson, A., Bouaoun, L., Auvinen, A., Feychting, M., Johansen, C., Mathiesen, T., Melin, B., Lahkola, A., Larjavaara, S., Villegier, A.-S., Byrnes, G., Deltour, I., & Schüz, J. (2019). Survival of glioma patients in relation to mobile phone use in Denmark, Finland and Sweden. *Journal of Neuro-Oncology*, 141(1), 139-149. <https://doi.org/10.1007/s11060-018-03019-5>

Ostrom, Q. T., Gittleman, H., Stetson, L., Virk, S. M., & Barnholtz-Sloan, J. S. (2015). Epidemiology of gliomas. *Cancer Treatment and Research*, 163, 1-14. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12048-5_1

Philips, A., Henshaw, D. L., Lamburn, G., & O'Carroll, M. J. (2018). *Brain Tumours: Rise in Glioblastoma Multiforme Incidence in England 1995–2015 Suggests an Adverse Environmental or Lifestyle Factor* [Research article]. *Journal of Environmental and Public Health*. <https://doi.org/10.1155/2018/7910754>

Piñeros, M., Sierra, M. S., Izarzugaza, M. I., & Forman, D. (2016). Descriptive epidemiology of brain and central nervous system cancers in Central and South America. *Cancer Epidemiology*, *44*, S141-S149. <https://doi.org/10.1016/j.canep.2016.04.007>

Pouchieu, C., Gruber, A., Berteaud, E., Ménégon, P., Monteil, P., Huchet, A., Vignes, J.-R., Vital, A., Loiseau, H., & Baldi, I. (2018). Increasing incidence of central nervous system (CNS) tumors (2000–2012): Findings from a population based registry in Gironde (France). *BMC Cancer*, *18*(1), 653. <https://doi.org/10.1186/s12885-018-4545-9>

Prasad, M., Kathuria, P., Nair, P., Kumar, A., & Prasad, K. (2017). Mobile phone use and risk of brain tumours: A systematic review of association between study quality, source of funding, and research outcomes. *Neurological Sciences: Official Journal of the Italian Neurological Society and of the Italian Society of Clinical Neurophysiology*, *38*(5), 797-810. <https://doi.org/10.1007/s10072-017-2850-8>

Röösli, M., Lagorio, S., Schoemaker, M. J., Schüz, J., & Feychting, M. (2019). Brain and Salivary Gland Tumors and Mobile Phone Use: Evaluating the Evidence from Various Epidemiological Study Designs. *Annual Review of Public Health*, *40*, 221-238. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-040218-044037>

Sato, Y., Kiyohara, K., Kojimahara, N., & Yamaguchi, N. (2016). Time trend in incidence of malignant neoplasms of the central nervous system in relation to mobile phone use among young people in Japan. *Bioelectromagnetics*, *37*(5), 282-289. <https://doi.org/10.1002/bem.21982>

Sato, Y., Kojimahara, N., & Yamaguchi, N. (2019). Simulation of the incidence of malignant brain tumors in birth cohorts that started using mobile phones when they first became popular in Japan. *Bioelectromagnetics*, *40*(3), 143-149. <https://doi.org/10.1002/bem.22176>

Vila, J., Turner, M. C., Gracia-Lavedan, E., Figuerola, J., Bowman, J. D., Kincl, L., Richardson, L., Benke, G., Hours, M., Krewski, D., McLean, D., Parent, M.-E., Sadetzki, S., Schlaefter, K., Schlehofer, B., Schüz, J., Siemiatycki, J., van Tongeren, M., Cardis, E., & INTEROCC Study Group. (2018). Occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields and brain tumor risk in the INTEROCC study: An individualized assessment approach. *Environment International*, *119*, 353-365. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.06.038>

Wang, P., Hou, C., Li, Y., & Zhou, D. (2018). Wireless Phone Use and Risk of Adult Glioma: Evidence from a Meta-Analysis. *World Neurosurgery*, *115*, e629-e636. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.04.122>

Wang, Y., & Guo, X. (2016). Meta-analysis of association between mobile phone use and glioma risk. *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, *12*(Supplement), C298-C300. <https://doi.org/10.4103/0973-1482.200759>

Yang, M., Guo, W., Yang, C., Tang, J., Huang, Q., Feng, S., Jiang, A., Xu, X., & Jiang, G. (2017). Mobile phone use and glioma risk: A systematic review and meta-analysis. *PloS One*, *12*(5), e0175136. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175136>

Interagency Committee on the Health Effects of Non-ionising Fields: Report to Ministers 2018. (s. f.). Ministry of Health NZ. Recuperado 8 de enero de 2020, de <https://www.health.govt.nz/publication/interagency-committee-health-effects-non-ionising-fields-report-ministers-2018>

2018:09 Recent Research on EMF and Health Risk, Twelfth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2017. (s. f.). Strålsäkerhetsmyndigheten. Recuperado 12 de enero de 2020, de <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/en/publications/reports/radiation-protection/2018/201809/>

2019:08 Recent Research on EMF and Health Risk, Thirteenth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2018. (s. f.). Strålsäkerhetsmyndigheten. Recuperado 12 de enero de 2020, de <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/en/publications/reports/radiation-protection/2019/201908/>

Bortkiewicz, A. (2017). Erratum to Bortkiewicz et al. «Mobile phone use and risk for intracranial tumors and salivary gland tumors—A meta-analysis» (*Int J Occup Med Environ Health* 2017;30(1):27-43). *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 30(4), 685. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01215>

Bortkiewicz, A., Gadzicka, E., & Szymczak, W. (2017). Mobile phone use and risk for intracranial tumors and salivary gland tumors – A meta-analysis. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 30(1), 27-43. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.00802>

Gao, H., Aresu, M., Vergnaud, A.-C., McRobie, D., Spear, J., Heard, A., Kongsgård, H. W., Singh, D., Muller, D. C., & Elliott, P. (2019). Personal radio use and cancer risks among 48,518 British police officers and staff from the Airwave Health Monitoring Study. *British Journal of Cancer*, 120(3), 375-378. <https://doi.org/10.1038/s41416-018-0365-6>

Gisbert, J. P., & Bonfill, X. (2004). ¿Cómo realizar, evaluar y utilizar revisiones sistemáticas y metaanálisis? *Gastroenterología y Hepatología*, 27(3), 129-149. [https://doi.org/10.1016/S0210-5705\(03\)79110-9](https://doi.org/10.1016/S0210-5705(03)79110-9)

Hardell, L., & Carlberg, M. (2017). Mobile phones, cordless phones and rates of brain tumors in different age groups in the Swedish National Inpatient Register and the Swedish Cancer Register during 1998-2015. *PLoS ONE*, 12(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185461>

Interagency Committee on the Health Effects of Non-ionising Fields: Report to Ministers 2018. (s. f.). Ministry of Health NZ. Recuperado 8 de enero de 2020, de <https://www.health.govt.nz/publication/interagency-committee-health-effects-non-ionising-fields-report-ministers-2018>

Istituto Superiore di Sanità: Benvenuti. (s. f.). Recuperado 7 de enero de 2020, de <http://old.iss.it/publ/?lang=1&id=3195&tipo=5>

Leng, L. (2016). The relationship between mobile phone use and risk of brain tumor: A systematic review and meta-analysis of trails in the last decade. *Chinese Neurosurgical Journal*, 2(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s41016-016-0059-y>

Ostrom, Q. T., Gittleman, H., Truitt, G., Boscia, A., Kruchko, C., & Barnholtz-Sloan, J. S. (2018). CBTRUS Statistical Report: Primary Brain and Other Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2011-2015. *Neuro-Oncology*, 20(suppl_4), iv1-iv86. <https://doi.org/10.1093/neuonc/noy131>

Philips, A., Henshaw, D. L., Lamburn, G., & O'Carroll, M. J. (2018). *Brain Tumours: Rise in Glioblastoma Multiforme Incidence in England 1995–2015 Suggests an Adverse Environmental or Lifestyle Factor* [Research article]. *Journal of Environmental and Public Health*. <https://doi.org/10.1155/2018/7910754>

Prasad, M., Kathuria, P., Nair, P., Kumar, A., & Prasad, K. (2017). Mobile phone use and risk of brain tumours: A systematic review of association between study quality, source of funding, and research outcomes. *Neurological Sciences: Official Journal of the Italian Neurological Society and of the Italian Society of Clinical Neurophysiology*, 38(5), 797-810. <https://doi.org/10.1007/s10072-017-2850-8>

Revisión sistemática y Metaanálisis. (s. f.). Castillejo & Zulaica, Recuperado 15 de enero de 2020, de <http://www.fisterra.com/mbe/investiga/metaanalisis/rsymetaanalisis.asp>

Efectos de las Radiofrecuencias sobre la salud e Hipersensibilidad Electromagnética (HE)

AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'expertise "Exposition aux radiofréquences et santé des enfants" "Avis de l'Anses Rapport d'expertise collective 2016.

