



Informe sobre Radiofrecuencias y Salud

2023/2025

Metodología

Introducción

El número de fuentes emisoras de campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF, 100 kHz–300 GHz) se ha diversificado y extendido en las últimas décadas, impulsado por la expansión de tecnologías de telecomunicaciones (telefonía móvil, redes Wi-Fi, despliegue de 5G, Internet de las Cosas) y por su integración en múltiples ámbitos (domésticos, industriales, médicos o de seguridad).

Aunque los niveles de exposición ambiental en la población general suelen mantenerse bajos y dentro de los límites establecidos (Ramírez-Vazquez et al., 2024a), la omnipresencia de estas fuentes ha generado un escenario de exposición continua y heterogénea (Jalilian et al., 2019; Ramírez-Vazquez et al., 2023).

Este contexto, junto con la incertidumbre científica sobre posibles efectos no térmicos, ha alimentado la preocupación social y el interés regulatorio (Ramírez-Vazquez et al., 2024b). Ya desde finales de los años noventa, distintos gobiernos, organismos internacionales y grupos de expertos comenzaron a señalar la necesidad de valorar rigurosamente las consecuencias sanitarias de estas exposiciones, dando lugar a evaluaciones científicas de referencia como las de la IARC (Baan et al., 2011) o el SCENIHR (European Commission, 2015).

Hasta la fecha, los únicos efectos para la salud establecidos de forma consensuada por la literatura son los debidos al calentamiento de tejidos (efectos térmicos) y, en el rango inferior de RF, la estimulación directa de células excitables (p. ej., nerviosas o sensoriales). Las normas de exposición vigentes como por ejemplo las guías de ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 2020) se han fijado precisamente para evitar dichos efectos agudos, manteniendo cualquier elevación de temperatura corporal bajo umbrales seguros. Sin embargo, no existe consenso científico sobre la posibilidad de otros efectos no térmicos (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 2025): por un lado, la evidencia de mecanismos biofísicos alternativos es limitada o no concluyente; por otro, no se puede descartar que puedan existir interacciones aún no identificadas que deriven en efectos adversos. Numerosos estudios han explorado una amplia gama de posibles impactos biológicos y sanitarios de las RF (desde cáncer cerebral hasta alteraciones en el estrés oxidativo), pero sus resultados a menudo han sido heterogéneos o inconsistentes, sin permitir sacar conclusiones sólidas en muchas áreas (Verbeek et al., 2021). Como ejemplo ilustrativo, en 2011 la IARC clasificó los CEM-RF como “posiblemente carcinógenos para humanos” (Grupo 2B) basándose en evidencia limitada de cáncer en humanos y en animales, reflejando la incertidumbre existente (International Agency for Research on Cancer (IARC), 2011).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) acumula más de tres décadas de experiencia analizando los posibles riesgos para la salud derivados de la exposición humana a CEM. Este trabajo se ha articulado a través de su serie de monografías Environmental Health Criteria (EHC), que constituyen el marco de referencia internacional en la materia (World Health Organization, 2010, 2007, 2006, 1993). En ellas, equipos de expertos independientes revisaron de forma exhaustiva la evidencia científica disponible sobre los efectos de distintos tipos de campos —estáticos, de extremadamente baja frecuencia (ELF) y de radiofrecuencia (RF)—, proporcionando la base científica sobre la que se apoyan numerosas normas y políticas de salud pública en todo el mundo. No obstante, como se ha indicado, el desarrollo, despliegue e implantación de nuevas tecnologías, el aumento de la exposición universal, la preocupación pública creciente ante posibles riesgos y la falta de consenso científico sobre efectos más sutiles o a largo plazo, fundamentaron la

necesidad de una evaluación exhaustiva, sistemática y transparente de la evidencia disponible sobre CEM-RF y salud.