<https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2012SA0091Ra.pdf>

ANSES. *Hypersensibilité électromagnétique ou intolérance environnementale idiopathique attribuée aux champs électromagnétiques* Auto-saisine n° 2011-SA-0150 RAPPORT d'expertise collective Comité d'experts spécialisé «Agents Physiques, nouvelles technologies et grands aménagements» Groupe de travail «Radiofréquences et santé 2» Décembre 2017. Acceso: 20 nov. 2019

<https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2011SA0150Ra.pdf>

ANSES opinión 2019 ANSES Opinion Request No 2017-SA-0229 Maisons-Alfort, 10 July 2019 OPINION of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety on the possible health effects associated with high specific absorption rate values from mobile telephones carried close to the body.

<https://www.anses.fr/en/system/files/AP2017SA0229EN.pdf>

2018:09 *Recent Research on EMF and Health Risk, Twelfth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2017*. (s. f.). Strålsäkerhetsmyndigheten. Recuperado 12 de enero de 2020, de

<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/en/publications/reports/radiation-protection/2018/201809/>

2019:08 *Recent Research on EMF and Health Risk, Thirteenth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2018.* (s. f.). Strålsäkerhetsmyndigheten. Recuperado 12 de enero de 2020, de <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/en/publications/reports/radiation-protection/2019/201908/>

Auvinen, A., Feychting, M., Ahlbom, A., Hillert, L., Elliott, P., Schüz, J., Kromhout, H., Toledano, M. B., Johansen, C., Poulsen, A. H., Vermeulen, R., Heinävaara, S., Kojo, K., Tettamanti, G., & COSMOS Study Group. (2019). Headache, tinnitus and hearing loss in the international Cohort Study of Mobile Phone Use and Health (COSMOS) in Sweden and Finland. *International Journal of Epidemiology*, 48(5), 1567-1579. <https://doi.org/10.1093/ije/dyz127>

Bhatt, C. R., Benke, G., Smith, C. L., Redmayne, M., Dimitriadis, C., Dalecki, A., Macleod, S., Sim, M. R., Croft, R. J., Wolfe, R., Kaufman, J., & Abramson, M. J. (2017). Use of mobile and cordless phones and change in cognitive function: A prospective cohort analysis of Australian primary school children. *Environmental Health*, 16. <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0250-4>

Birks, L. E., Struchen, B., Eeftens, M., van Wel, L., Huss, A., Gajšek, P., Kheifets, L., Gallastegi, M., Dalmau-Bueno, A., Estarlich, M., Fernandez, M. F., Meder, I. K., Ferrero, A., Jiménez-Zabala, A., Torrent, M., Vrijkotte, T. G. M., Cardis, E., Olsen, J., Valič, B., ... Guxens, M. (2018). Spatial and temporal variability of personal environmental exposure to radio frequency electromagnetic fields in children in Europe. *Environment International*, 117, 204-214. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.026>

Bräscher, A.-K., Raymaekers, K., Van den Bergh, O., & Witthöft, M. (2017). Are media reports able to cause somatic symptoms attributed to WiFi radiation? An experimental test of the negative expectation hypothesis. *Environmental Research*, 156, 265-271. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.040>

Cabré-Riera A, Torrent M, Donaire-Gonzalez D, Vrijheid M, Cardis E, & Guxens M. (2019). Telecommunication devices use, screen time and sleep in adolescents. *Environ Res*, 171, 341-347. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.10.036>

Castillejo, M. M., & Zulaica, C. V. (s. f.). *Calidad de la evidencia y grado de recomendación*. 18.

Cho, Y. M., Lim, H. J., Jang, H., Kim, K., Choi, J. W., Shin, C., Lee, S. K., Kwon, J. H., & Kim, N. (2016a). A follow-up study of the association between mobile phone use and symptoms of ill health. *Environmental Health and Toxicology*, 32, e2017001. <https://doi.org/10.5620/eh.t.e2017001>

Cho, Y. M., Lim, H. J., Jang, H., Kim, K., Choi, J. W., Shin, C., Lee, S. K., Kwon, J. H., & Kim, N. (2016b). A cross-sectional study of the association between mobile phone use and symptoms of ill health. *Environmental Health and Toxicology*, 31. <https://doi.org/10.5620/eh.t.e2016022>

Durusoy, R., Hassoy, H., Özkurt, A., & Karababa, A. O. (2017). Mobile phone use, school electromagnetic field levels and related symptoms: A cross-sectional survey among 2150 high school students in Izmir. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 16(1), 51. <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0257-x>

Foster, K., Kodera, S., & Hirata, A. (2019). *5G Communications Systems and Radiofrequency Exposure Limits*.

Gisbert, J. P., & Bonfill, X. (2004). ¿Cómo realizar, evaluar y utilizar revisiones sistemáticas y metaanálisis? *Gastroenterología y Hepatología*, 27(3), 129-149. [https://doi.org/10.1016/S0210-5705\(03\)79110-9](https://doi.org/10.1016/S0210-5705(03)79110-9)

Grimes, D. R., & Bishop, D. V. M. (2018). Distinguishing Polemic From Commentary in Science: Some Guidelines Illustrated With the Case of Sage and Burgio (2017). *Child Development*, 89(1), 141-147. <https://doi.org/10.1111/cdev.13013>

Guxens, M., Vermeulen, R., Steenkamer, I., Beekhuizen, J., Vrijkotte, T. G. M., Kromhout, H., & Huss, A. (2019). Radiofrequency electromagnetic fields, screen time, and emotional and behavioural problems in 5-year-old children. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222(2), 188-194. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.09.006>

Huang, P.-C., Cheng, M.-T., & Guo, H.-R. (2018). Representative survey on idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields in Taiwan and comparison with the international literature. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 17(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0351-8>

Jonathan Kennedy, Yvonne Carter Building, London E1 2AB, UK. (2019). Populist politics and vaccine hesitancy in Western Europe: An analysis of national-level data. *European Journal of Public Health*, Vol. 0, No. 0, 1–5 The Author(s) 2019. Published by Oxford University Press on behalf of the European Public Health Association.

Joshi, P., Colombi, D., Thors, B., Larsson, L.-E., & Tornevik, C. (2017). Output Power Levels of 4G User Equipment and Implications on Realistic RF EMF Exposure Assessments. *IEEE Access*, PP, 1-1. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2682422>

Liu, S., Wing, Y. K., Hao, Y., Li, W., Zhang, J., & Zhang, B. (2019). The associations of long-time mobile phone use with sleep disturbances and mental distress in technical college students: A prospective cohort study. *Sleep*, 42(2). <https://doi.org/10.1093/sleep/zsy213>

Martens, A. L., Reedijk, M., Smid, T., Huss, A., Timmermans, D., Strak, M., Swart, W., Lenters, V., Kromhout, H., Verheij, R., Slottje, P., & Vermeulen, R. C. H. (2018). Modeled and perceived RF-EMF, noise and air pollution and symptoms in a population cohort. Is perception key in predicting symptoms? *The Science of the Total Environment*, 639, 75-83. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.007>

Martens, A. L., Slottje, P., Smid, T., Kromhout, H., Vermeulen, R. C. H., & Timmermans, D. R. M. (2018). Longitudinal associations between risk appraisal of base stations for

mobile phones, radio or television and non-specific symptoms. *Journal of Psychosomatic Research*, 112, 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2018.07.008>

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group. (2009a). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group. (2009b). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>

Ramirez-Vazquez, R., Gonzalez-Rubio, J., Arribas, E., & Najera, A. (2019a). Characterisation of personal exposure to environmental radiofrequency electromagnetic fields in Albacete (Spain) and assessment of risk perception. *Environmental Research*, 172, 109-116. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.015>

Ramirez-Vazquez, R., Gonzalez-Rubio, J., Arribas, E., & Najera, A. (2019b). Characterisation of personal exposure to environmental radiofrequency electromagnetic fields in Albacete (Spain) and assessment of risk perception. *Environmental research*, 172, 109-116. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.015>

Roser, K., Schoeni, A., & Rössli, M. (2016). Mobile phone use, behavioural problems and concentration capacity in adolescents: A prospective study. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 219(8), 759-769. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.08.007>

Sagiv, D., Migirov, L., Madgar, O., Nakache, G., Wolf, M., & Shapira, Y. (2018). Mobile phone usage does not affect sudden sensorineural hearing loss. *The Journal of Laryngology and Otology*, 132(1), 29-32. <https://doi.org/10.1017/S0022215117002365>

Schoeni, A., Roser, K., Bürgi, A., & Rössli, M. (2016). Symptoms in Swiss adolescents in relation to exposure from fixed site transmitters: A prospective cohort study. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 15(1), 77. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0158-4>

Schoeni, A., Roser, K., & Rössli, M. (2017). Symptoms and the use of wireless communication devices: A prospective cohort study in Swiss adolescents. *Environmental Research*, 154, 275-283. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.01.004>

Shikhantsov, S., Thielens, A., Vermeeren, G., Demeester, P., Martens, L., Torfs, G., & Joseph, W. (2019). Statistical approach for human electromagnetic exposure assessment in future wireless ATTO-cell networks. *RADIATION PROTECTION DOSIMETRY*, 183(3), 326-331. <http://dx.doi.org/10.1093/rpd/ncy120>

Sienkiewicz, Z., Calderon, C., Broom, K. A., Addison, D., Gavard, A., Lundberg, L., & Maslanyj, M. (2017). Are Exposures to Multiple Frequencies the Key to Future Radiofrequency Research? *Frontiers in Public Health*, 5, UNSP 328. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00328>

Telstra tests 5G infrastructure, confirms EME levels below safety limits. (s. f.). Recuperado 24 de diciembre de 2019, de <https://www.telecompaper.com/news/telstra-tests-5g-infrastructure-confirms-eme-levels-below-safety-limits--1299830>

Višnjić, A., Veličković, V., Sokolović, D., Stanković, M., Mijatović, K., Stojanović, M., Milošević, Z., & Radulović, O. (2018). Relationship between the Manner of Mobile Phone Use and Depression, Anxiety, and Stress in University Students. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph15040697>

Wang, J., Su, H., Xie, W., & Yu, S. (2017). Mobile Phone Use and The Risk of Headache: A Systematic Review and Meta-analysis of Cross-sectional Studies. *Scientific Reports*, 7. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12802-9>

Sagar et al. (2018) Comparison of radiofrequency electromagnetic field exposure levels in different everyday microenvironments in an international context. [Environ Int.](#) 2018 May;114:297-306. doi: 10.1016/j.envint.2018.02.036. Epub 2018 Mar 9

Jailian et al. (2019). Public exposure to radiofrequency electromagnetic fields in everyday microenvironments: An updated systematic review for Europe. *Environ Res.* 2019 Sep;176:108517. doi: 10.1016/j.envres.2019.05.048. Epub 2019 May 31.

Revisión de los niveles de exposición/recomendaciones de instituciones y organismos de estandarización.

ICNIRP. (s. f.). Recuperado 15 de marzo de 2020, de <https://www.icnirp.org/en/activities/news/news-article/rf-guidelines-2020-published.html>

IEEE. (2019). *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz," in IEEE Std C95.1-2019 (Revision of IEEE Std C95.1-2005/ Incorporates IEEE Std C95.1-2019/Cor 1-2019)*, (Approved 8 February).

IEEE-ICES. (2020). *International Committee on Electromagnetic Safety (ICES). Expert Reviews. Statements from Governments and Expert Panels Concerning Health Effects and Safe Exposure Levels of Radiofrequency Energy (2010-2020)*. Obtenido de <http://www.ices-emfsafety.org/expert-reviews/>

Comunicación y percepción del riesgo

9th International NIR Workshop. (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2020, de <https://www.icnirp.org/en/workshops/article/workshop-nir2020.html>

- Ahlbom, A., Bergqvist, U., Bernhardt, J. H., Cesarini, J. P., Court, L. A., Grandolfo, M., Hietanen, M., McKinlay, A. F., Repacholi, M. H., Sliney, D. H., Stolwijk, J. a. J., Swicord, M. L., Szabo, L. D., Taki, M., Tenforde, T. S., Jammet, H. P., & Matthes, R. (1998). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics*, *74*(4), 494-522.
- Arning, K., Kowalewski, S., & Ziefle, M. (2014). Health Concerns Versus Mobile Data Needs: Conjoint Measurement of Preferences for Mobile Communication Network Scenarios. *Human and Ecological Risk Assessment*, *20*(5), 1359-1384. <https://doi.org/10.1080/10807039.2013.838127>
- Baliatsas, C., Van Kamp, I., Bolte, J., Schipper, M., Yzermans, J., & Lebet, E. (2012). Non-specific physical symptoms and electromagnetic field exposure in the general population: Can we get more specific? A systematic review. *Environment International*, *41*, 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.12.002>
- Boehmert, C., Freudenstein, F., & Wiedemann, P. (2019). A systematic review of health risk communication about EMFs from wireless technologies. *Journal of Risk Research*. <https://doi.org/10.1080/13669877.2019.1592211>
- Boehmert, C., Verrender, A., Pauli, M., & Wiedemann, P. (2018). Does precautionary information about electromagnetic fields trigger nocebo responses? An experimental risk communication study. *Environmental Health*, *17*, 36. <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0377-y>
- Boehmert, C., Wiedemann, P., & Croft, R. (2016). Improving Precautionary Communication in the EMF Field? Effects of Making Messages Consistent and Explaining the Effectiveness of Precautions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *13*(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph13100992>
- Bogers, R. P., van Gils, A., Clahsen, S. C. S., Vercrujssse, W., van Kamp, I., Baliatsas, C., Rosmalen, J. G. M., & Bolte, J. F. B. (2018). Individual variation in temporal relationships between exposure to radiofrequency electromagnetic fields and non-specific physical symptoms: A new approach in studying ‘electrosensitivity’. *Environment International*, *121*, 297–307. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.064>
- Bräscher, A.-K., Raymaekers, K., Van den Bergh, O., & Witthöft, M. (2017). Are media reports able to cause somatic symptoms attributed to WiFi radiation? An experimental test of the negative expectation hypothesis. *Environmental Research*, *156*, 265-271. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.040>
- Chiaravello, E., Bonato, M., Fiocchi, S., Tognola, G., Parazzini, M., Ravazzani, P., & Wiart, J. (2019). Radio Frequency Electromagnetic Fields Exposure Assessment in Indoor Environments: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph16060955>
- Claassen, L., Smid, T., Woudenberg, F., & Timmermans, D. R. M. (2012). Media coverage on electromagnetic fields and health: Content analysis of Dutch newspaper articles and websites. *Health, Risk & Society*, *14*(7-8), 681-696. <https://doi.org/10.1080/13698575.2012.716820>

Collins, J. W. (2010). Mobile phone masts, social rationalities and risk: Negotiating lay perspectives on technological hazards. *Journal of Risk Research*, 13(5), 621-637. <https://doi.org/10.1080/13669870903305911>

de Graaff, M. B. B., & Broer, C. (2019). Governance and risk in everyday life: Depoliticization and citizens' experiences of cell site deployment in the Netherlands and Southern California. *Journal of Risk Research*, 22(12), 1586-1601. <https://doi.org/10.1080/13669877.2018.1501596>

Dohle, S., Keller, C., & Siegrist, M. (2010). Conjoint Measurement of Base Station Siting Preferences. *Human and Ecological Risk Assessment*, 16(4), 825-836. <https://doi.org/10.1080/10807039.2010.501250>

Eagleman, D. M. (2013). Why public dissemination of science matters: A manifesto. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 33(30), 12147-9. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2556-13.2013>

Eldridge-Thomas, B., & Rubin, G. J. (2013). Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields: A content analysis of British newspaper reports. *PloS One*, 8(6), e65713. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065713>

Eltiti, S., Wallace, D., Russo, R., & Fox, E. (2018). Symptom Presentation in Idiopathic Environmental Intolerance With Attribution to Electromagnetic Fields: Evidence for a Nocebo Effect Based on Data Re-Analyzed From Two Previous Provocation Studies. *Frontiers in Psychology*, 9, 1563. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01563>

Eurobarometer 73.3—Electromagnetic Fields. (s. f.). Recuperado 2 de marzo de 2020, de https://ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/archives/ebs/ebs_347_en.pdf

FECYT. (2018, febrero 3). *Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología en España*. ICONO. <https://icono.fecyt.es/informes-y-publicaciones/percepcion-social-de-la-ciencia-y-la-tecnologia-en-espana>

Fischhoff, B., Brewer, N. T., & Downs, J. S. (2011). *Communicating Risks and Benefits: An Evidence-Based User's Guide* (p. 242). Silver Spring: US Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration. <http://www.fda.gov/downloads/AboutFDA/ReportsManualsForms/Reports/UCM268069.pdf>.