La última monografía dedicada específicamente a las radiofrecuencias se publicó en 1993, y desde entonces se han sucedido avances tecnológicos, nuevas fuentes de exposición y una producción científica muy superior a la existente en aquel momento. Por ello, la OMS propuso su actualización, que completará las ya publicadas sobre campos estáticos (World Health Organization, 2006) y ELF (World Health Organization, 2007) y ofrecerá una evaluación integral y actualizada de los posibles riesgos asociados a la exposición a RF. Esta nueva edición, desarrollada conforme a las directrices metodológicas de la organización (World Health Organization, 2014), se apoyará en la síntesis rigurosa de la evidencia más reciente, incluyendo las revisiones sistemáticas publicadas en los últimos tres años y que se recogen en este informe, que han aplicado estándares internacionales de alta calidad como los definidos en las recomendaciones COSTER (Whaley et al., 2020). Antes de iniciar las revisiones sistemáticas, la OMS promovió en 2012 una revisión de alcance (*scoping review*) con el objetivo de mapear de forma amplia toda la evidencia disponible sobre los posibles efectos en salud de la exposición a CEM-RF. Este trabajo permitió identificar varios miles de publicaciones científicas que abordaban uno o más efectos sobre la salud, proporcionando una visión global del estado del conocimiento. Sin embargo, la heterogeneidad de los estudios y la falta de criterios comparables entre ellos dificultaban extraer conclusiones sólidas. Por este motivo, y para poder valorar con mayor rigor la magnitud y la certeza de los posibles efectos observados, la OMS consideró necesario emprender una serie de revisiones sistemáticas específicas y exhaustivas que sirvieran de base para la nueva monografía EHC.

Dado que investigar en detalle *todos* los desenlaces estudiados resultaría impracticable, se estableció un proceso formal de priorización de efectos en salud, para enfocar los esfuerzos en aquellos resultados más críticos (Verbeek et al., 2021).

El presente informe tiene como principal objetivo transmitir de forma ordenada, agrupada y accesible a un público técnico, pero sin la exigencia de tener conocimientos científicos avanzados, toda esta nueva evidencia. No pretende valorar o analizar los resultados y conclusiones alcanzadas en las diferentes revisiones. Dada la amplitud del trabajo y la complejidad del conjunto de revisiones sistemáticas consideradas, es posible que algunos detalles menores no se hayan recogido de forma exhaustiva. Persiste inevitablemente un cierto grado de incertidumbre en la interpretación y síntesis general, por lo que el propósito de este documento es ofrecer una visión integrada y comprensible del conjunto de la evidencia, sin sustituir la consulta directa de los artículos originales para un análisis más detallado de cada estudio o desenlace específico.

Encuesta internacional a expertos (2018)

Como primer paso, la OMS llevó a cabo en 2018 una encuesta internacional a expertos en CEM-RF, con el objetivo de identificar de forma transparente qué efectos en la salud debían priorizarse para una revisión sistemática (Verbeek et al., 2021). Sobre la base de un listado amplio de 34 *posibles desenlaces* de salud asociados a RF recopilados de la literatura y categorías previas de la OMS, se invitó a ~300 investigadores y especialistas en el tema a valorar la importancia de cada desenlace mediante una escala de 1 a 9, siguiendo la metodología de las guías GRADE (Guyatt et al., 2008), donde 1–3 indica importancia *no relevante*, 4–6 *importante pero no crítica*, y 7–9 *crítica* para la toma de decisiones. Adicionalmente, a los encuestados se les solicitó justificar cualquier valoración superior a 3 indicando la razón principal de su preocupación, eligiendo entre categorías predefinidas: evidencia procedente de estudios en humanos, en animales o in vitro, posible impacto en salud pública (por la carga de enfermedad) o nivel de preocupación pública, pudiendo

agregar comentarios abiertos. La encuesta se implementó en línea entre mayo y junio de 2018, obteniendo 164 respuestas (54% de participación) de expertos provenientes de 28 países (principalmente de Europa, Norteamérica y Asia). La muestra incluyó a científicos con trayectoria en bioelectromagnetismo, muchos afiliados a universidades u organismos de investigación, lo que asegura que el ejercicio fue representativo de la comunidad experta en este campo.