Foster, K. R., & Moulder, J. E. (2013). Wi-Fi and Health. *Health Physics*, 105(6), 561-575. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e31829b49bb>

Foster, K. R., & Moulder, J. E. (2019). Response to Pall, "Wi-Fi is an important threat to human health". *Environmental Research*, 168, 445-447. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.10.016>

Foster, K. R., & Trottier, L. (2013). *Picking Cherries in Science: The Bio-Initiative Report*. <https://sciencebasedmedicine.org/picking-cherries-in-science-the-bio-initiative-report/>

- Hartung, U., Schulz, P. J., & Keller, S. (2014). A Boomerang Effect of an All-Clear Message on Radiation Risk. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 20(1), 224-241. <https://doi.org/10.1080/10807039.2012.716679>
- Huang, P.-C., Li, K.-H., & Guo, H.-R. (2018). Association between media coverage and prevalence of idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic field in Taiwan. *Environmental Research*, 161, 329-335. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.034>
- IARC. (2011). *IARC classifies Radiofrequency Electromagnetic Fields as possibly carcinogenic to humans* (p. 6). https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr208_E.pdf
- IARC – International Agency for research in Cancer. (s. f.). Recuperado 3 de marzo de 2020, de <https://www.iarc.fr/>
- ICNIRP. (s. f.). Recuperado 26 de febrero de 2020, de <https://www.icnirp.org/>
- ICNIRP. (2010). Icnirp Statement-Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz to 100 Khz). *Health Physics*, 99(6), 818-836. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181f06c86>
- Jalilian, H., Eeftens, M., Ziaei, M., & Röösl, 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>
- Klaps, A., Ponocny, I., Winker, R., Kundi, M., Auersperg, F., & Barth, A. (2016). Mobile phone base stations and well-being—A meta-analysis. *The Science of the Total Environment*, 544, 24–30. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.009>
- Martens, A. L., Slottje, P., Smid, T., Kromhout, H., Vermeulen, R. C. H., & Timmermans, D. R. M. (2018). Longitudinal associations between risk appraisal of base stations for mobile phones, radio or television and non-specific symptoms. *Journal of Psychosomatic Research*, 112, 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2018.07.008>
- McKinlay, A. F., Bernhardt, J. H., Ahlbom, A., Cesarini, J. P., de Gruijl, F. R., Hietanen, M., Owen, R., Sliney, D. H., Soderberg, P., Swerdlow, A. J., Taki, M., Tenforde, T. S., Vecchia, P., Veyret, B., Matthes, R., Repacholi, M. H., Diffey, B., Mainster, M. A., Okuno, T., & Stuck, B. E. (2004). Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). *Health Physics*, 87(2), 171-186.
- Najera, A. (2019). Comments on «Wi-Fi is an important threat to human health». *Environmental Research*, 168, 514-515. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.07.026>
- Nielsen, J. B., Elstein, A., Gyrd-Hansen, D., Kildemoes, H. W., Kristiansen, I. S., & Støvring, H. (2010). Effects of alternative styles of risk information on EMF risk perception. *Bioelectromagnetics*, 31(7), 504-512. <https://doi.org/10.1002/bem.20586>

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.

OMS. (2006). *Los campos electromagnéticos y la salud pública*. WHO; World Health Organization. <http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs304/es/>

OMS. (2014). *Campos electromagnéticos y salud pública: Teléfonos móviles*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/electromagnetic-fields-and-public-health-mobile-phones>

Pall, M. L. (2018). Wi-Fi is an important threat to human health. *Environmental Research*, *164*, 405-416. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.035>

Ramirez-Vazquez, R., Gonzalez-Rubio, J., Arribas, E., & Najera, A. (2019a). Characterisation of personal exposure to environmental radiofrequency electromagnetic fields in Albacete (Spain) and assessment of risk perception. *Environmental Research*, *172*, 109-116. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.015>

Ramirez-Vazquez, R., Gonzalez-Rubio, J., Arribas, E., & Najera, A. (2019b). Personal RF-EMF exposure from mobile phone base stations during temporary events. *Environmental Research*, *175*, 266-273. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.05.033>

Repacholi, M. H., Lerchl, A., Rössli, M., Sienkiewicz, Z., Auvinen, A., Breckenkamp, J., D'Inzeo, G., Elliott, P., Frei, P., Heinrich, S., Lagroye, I., Lahkola, A., McCormick, D. L., Thomas, S., & Vecchia, P. (2012). Systematic review of wireless phone use and brain cancer and other head tumors. *Bioelectromagnetics*, *33*(3), 187–206. <https://doi.org/10.1002/bem.20716>

Rössli, M., Frei, P., Mohler, E., & Hug, K. (2010). Systematic review on the health effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields from mobile phone base stations. *Bulletin of the World Health Organization*, *88*(12), 887–896F. <https://doi.org/10.2471/BLT.09.071852>

Rubin, G. J., Nieto-Hernandez, R., & Wessely, S. (2010). Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (formerly 'electromagnetic hypersensitivity'): An updated systematic review of provocation studies. *Bioelectromagnetics*, *31*(1), 1-11. <https://doi.org/10.1002/bem.20536>

Sagar, S., Dongus, S., Schoeni, A., Roser, K., Eeftens, M., Struchen, B., Foerster, M., Meier, N., Adem, S., & Rössli, M. (2017). Radiofrequency electromagnetic field exposure in everyday microenvironments in Europe: A systematic literature review. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*. <https://doi.org/10.1038/jes.2017.13>

Sage, C., & O'Carpenier, D. (2012). The Bioinitiative report. *The BioInitiative Report*. <https://bioinitiative.org/>

Sandman, P. M. (2016). Risk Communication: Facing Public Outrage. *Management Communication Quarterly*. <https://doi.org/10.1177/0893318988002002006>

Schmiedchen, K., Driessen, S., & Oftedal, G. (2019). Methodological limitations in experimental studies on symptom development in individuals with idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (IEI-EMF)—A systematic review. *Environmental Health, 18*(1), 88. <https://doi.org/10.1186/s12940-019-0519-x>

Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR). (2015). *Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)*. https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_041.pdf

Scientific Committees in Public Health—European Commission. (s. f.). [Text]. Public Health - European Commission. Recuperado 2 de marzo de 2020, de https://ec.europa.eu/health/scientific_committees_en

Starr, C. (1969). Social Benefit Versus Technological Risk. *Science, 165*(3899), 1232-. <https://doi.org/10.1126/science.165.3899.1232>

Stop 5G on Earth and in Space, International Appeal. (s. f.). 5G Space Appeal. Recuperado 3 de marzo de 2020, de <https://www.5gspaceappeal.org/the-appeal>
Union, P. O. of the E. (1999, julio 12). *CELEX1, 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)* [Website]. Publications Office of the European Union. <https://op.europa.eu:443/en/publication-detail/-/publication/9509b04f-1df0-4221-bfa2-c7af77975556/language-es>

Valkenburg, P. M., Peter, J., & Walther, J. B. (2016). Media Effects: Theory and Research. *Annual Review of Psychology, 67*(1), 315-338. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122414-033608>

Wardman, J. K., & Lofstedt, R. (2018). Anticipating or Accommodating to Public Concern? Risk Amplification and the Politics of Precaution Reexamined. *Risk Analysis, 38*(9), 1802-1819. <https://doi.org/10.1111/risa.12997>

Waters, E. A., Ackermann, N., & Wheeler, C. S. (2019). Specifying Future Behavior When Assessing Risk Perceptions: Implications for Measurement and Theory. *Medical Decision Making, 39*(8), 986-997. <https://doi.org/10.1177/0272989X19879704>

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.

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>

Wiedemann, P. M., Schütz, H., & Clauberg, M. (2008). Influence of information about specific absorption rate (SAR) upon customers' purchase decisions and safety evaluation of mobile phones. *Bioelectromagnetics, 29*(2), 133-144. <https://doi.org/10.1002/bem.20371>

Witthöft, M., Freitag, I., Nußbaum, C., Bräscher, A.-K., Jasper, F., Bailer, J., & Rubin, G. J. (2018). On the origin of worries about modern health hazards: Experimental evidence for a conjoint influence of media reports and personality traits. *Psychology & Health, 33*(3), 361-380. <https://doi.org/10.1080/08870446.2017.1357814>

Witthöft, M., & Rubin, G. J. (2013). Are media warnings about the adverse health effects of modern life self-fulfilling? An experimental study on idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (IEI-EMF). *Journal of Psychosomatic Research, 74*(3), 206–212. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2012.12.002>

Zelege, B. M., Bhatt, C. R., Brzozek, C., Abramson, M. J., Freudenstein, F., Croft, R. J., Wiedemann, P., & Benke, G. (2019). Radiofrequency electromagnetic field exposure and risk perception: A pilot experimental study. *Environmental Research, 170*, 493-499. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.12.058>

Ziegelberger, G. (2009). Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields. *Health Physics, 96*(4), 504-514.

Ziegelberger, G. (2013). Icnirp Guidelines on Limits of Exposure to Incoherent Visible and Infrared Radiation. *Health Physics, 105*(1), 74-96. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e318289a611>

13 GLOSARIO, SÍMBOLOS Y ACRÓNIMOS

13.1.1.1 Apoptosis

Proceso que implica muerte programada y que acontece en numerosos tejidos de organismos multicelulares. Cursa con característicos cambios morfológicos y bioquímicos en las células, distintos de los que acontecen con la necrosis. La apoptosis está asociada, en muchos tejidos, con el control homeostático de los mismos.

13.1.1.2 Bluetooth

Estándar de transmisión inalámbrica de información para cortas distancias que permite la transmisión de voz y datos entre distintos dispositivos mediante un enlace que trabaja en la banda de radiofrecuencias de 2,4 GHz.

13.1.1.3 Bandas ICM (Bandas Industriales Científicas y Médicas o

13.1.1.4 ISM (Industrial Scientific and Medical))

Bandas no licenciadas para usos industriales, científicos y médicos

13.1.1.5 Calidad metodológica (sinónimos: validez, validez interna)

El grado en el que el diseño y desarrollo de un ensayo clínico han evitado probables errores sistemáticos (sesgos). La variación en la calidad de los estudios

puede explicar la variación de los resultados de los ensayos clínicos incluidos en una revisión sistemática. Los ensayos clínicos diseñados de manera más rigurosa (con mejor calidad) probablemente proporcionen resultados que están más cerca de la “verdad”.

13.1.1.6 Campo eléctrico (E)

La intensidad de campo eléctrico es una magnitud vectorial (E) que corresponde a la fuerza ejercida sobre una partícula cargada independientemente de su movimiento en el espacio. Se expresa en voltios por metro (V/m).

13.1.1.7 Campo electromagnético (CEM)

Un campo electromagnético es una combinación de un campo eléctrico y un campo magnético. Los CEM pueden ser estáticos, es decir, su magnitud no varía con el tiempo, o variables en el tiempo. Un campo electromagnético variable en el tiempo se puede visualizar como una onda que se propaga a la velocidad de la luz, y que lleva asociada un campo eléctrico y un campo magnético variables en el tiempo. Por ello, al hablar de CEM variables en el tiempo también se habla de ondas electromagnéticas o de radiación electromagnética. La onda transporta energía de un punto a otro del espacio y está caracterizada por su frecuencia y su longitud de onda. La frecuencia determina la energía que transporta la onda electromagnética. A mayor frecuencia más cantidad de energía transporta la onda. Dependiendo de la frecuencia, la radiación electromagnética se clasifica en ionizante y no ionizante.

13.1.1.8 Campo magnético (H)

La intensidad de campo magnético es una magnitud vectorial (H) que, junto con la inducción magnética (B), determina el campo magnético en cualquier punto del espacio. Se expresa en amperios por metro (A/m).

13.1.1.9 Carcinogénesis

Proceso por el cual se produce el cáncer.

13.1.1.10 Consistencia

Se refiere al grado en que los resultados obtenidos por un procedimiento de medida pueden ser reproducidos. La falta de consistencia puede surgir de la divergencia entre los observadores o los instrumentos de medida, o bien por la inestabilidad de la variable que se mide.

13.1.1.11 Densidad de potencia (S)

Potencia por unidad de área. Es la potencia radiante que incide perpendicular a una superficie, dividida por el área de la superficie, y se expresa en vatios por metro cuadrado ($\frac{W}{m^2}$).

13.1.1.12 Doble ciego

Ni los participantes en el ensayo clínico ni los investigadores (los que valoran el resultado) son conscientes de qué intervención ha sido administrada a los participantes. El propósito de cegar a los participantes (tanto los receptores como los proveedores de la asistencia) es prevenir el sesgo de realización (performance bias). El objetivo de cegar a los investigadores (los evaluadores del resultado, que pueden ser los proveedores de la asistencia) es prevenir el sesgo de detección. Ver también cegamiento, simple

ciego, triple ciego y ocultación de la asignación.

13.1.1.13 Estudio de cohortes

En un estudio de cohortes, se define una muestra de estudio ('cohorte') compuesta por un grupo de individuos sanos cuya exposición o no al factor de riesgo durante el estudio es conocida, y se la sigue prospectivamente en el tiempo para determinar en cuántos casos ocurre el evento adverso.

13.1.1.14 Estudio in vitro

Estudio realizado fuera de los organismos, ex vivo, en condiciones que pretenden mimetizar aquellas fisiológicas que suceden in vivo.

13.1.1.15 Estudio in vivo

Estudio realizado directamente en animales, incluido el hombre, vivos o sacrificados para estudiar directamente los procesos que ocurren.

13.1.1.16 Eurobarómetro

Encuestas llevadas a cabo de forma periódica por la Comisión Europea desde 1973 para conocer la opinión pública de cada uno de los Estados Miembros. Las encuestas del Eurobarómetro analizan temas de interés para los ciudadanos europeos como, por ejemplo, la situación social y económica, salud, cultura, tecnología, medio ambiente, entre otros. etc.

http://ec.europa.eu/public_opinion/index_en.htm

13.1.1.17 Fibroblasto

El fibroblasto es un tipo de célula residente del tejido conectivo.

13.1.1.18 Frecuencia (f)

Número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico. En el caso de las ondas electromagnéticas, la frecuencia está relacionada con la energía que transporta la onda, $E = h \times f$, donde E es la energía y h la constante de Planck. Los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF) tienen una frecuencia comprendida entre los 30 kHz y 300 GHz.

13.1.1.19 Heterogeneidad

Se refiere a la variabilidad o a las diferencias en las estimaciones de los efectos entre los estudios.

13.1.1.20 Hipersensibilidad Electromagnética (HE)

Conjunto de síntomas inespecíficos (dolor de cabeza, mareos, desorientación, fatiga, insomnio, entre otros) que algunas personas afirman sentir y que atribuyen a las presencia de CEM.

13.1.1.21 Histología

Histología es la ciencia que estudia todo lo relacionado con los tejidos orgánicos.

13.1.1.22 Gliomas

Tipo de tumor que se produce en el cerebro o en la médula espinal. Se llama glioma, ya que surge a partir de células gliales. Su ubicación más frecuente es el cerebro.

13.1.1.23 Leucemia

Grupo de enfermedades malignas de la médula ósea (cáncer hematológico) que provoca un aumento incontrolado de leucocitos o glóbulos blancos.

13.1.1.24 Neurinoma del acústico

Es un tumor, benigno, de crecimiento lento del nervio que conecta el oído al cerebro.

13.1.1.25 Niveles de referencia

Valores de magnitudes físicas de campo eléctrico, magnético y densidad de potencia que se utilizan como guía general para limitar la exposición de los trabajadores y del público en general. El cumplimiento de los niveles de referencia asegura el cumplimiento de las restricciones básicas en la exposición.

13.1.1.26 Ondas

electromagnéticas, véase CEM (Campos electromagnéticos)

13.1.1.27 OR (odds ratio, en inglés)

Es un tipo de razón en la que el numerador es una probabilidad de que ocurra un suceso y el denominador la probabilidad de que no ocurra. La OR se puede definir para la incidencia y la prevalencia de casos. La razón entre dos odds es una medida de asociación utilizada en epidemiología.

13.1.1.28 Radiación

electromagnética, véase CEM (Campos electromagnéticos)

13.1.1.29 Radiación no ionizante

Campos electromagnéticos sin la energía suficiente para romper enlaces en moléculas o arrancar electrones de la materia sobre la que incide. El rango de frecuencias de este tipo de radiaciones se

extiende aproximadamente desde baja frecuencia al ultravioleta.

13.1.1.30 Resonancia Magnética (RM)

La resonancia magnética es una herramienta de diagnóstico cuyo uso ha aumentado significativamente en las 3 últimas décadas, especialmente en el ámbito de la asistencia sanitaria y la investigación biomédica. Para la obtención de las imágenes la RM utiliza un campo magnético estático, gradientes de campo magnético y radiofrecuencia.

13.1.1.31 Restricción básica

Son las restricciones en los valores de campo magnético, densidad de corriente, densidad de potencia y SAR, basadas en datos científicos actuales que proporcionan un adecuado nivel de protección a la exposición de campos electromagnéticos variables con el tiempo, es decir basadas directamente en los efectos sobre la salud conocidos y en consideraciones biológicas.