Para determinar la *prioridad*, la OMS predefinió un criterio cuantitativo: se considerarían para *revisión sistemática* aquellos efectos que al menos ~30% de los expertos calificaran como “críticos” (7–9). Este umbral permitió filtrar los aspectos más relevantes de entre la larga lista evaluada. Los resultados de la encuesta mostraron un claro consenso en torno a varios efectos prioritarios que superaron dicho umbral:

- **Cáncer:** fue la categoría de mayor prioridad; por ejemplo, un 64% de los expertos calificó como *crítico* el riesgo de tumores en cabeza y cuello asociados a RF. En general, el riesgo de cáncer (especialmente tumores cerebrales y de cabeza/cuello, así como otros cánceres como leucemias) destacó como uno de los primeros efectos a revisar. Este énfasis estuvo motivado tanto por evidencia epidemiológica y experimental existente como por la preocupación pública al respecto.
- **Efectos térmicos:** varios efectos agudos por calentamiento de tejidos (ej. calentamiento ocular, quemaduras o dolor por RF de alta potencia) recibieron puntuaciones altas (37–48% los consideraron críticos). Aunque prácticamente el mismo porcentaje de expertos los calificó como *poco importantes* – probablemente porque son efectos bien conocidos y prevenidos por los límites actuales–, el grupo reconoció que los efectos por elevación de temperatura constituyen un riesgo tangible de las RF y por tanto merecen consideración prioritaria.
- **Síntomas y sensibilidad a RF:** en la categoría de “síntomas que afectan la salud”, destacó la hipersensibilidad electromagnética (EHS), también conocida como intolerancia ambiental idiopática atribuida a CEM o EI-EMF (*Idiopathic Environmental Intolerance attributed to EMF*) por sus siglas en inglés. Un 35% de los expertos consideró *crítico* este síndrome (y otro 40% lo vio *importante*), reflejando la preocupación por las quejas somáticas atribuidas a la exposición a RF (ej. dolores de cabeza, malestar, trastornos del sueño). Aunque la etiología de la EHS es controvertida, su inclusión fue impulsada principalmente por la alta preocupación del público que se identifica con estos síntomas, además de algunos indicios científicos. En cambio, otros problemas de salud general (p. ej., depresión, bienestar percibido) no fueron considerados críticos por la mayoría y quedaron relegados.
- **Reproducción y desarrollo:** dentro de los desenlaces reproductivos, los expertos dieron especial importancia a los desenlaces reproductivos adversos, esto es, desenlaces perinatales (p. ej., **bajo peso al nacer, malformaciones, etc.**), así como eventos del embarazo (p. ej., **abortos espontáneos, partos prematuros**). Un 32% calificó como crítico el riesgo de complicaciones del embarazo (abortos espontáneos, partos prematuros, bajo peso neonatal, etc.), y 34% adicional como importante. De igual forma, los efectos en la fertilidad —en particular la fertilidad masculina— fueron señalados (28% crítico, 48% importante para infertilidad masculina), por encima de la fertilidad femenina. En conjunto, los posibles efectos sobre la reproducción (infertilidad, alteraciones en el desarrollo prenatal y perinatal) emergieron como prioridad para una revisión en profundidad, apoyados

tanto por evidencia animal como por la preocupación pública sobre impactos en la descendencia.