13.1.1.32 Revisión sistemática

Una revisión de una cuestión formulada claramente, y que utiliza métodos sistemáticos y explícitos para identificar, seleccionar y evaluar críticamente la investigación relevante, así como para obtener y analizar los datos de los estudios que son incluidos en la revisión. Se pueden utilizar o no métodos estadísticos (metanálisis) para analizar y resumir los resultados de los estudios incluidos. Ver también revisión Cochrane.

13.1.1.33 Riesgo relativo (RR)

Es la incidencia de la enfermedad en los expuestos dividida por la incidencia en los

no expuestos al factor de riesgo que se investiga. Es una medida de la fuerza de la asociación que nos permite juzgar si una asociación entre un agente y un efecto puede ser causal. Es la forma más utilizada para presentar los resultados de los estudios epidemiológicos (etiológicos). Carece de unidades, su límite inferior es el 0 y el superior infinito. Un $RR=1$ significa que ambas incidencias son iguales y que el factor de riesgo estudiados no tiene ningún efecto sobre la enfermedad estudiada. Valores superiores a 1 indican que el factor de riesgo aumenta el riesgo de presentar la enfermedad. Una asociación es débil cuando el RR es menor a 1.5 y otros autores Taubes (1995) consideran que los estudios con RR inferiores a 3 no son relevantes y deberían ser ignorados.

13.1.1.34 Sesgo

Toda desviación de la verdad que se produce en los resultados o en la inferencia de estos, o los procesos que producen tal desviación.

13.1.1.35 Tasa de absorción específica de energía (SAR)

Es la potencia absorbida por unidad de masa de tejido corporal, cuyo promedio se calcula en la totalidad del cuerpo o en partes de éste, y se expresa en vatios por kilogramo (W/kg). El SAR de cuerpo entero es una medida ampliamente aceptada para relacionar los efectos térmicos adversos con la exposición a las emisiones radioeléctricas.

13.1.1.36 Validez (sinónimo: validez interna)

Validez es el grado en que un resultado (o una medida o un estudio) se acerca probablemente a la verdad y está libre de sesgos (errores sistemáticos). La validez tiene algunos otros significados. Habitualmente va acompañada por una palabra o una frase que la califica; por ejemplo, en el contexto de la realización de una medición, se utilizan expresiones tales como validez de construcción, validez de

contenido y validez de criterio. La expresión validez interna se utiliza a veces para distinguir este tipo de validez (el grado en el que los efectos observados son verdaderos para las personas del estudio) de la validez externa o generabilidad (el grado en el que los efectos observados en un estudio reflejan realmente lo que se espera encontrar en una población diana más amplia que las personas incluidas en el estudio).

1.1. Siglas y Acrónimos

ADN

Ácido desoxirribonucleico

ANSES

Agence Nationale de la Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail, France

Agencia Nacional de la Seguridad Sanitaria de la Alimentación, del Medio Ambiente y del Trabajo (Francia)

Esta agencia ha surgido como consecuencia de la fusión de las agencias francesas, AFSSET y AFSSA. Ha empezado a operar el 1 de Julio de 2010. www.anses.fr

AP

Access Point

Punto de Acceso de una red inalámbrica

ARPANSA

Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency

Agencia de Protección Nuclear y Protección frente a la radiación

australiana

BS

Base Station

CCARS

Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud. ccars.org.es

CEM

Campo electromagnético

CENELEC

Comité Européen de Normalisation Electrotechnique, European Committee for Electrotechnical Standardization

Comité Europeo de Normalización Electrotécnica. www.cenelec.eu

CNAF

Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencia.

DHS

U.S. Department of Homeland Security

Departamento de Seguridad Nacional EE.UU <https://www.dhs.gov/>

EMBS

Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE) <http://www.embs.org/>

EMC

Electromagnetic Compatibility

eMBB

Enhanced Mobile Broadband

FDA

U.S. Food and Drug Administration.

Administración de Alimentación y Medicamentos de EE.UU.

<http://www.fda.gov/>

FOPH

Federal Office of Public Health, Switzerland

Oficina Federal de Salud Pública, Suiza

<http://www.bag.admin.ch>

GSM (o 2G)

Groupe Special Mobile

Sistema Global para las Comunicaciones Móviles.

HC

Health Canada Departamento de Salud de Canadá www.hc-sc.gc.ca

HCN

The Health Council of the Netherlands

Consejo de Salud de Holanda

www.gezondheidsraad.nl

HSDPA

High-Speed Downlink Packet Access

HE

Hipersensibilidad Electromagnética

Electromagnetic Hipersensitivity (EH)

HPA

Health Protection Agency, U.K.

Agencia de Protección de la Salud, Reino Unido www.hpa.org.uk

IARC

International Agency for Research on Cancer

Agencia Internacional de Investigación en Cáncer.

Es parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS) www.iarc.fr

ICNIRP

International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection

Comisión Internacional para la Protección frente a las Radiaciones no Ionizantes

<http://www.icnirp.de>

IEC

*International Electrotechnical Commission
Comisión Internacional en Electrotécnica
www.iec.ch*

IEEE

Institute of Electrical and Electronics Engineers

Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos. www.ieee.org

IEM

Interferencia Electromagnética o PEM

IMT

International Mobile Telecommunications

IoT

Internet Of Things

Internet de las Cosas / Objetos

ITU

International Telecommunications Union

LTE

Long-Term Evolution

MIMO

Multiple-Input Multiple-Output

mMTC

Massive Machine-Type Communication

NA

Neurinoma del acústico

NIPH

*The Norwegian Institute of Public Health,
Norway*

*Instituto Noruego de Salud Pública,
Noruega*

www.fhi.no

NRPA

Norwegian Radiation Protection Authority

*Autoridad Noruega de Protección frente a la
Radiación*

www.nrpa.no

OMS

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

www.who.int/es

PIRE

Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

RF

Radiofrecuencia

RFID

Radio Frequency IDentification

Identificación por radiofrecuencia

SAR

Specific Absorption Rate

Tasa de Absorción Específica de energía.

SCENIHR

*Scientific Committee on Emerging and
Newly Identified Health Risks, European
Commission*

*Comité Científico sobre los Riesgos
Sanitarios Emergentes y Recientemente
Identificados, Comisión Europea*

http://ec.europa.eu/health/scientific_committee/emerging/index_en.htm

SCHER

*Scientific Committee on Health and
Environmental Risks*

*Comité Científico de los Riesgos Sanitarios
y Medioambientales*

http://ec.europa.eu/health/scientific_committee%20s/environmental_risks/index_en.htm

SS

Synchronization Signal

SSM

Swedish Radiation Safety Authority, Suecia

*Autoridad Sueca para la Seguridad frente a
la Radiación*

www.stralsakerhetsmyndigheten.se

PBCH

Physical Broadcast Channel

TC

Tumores cerebrales

TM

Telefono/ Terminal móvil

TDT

Televisión Digital Terrestre

TV

Televisión

UMTS (o 3G)

*Universal Mobile
Telecommunications System*

*Sistema universal de
telecomunicaciones móviles*

URLCC

*Ultra-Reliable Low-Latency
Communication*

WHO

World Health Organization

*Organización mundial de la Salud
(OMS)*

Wi-Fi

Wireless Fidelity

WiMAX

*Worldwide Interoperability for
Microwave Access*

*Interoperabilidad mundial para
acceso por microondas*

WLAN

Wireless Local Area Network

Red Inalámbrica de Área Local

WPAN

Wireless Personal Area Network

Red Inalámbrica de Área Personal

WRC

*World Radiocommunication
Conference*

14 COMPOSICIÓN CCARS

Los miembros del CCARS son expertos en sus respectivos campos de investigación (Medicina, Física, Química, Biología, Ingeniería de Telecomunicación, Derecho, etc.) y realizan una importante labor para proporcionar una información clara sobre la relación entre radiofrecuencias y salud.

El Comité está abierto a la incorporación de nuevos miembros para dotarle del mayor número de expertos en las distintas áreas relacionadas con la exposición a campos de radiofrecuencias y salud.