- **Función cognitiva:** bajo la categoría de trastornos neurológicos, el único desenlace que alcanzó prioridad fue el deterioro o alteración cognitiva relacionada con la exposición a RF. Un 33% de expertos valoró como crítico un posible impacto de las RF en la función cognitiva (p. ej., en memoria, atención, tiempos de reacción), con otro 37% considerándolo importante. Esta preocupación se apoyó principalmente en evidencia humana (65% lo citó), cierta evidencia experimental en animales (46%) y el nivel de inquietud pública sobre efectos en el cerebro (54%).
- **Estrés oxidativo:** por último, en el ámbito inmunológico/celular destacó el estrés oxidativo como efecto biológico prioritario. Un 32% de los expertos lo calificó crítico, respaldando la hipótesis de que la exposición a RF podría inducir desequilibrios oxidativos en células y tejidos. Esta prioridad se basó en gran medida en la evidencia reportada por estudios *in vivo* (61%) e *in vitro* (67%) que sugieren alteraciones en marcadores de radicales libres bajo exposición a RF. Ningún otro efecto inmunológico o hematológico alcanzó el umbral del 30%, de modo que el estrés oxidativo celular fue identificado como el principal mecanismo subyacente a examinar en las revisiones.

Esta encuesta internacional de 2018 –con un enfoque inclusivo y transparente– priorizó seis áreas temáticas clave: cáncer, efectos térmicos, reproducción (distinguiendo entre fertilidad y resultados de embarazo), síntomas (incluyendo EHS), función cognitiva y estrés oxidativo. Para estas temáticas, la OMS determinó que era necesario realizar revisiones sistemáticas exhaustivas de la evidencia científica disponible. En cuanto a los efectos térmicos agudos, para los que se planificó una revisión específica, finalmente fue discontinuada durante el proceso editorial, a fin de no demorar el conjunto del proyecto. Cabe destacar que en algunos casos los expertos fundamentaron sus decisiones no sólo en datos empíricos sino en la potencial *trascendencia* del problema (e.g., el cáncer por su gravedad) o la *preocupación social* existente (p. ej., EHS), lo cual refuerza la importancia de abordar también las percepciones de riesgo en la evaluación. Como se ha indicado, estas revisiones sistemáticas alimentarán un monográfico de la OMS sobre CEM-RF, enmarcado dentro de un próximo volumen de la serie “Environmental Health Criteria”.

Metodología

Inicialmente, la OMS había planificado la realización de doce revisiones sistemáticas —incluida una sobre efectos térmicos agudos—, aunque esta última no llegó a completarse y fue finalmente cancelada; por ello, el número total de revisiones efectivamente publicadas se redujo a once, que son las que integran esta evaluación. A partir de los resultados de la encuesta, la OMS inició un proceso sin precedentes para llevar a cabo las once revisiones sistemáticas independientes que cubrieran las áreas priorizadas. Cada revisión fue encomendada a un equipo internacional de expertos mediante convocatoria abierta, seleccionando las propuestas mediante un comité científico según criterios de competencia técnica (experiencia en metodología de revisiones sistemáticas, pericia en CEM-RF y en el tipo de efecto sanitario a evaluar). Todos los miembros de los equipos fueron sometidos a evaluaciones de conflicto de interés conforme a las normas de la OMS, garantizando la transparencia e independencia del proceso. Los equipos multidisciplinarios finalmente seleccionados –integrando epidemiólogos, biólogos, médicos, físicos, toxicólogos, bioestadísticos, entre otros– procedían de numerosos países y centros de investigación de Europa, Norteamérica, Asia, África y Oceanía, reflejando la amplitud geográfica y de experiencia especializada requerida para abordar el tema.