14.1.1.1 Presidente CCARS: Francisco Javier Lafuente Martínez

Francisco Javier Lafuente Martínez ha sido Jefe de Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital General Universitario Gregorio Marañón de la Comunidad Autónoma de Madrid. Es autor de más de cien publicaciones científicas, en revistas recogidas en el SCI, y miembro del consejo editorial de cuatro revistas científicas. Es co-autor de más de 30 capítulos de libros. Ha participado en 19 proyectos de investigación siendo el investigador responsable de muchos de ellos. Ha sido miembro del Grupo de Trabajo “Laboratorio de Imagen Médica” de la Universidad Complutense de Madrid. Ha participado en siete Comités científicos del Hospital Universitario Gregorio Marañón, de la Sociedad Española de Radiología y de la Comunidad de Madrid. Ha sido presidente de la Sociedad Española de Diagnóstico por Imagen del Abdomen (SEDIA).

14.1.1.2 Secretario General: Miguel Ángel García García-Tuñón

Miguel Angel García García-Tuñón es investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Es coautor de 135 artículos científicos que han recibido más de 3500 citas y ha presentado más de 200 comunicaciones a congresos (27 de ellos como charlas invitadas). Es coautor de 8 patentes y ha dirigido 3 tesis doctorales. Ha participado en 24 proyectos de investigación siendo el investigador principal de 11 de ellos. Es profesor honorífico en el Departamento de Física Aplicada de la Universidad Autónoma de Madrid y de la Universidad Complutense de Madrid. Es investigador adscrito al Instituto de Magnetismo Aplicado.

14.1.1.3 Director Científico: Francisco Vargas Marcos

Francisco Vargas Marcos es Médico Epidemiólogo. Ha desempeñado varios puestos de trabajo en la Dirección General de Salud Pública del Ministerio de Sanidad en los ámbitos de la planificación sanitaria, epidemiología, prevención y promoción de la salud y sanidad ambiental. Ex Subdirector general de Sanidad Ambiental y salud laboral. Fue representante del Ministerio de Sanidad y Consumo para la elaboración de la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea sobre

exposición del público a CEM. Promotor y redactor de la legislación nacional (Real Decreto 1066/2001) sobre campos electromagnéticos (CEM). Promotor y Coordinador del Comité de Expertos Independientes de la Dirección General de Salud Pública del Ministerio de Sanidad y Consumo. Coautor del Informe Técnico “Campos Electromagnéticos y Salud Pública” y representante español en el Internacional Advisory Comite of International Electromagnetic Fields de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Autor de numerosos artículos, ponencias y conferencias sobre temas relacionados con la evaluación del riesgo de los CEM y salud pública. Coautor de los Informes sobre Radiofrecuencias y Salud del CCARS (2007-2013).

14.1.1.4 Presidente de Honor: Antonio Hernando Grande

Antonio Hernando Grande es Catedrático de Magnetismo de la Universidad Complutense de Madrid desde 1980. Es autor de más de trescientas publicaciones científicas, en revistas recogidas en el SCI., que han sido objeto de diez mil referencias y tiene un índice H de 47. Autor de 33 patentes. Ha dirigido 22 tesis doctorales. En 1989 impulsó la creación del Instituto de Magnetismo Aplicado de la Universidad Complutense, que desde entonces dirige y en el que se combinan la investigación básica y los contratos de investigación aplicada con empresas públicas y privadas. Ha sido Investigador en Naval Research Lab. en Washington y Profesor invitado en la Universidad Técnica de Dinamarca, en la Universidad de Cambridge y en el Instituto Max-Planck de Stuttgart. Es Miembro Numerario de la Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales desde 1998.

14.1.1.5 Vocal: Alberto Nájera López

Alberto Nájera López es Físico y Doctor en Neurociencias por la Universidad de Salamanca. Es profesor e investigador del área de Radiología y Medicina Física en la Facultad de Medicina de Albacete de la Universidad de Castilla-La Mancha. Coordinador de varias asignaturas del grado en Medicina como “Fundamento de la Investigación Médica”, “Bioestadística: Fundamento y Aplicación en Medicina” y “Radiología y Terapéutica Física”. También participa en el Programa de Máster Universitario en Biomedicina Experimental impartiendo parte de la docencia de las asignaturas: “Fisiología de sistemas biológicos”, “Fundamentos de microscopía óptica y electrónica”, “Ciencia y tecnología del animal de experimentación”, “Utilidad y manipulación de fuentes radiactivas no encapsuladas en investigación biomédica” y “El proceso de la adquisición y difusión del conocimiento científico”. Aunque con anterioridad sus líneas de investigación abarcaron el estudio de la contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud o el desarrollo de un modelo computacional en neurociencias, desde hace una década, su línea principal es el estudio de la exposición personal a Campos Electromagnéticos de Radiofrecuencia. Está integrado en el grupo de Investigación de “Neurofisiología y Comportamiento” del Centro Regional de Investigaciones Biomédicas. Es autor de numerosos artículos científicos, ponencias en congresos nacionales e internacionales, así como autor o coautor de numerosos libros. Ha formado parte del Grupo de Trabajo para la elaboración del Plan de acción en materia de Cambio

Climático y Salud de la Consejería de Sanidad de Castilla-La Mancha y ha participado en la elaboración del I y II informe sobre los efectos del cambio climático sobre la salud de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Desde 2019 es coordinador de la Unidad de Cultura Científica y de la Innovación (UCC+i – UCLMdivulga) de la Universidad de Castilla-La Mancha. Desarrolla una intensa actividad divulgadora en diferentes medios, siendo autor, además, del blog www.radiandando.es.

14.1.1.6 Vocal: Fernando Las-Heras Andrés

Fernando Las-Heras Andrés es Ingeniero de Telecomunicación y Doctor Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid. Ha sido Profesor Titular de Universidad en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación (Dpto. de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones) de la Universidad Politécnica de Madrid y desde 2003 es Catedrático de Universidad en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Oviedo, donde es el responsable del Grupo de Investigación “Teoría de la Señal y Comunicaciones” (TSC-UNIOVI). En el ámbito docente ha impartido múltiples asignaturas de grado y posgrado relacionadas con fundamentos y aplicaciones de tecnologías inalámbricas. Participó en la puesta en marcha del título de Ingeniero de Telecomunicación en la Univ. de Oviedo y fue Subdirector para Ingeniería de Telecomunicación en la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Gijón y Director de la Cátedra Telefónica en la Universidad de Oviedo. Desde 2010 es miembro del Consejo de la Ciencia, Tecnología e Innovación en Asturias. Ha sido profesor invitado en varias Universidades internacionales y ha dirigido y participado en numerosos proyectos de I+D y contratos con empresas del sector de las telecomunicaciones, siendo autor de más de 350 publicaciones en revistas de impacto y actas de congresos sobre temáticas de: diseño de antenas (arrays de barrido electrónico, antenas impresas y metamateriales), problema electromagnético inverso y su aplicación al diagnóstico, medida y síntesis de antenas y a sistemas de "imaging" electromagnético, propagación, tecnologías desde microondas a THz, electromagnetismo computacional, emisiones electromagnéticas y salud, así como aplicaciones en innovación docente. Ha participado en diferentes comités científicos y profesionales relacionados con las tecnologías inalámbricas, incluyendo el campo de las emisiones electromagnéticas, donde ha sido asesor, ponente y autor de diversos trabajos científico-técnicos.

14.1.1.7 Vocal: José Ignacio Alonso Montes

José Ignacio Alonso Montes es Ingeniero de Telecomunicación y Doctor Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Durante los años 1982 a 1985 trabajó en el Laboratorio de I+D de Telettra España S.A. En octubre del año 1985 se incorporó al Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones, de la E.T.S.I. de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid, donde actualmente es Catedrático. Su investigación se ha centrado en el análisis de los fenómenos de propagación en circuitos de alta frecuencia y velocidad y en el análisis de sus interconexiones, así como en el campo de los circuitos de microondas y milimétricas en tecnología híbrida y monolítica sobre Arseniuro de Galio, diseñando y desarrollando

circuitos MMICs en AsGa para sistemas de guerra electrónica, comunicaciones móviles, de fibra óptica y para sistemas de antenas adaptativas. Además, ha trabajado en el desarrollo y planificación de radio de sistemas punto-multipunto de banda ancha (LMDS) en bandas milimétricas y de sistemas inalámbricos (Wi-Fi, WiMAX, TETRA, GSM-R y LTE). Actualmente, está involucrado en el diseño de subsistemas de RF para el control automático y la señalización de sistemas ferroviarios (ERTMS y CBTC), en la caracterización teórica y experimental del canal radio en entornos ferroviarios y suburbanos, en el análisis de interferencias entre GSM-R y las redes móviles públicas y en el desarrollo de técnicas de localización basadas en redes de femtoceldas LTE.

14.1.1.8 Vocal: Narcís Cardona Marcet

Narcís Cardona es Ingeniero de Telecomunicación por la UPC (1990), Doctor Ingeniero de Telecomunicación (1995) y Catedrático de la Universitat Politècnica de València (UPV) desde 2001. El profesor Cardona lidera desde 1995 el Grupo de Investigación en Comunicaciones Móviles (MPCG) del que forman parte 30 investigadores. Además, es Director del Máster en Comunicaciones y Desarrollo de Servicios Móviles (desde 2006) y Subdirector del Instituto Universitario de Investigación iTEAM (desde 2004).

Ha dirigido 20 tesis doctorales y es autor de varios libros en editoriales internacionales, así como de 9 patentes y más de 200 artículos de investigación en revistas. El Profesor Cardona ha liderado proyectos de Investigación en el ámbito Nacional y Europeo, participando en los Programas Marco FP6, FP7 y H2020. Ha participado y liderado redes de excelencia (NEWCOM, ARCO 5G) y acciones europeas COST, destacando la presidencia de COST IC1004 y la vicepresidencia de COST273 e IRACON.

Es miembro de los comités de gestión de varios proyectos europeos (METIS, METIS-II, WIBEC) y congresos científicos internacionales (IEEE VTC, IEEE PIMRC, EUCNC). Sus áreas de actividad actual en investigación se centran en los sistemas de comunicaciones móviles 5G, los estándares de radiodifusión digital terrestre y en los dispositivos y tecnologías médicas inalámbricas.

14.1.1.9 Vocal: Concepción García Pardo

Concepción García Pardo es Doctora Ingeniera en Telecomunicación por la Universidad de Lille 1, (USTL, Francia), y la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT, España) desde 2012. Su tesis doctoral fue galardonada con el Premio Extraordinario de Doctorado de la UPCT. Actualmente, es investigadora senior del Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (iTEAM) de la UPV, donde trabaja desde 2012. Ha sido investigadora invitada en el Hospital Universitario de Oslo (Noruega) en 2014 y desde entonces lidera la línea de trabajo de Dispositivos Médicos Inalámbricos del Grupo de Comunicaciones Móviles del iTEAM. Ha dirigido 6 tesis doctorales en el ámbito de las comunicaciones inalámbricas en el entorno del cuerpo humano. Concepción es autora de más de 100 publicaciones internacionales (revistas indexadas en JCR, congresos internacionales y contribuciones técnicas a acciones COST), 2 capítulos de libro y 2

patentes. Ha sido miembro del Comité de Dirección de la acción europea COST IRACON CA 15104. Recientemente ha liderado en la UPV el proyecto europeo WIBEC sobre comunicaciones intracorporales para dispositivos cardíacos y gastrointestinales. Además, ha liderado varios proyectos públicos para el desarrollo de dispositivos médicos para detección temprana de enfermedades basándose en la identificación de las propiedades electromagnéticas de dichos tejidos. Ha sido Presidenta del Comité de Programa (TPC Chair) de las conferencias IEEE International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT) 2019 and IEEE HealthComm 2019.

Colaboradores:

14.1.1.10 Vocal: Agustín Gregorio Zapata

Es doctor en Biología por la Universidad Complutense de Madrid; en la actualidad es Catedrático de Biología Celular de la Facultad de Biología de dicha Universidad. Es coautor de más de 280 artículos científicos en el campo de la inmunología y las células madre. Ha dirigido 27 tesis doctorales y ha participado en numerosos proyectos de investigación siendo el Investigador principal en decenas de ellos.

14.1.1.11 Rafael Herranz Crespo

Rafael Herranz Crespo es Licenciado en Medicina y Especialista en Oncología Radioterápica por la Universidad Complutense de Madrid. Ha sido Profesor Universitario en las Universidades de Zaragoza, del País Vasco, y Complutense de Madrid desde 1973 hasta 2014 en el Departamento de Radiología y Medicina Física. Ha sido responsable de la creación del Centro de Radiopatología y Radioprotección en el Hospital General Universitario Gregorio Marañón y Coordinador Médico del mismo hasta su jubilación, siendo en la actualidad coordinador honorario. Ha sido Investigador principal y coordinador de 7 proyectos de investigación y autor de numerosas publicaciones, revistas científicas, capítulos de libros, ponencias y conferencias, nacionales e internacionales. Ha realizado investigaciones en el desarrollo de nuevas tecnologías tanto en Teleterapia como en Braquiterapia, con gestión de incorporación de equipos, diseño de protocolos y guías y ampliación y formación de recursos humanos. También ha desarrollado investigaciones sobre los efectos de las Radiaciones Ionizantes sobre el ser humano.

14.1.1.12 Ricardo de Ángel Yagüez

Ricardo de Ángel Yagüez es Doctor en Derecho por la Universidad de Granada y Catedrático de Derecho Civil en la Facultad de Derecho de la Universidad de Deusto. Es además vocal permanente de la comisión General de Codificación, y autor de catorce libros y más de cien publicaciones sobre Derecho. Ha impartido más de 200 conferencias en cursos, congresos, jornadas y simposios. Ha sido Director de 12 tesis doctorales, y es doctor Honoris Causa por la Universidad de Buenos Aires.

PÁGINAS WEB CONSULTADAS

Las páginas de las principales Agencias y Organismos científicos consultadas en el proceso de elaboración de este informe han sido:

- *Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. Plan Nacional 5G* (<https://avancedigital.gob.es/5G/Paginas/medidas-5G.aspx>)
- *Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. Actuaciones en Europa* (<https://avancedigital.gob.es/5G/Paginas/Actuaciones-5G-Europa.aspx>)
- <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/5g-observatory-reports-important-progress-5g-roadmaps> *Observatorio 5G Comisión Europea* (<https://5gobservatory.eu/>)
- *ICNIRP. Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No-Ionizantes* (www.icnirp.org)
- *ELECTROMAGNETIC FIELDS* Proyecto de la Organización Mundial de la Salud (<http://www.who.int/peh-emf/en/>)
- *Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU)* www.itu.int
- *Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR, Comisión Europea)* (http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/index_en.htm)
- *Health Protection Agency (Reino Unido)* (<https://www.gov.uk/government/organisations/public-health-england>)
- *AGNIR. Independent Advisory Group on Non-ionising Radiation:* (<https://www.gov.uk/government/groups/advisory-group-on-non-ionising-radiation-agnir>)
- *Informationszentrum Mobilfunk (IZMF, Alemania)* ([http://www.informationszentrum-mobilfunk.de/Bundesamt für Strahlenschutz](http://www.informationszentrum-mobilfunk.de/Bundesamt_für_Strahlenschutz) (Alemania): dipbt.bundestag.de/dip21.web/bt)
- *Institut Belge des Services Postaux et des Télécommunications (Bélgica)* (www.bipt.be)
- *Instituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Italia)* (<http://www.isprambiente.gov.it>)
- *Agencia Francesa para la Salud y Seguridad Ocupacional y Medioambiental (Francia)* (<http://www.anses.fr>)

- *Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency ARPANSA*
<http://www.arpansa.gov.au>

El Informe sobre radiofrecuencias y salud (2016-2019) es la sexta edición que realiza el Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS). El presente informe presta especial atención a los trabajos publicados en el trienio 2016-2019. Las conclusiones de este informe confirman las evidencias observadas en el anterior informe del CCARS en el sentido de que hasta la fecha actual la evidencia científica muestra que a los niveles habituales de exposición personal a CEM-RF no hay evidencia de riesgo para la salud de las personas. El proceso de edición del texto se ha ampliado a marzo de 2020 para permitir incluir los cambios de las nuevas directrices que ha publicado recientemente la ICNIRP sobre la exposición a campos electromagnéticos de Radiofrecuencias en el rango de 100 kHz a 300 GHz. El CCARS ha considerado que, debido a la trascendencia de la publicación de estas directrices, merecía la pena retrasar la edición del informe para incorporarlas en el texto definitivo.

La metodología aplicada en la revisión de las evidencias es similar a la de informes anteriores. Una vez clasificados los estudios en función de su calidad metodológica se han incluido los que aportan mayor calidad de evidencia en función de los criterios aceptados por la comunidad científica. La información científica (las evidencias) se ha obtenido de los resultados de los estudios clínicos y epidemiológicos que aportan mayor peso de la evidencia, en función del tipo de diseño del estudio, metodología, calidad, validez, consistencia y reproducibilidad.

Con esta publicación, el Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud (CCARS) trata de facilitar asesoramiento científico e información clara, independiente y actualizada a todas las entidades públicas y privadas, así como a la ciudadanía, sobre la exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias y sus efectos sobre la salud humana, uno de los objetivos principales desde su creación. El CCARS espera que la información aquí recogida sea útil para la adopción de las mejores decisiones políticas y sanitarias, basadas en los resultados de estudios científicos.