Cada tema prioritario fue abordado mediante revisiones diferenciadas según el tipo de evidencia —estudios en humanos, tanto observacionales como experimentales, y estudios en animales—, aplicándose, además, cuando procedía, un método específico para los metaanálisis de dosis-respuesta (Orsini et al., 2022), con el fin de garantizar resultados comparables y una síntesis cuantitativa más precisa. Cada revisión sistemática se diseñó con una metodología explícita y rigurosa, siguiendo las directrices internacionales: se adoptó el manual de la OMS para el desarrollo de guías (WHO Handbook) (World Health Organization, 2014) como marco general, COSTER (Recommendations for the conduct of systematic reviews in toxicology and environmental health research) que proporciona una guía práctica y consensuada (Whaley et al., 2020) sobre cómo planificar y ejecutar revisiones sistemáticas en salud ambiental, complementando al WHO Handbook, adaptando la pregunta de investigación en formato PECO (Población, Exposición, Comparador, Resultados) (Morgan et al., 2018) para entornos de salud ambiental. Asimismo, se incorporaron las recomendaciones metodológicas del NTP/OHAT (OHAT, 2015) y del enfoque GRADE (Guyatt et al., 2008), especialmente para la evaluación de sesgos y de la confianza en la evidencia. Todos los protocolos fueron registrados previamente en plataformas públicas (como PROSPERO u OSF) antes de iniciar las revisiones, asegurando transparencia y evitar sesgos de reporte. Adicionalmente, se siguieron las guías PRISMA (Page et al., 2021) para protocolos (PRISMA-P) (Moher et al., 2015) en la documentación del plan de trabajo. Se realizaron búsquedas sistemáticas de literatura en bases biomédicas principales (PubMed, Embase, Web of Science, EMF-Portal, PsycINFO en el caso de cognición, etc.), sin restricción de idioma o año. En coherencia con los protocolos, las exposiciones agudas se abordan principalmente en ensayos experimentales (minutos–horas; algunos días en campo), mientras que los potenciales efectos a largo plazo se evalúan en estudios observacionales (semanas–años).

Del protocolo a la certeza: cómo se evaluó la evidencia

WHO Handbook (manual de la OMS para el desarrollo de guías)

El WHO Handbook for Guideline Development es el marco metodológico de la OMS para producir guías y valoraciones de evidencia de alta calidad. Establece principios de preguntas bien formuladas, rigurosidad de métodos, independencia, gestión de conflictos de interés y comunicación clara de la certeza.

En las revisiones aquí presentadas, se adoptó como marco general: guía la justificación de por qué hacer la revisión, cómo formular la PECO y cómo presentar conclusiones proporcionales a la calidad de la evidencia. También inspira la estandarización de resúmenes de evidencia (p. ej., tablas de “perfil de evidencia” y mensajes que explicitan *qué sabemos y con qué certeza*).

COSTER

COSTER (*Recommendations for the conduct of systematic reviews in toxicology and environmental health Research*) proporciona una guía práctica y consensuada sobre cómo planificar y ejecutar revisiones sistemáticas en salud ambiental, complementando al WHO Handbook (marco general) y anticipando los requisitos de transparencia que PRISMA exige al comunicar resultados. COSTER también orienta las decisiones de síntesis: cuándo es adecuado un metaanálisis (y bajo qué supuestos de heterogeneidad, típicamente con *random-effects*), cómo tratar métricas distintas (p. ej., conversión de OR/HR a RR o de OR a SMD para comparabilidad), cómo planificar subgrupos/meta-regresión (p. ej., por tipo de exposición: cabeza vs. cuerpo entero; tipo de medida: objetiva vs. autoinformada), y qué análisis de sensibilidad predefinir (p. ej., supuestos de correlación en *cross-over*). En línea con COSTER, las revisiones documentan cambios respecto al protocolo, justifican

exclusiones (p. ej., diseños con limitaciones de temporalidad o alto riesgo de nocebo) y explican cuándo se opta por síntesis narrativa en lugar de agregación cuantitativa.

PRISMA (y la extensión PRISMA-P)

PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) es una guía de comunicación que establece qué información debe reportarse en una revisión sistemática y metaanálisis (p. ej., estrategia de búsqueda, criterios de elegibilidad, proceso de selección, métodos de síntesis, evaluación del sesgo, resultados de cada comparación, limitaciones). Su propósito es aumentar la transparencia y la reproducibilidad, evitando omisiones que dificulten juzgar la calidad de lo hecho.

En las revisiones incluidas en este informe se ha seguido PRISMA para la elaboración de cada informe final (incluido el diagrama de flujo con cifras de registros identificados, cribados, excluidos e incluidos) y PRISMA-P para los protocolos, que especifica de antemano qué se hará (fuentes, fechas, desenlaces, análisis previstos). PRISMA-P reduce el sesgo de reporte (cambiar la pregunta o los métodos a posteriori) y facilita comparar el plan con lo ejecutado.

PROSPERO y OSF

PROSPERO es un registro público de protocolos de revisiones sistemáticas en salud. Al registrar el protocolo antes de iniciar el trabajo, el equipo “sella” la pregunta PECO, los criterios de elegibilidad, las estrategias de búsqueda y los métodos de análisis, lo que previene desviaciones no justificadas y hace rastreable cualquier enmienda. OSF (Open Science Framework) es una plataforma de ciencia abierta donde pueden alojarse materiales complementarios: formularios de extracción, sintaxis de análisis, archivos de resultados y actualizaciones.

Todos los protocolos se registraron previamente y, cuando procede, se depositó material en OSF. Esto aporta trazabilidad (qué se prometió hacer) y acceso a los materiales (qué se hizo realmente), reforzando la auditoría externa y la reutilización.

GRADE y OHAT (OHAT-GRADE)

GRADE (*Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluation*) es el sistema estándar para juzgar la certeza/confianza en la evidencia por desenlace. Evalúa cinco dominios: riesgo de sesgo, inconsistencia (heterogeneidad no explicada), indirectitud o *indirectness* (aparece cuando los estudios no se corresponden exactamente con tu PECO; es un problema de aplicabilidad: cuanto más se aleja la evidencia de la pregunta objetivo, menor es la confianza para inferir el efecto que realmente te importa, se evalúan 4 ejes: población/exposición/comparador/desenlaces distintos a los de interés), imprecisión (intervalos muy anchos o pocos eventos) y sesgo de publicación. La adaptación OHAT (del Office of Health Assessment and Translation) traslada estos principios al ámbito de salud ambiental y toxicología, donde las fuentes de evidencia incluyen observacionales en humanos, animales de laboratorio y estudios mecanísticos.

Las revisiones aplicaron OHAT-GRADE por desenlace (no “por estudio”), de modo que el dictamen final (p. ej., *alta, moderada, baja o muy baja* certeza) sintetiza la totalidad de estudios relevantes, ponderando sus fortalezas y limitaciones. En evidencia animal, además, se reconoce que los bioensayos crónicos son la pieza más directa para carcinogénesis; en su ausencia, la certeza máxima puede ser moderada, aunque existan otros diseños positivos.

La certeza (alta / moderada / baja / muy baja) es un juicio sobre la confianza que merece el conjunto de estudios relevantes para un par exposición–desenlace (por ejemplo: *uso de móvil ↔ glioma*). No es un p-valor ni “cuántos estudios hay”, tampoco es una nota “por

estudio”. Es por desenlace, integrando todos los estudios válidos. En las revisiones humanas, el texto traduce esa certeza a mensajes estandarizados tipo:

- **Certeza alta** → “no aumenta el riesgo” (does not increase risk). Requiere validez interna sólida, consistencia entre estudios, directitud (buena correspondencia con la PECO), precisión (IC estrechos) y sin señales de sesgo de publicación. *En estas revisiones, es poco frecuente que se alcance “alta” para desenlaces humanos; en animales, sí aparece para algunos tumores con bioensayos crónicos positivos consistentes.*
- **Certeza moderada** → “probablemente no aumenta el riesgo” (likely does not increase risk). Suele ocurrir cuando los estimadores están cerca de 1 y son consistentes, con limitaciones residuales (p. ej., algo de heterogeneidad o exposición evaluada con proxies, variables de medida indirecta, aceptables).
- **Certeza baja** → “puede no aumentar el riesgo” (may not increase risk). Aparece cuando hay pocos estudios, heterogeneidad relevante o *proxies* de exposición con dudas importantes de aplicabilidad.
- **Certeza muy baja** → “no podemos confiar en la estimación”. Ocurre cuando se dispone de pocos estudios, alta imprecisión, alto riesgo de sesgo, indirectitud marcada y/o señales de sesgo de publicación. En este caso, lo prudente es evitar afirmaciones firmes en un sentido u otro.

Es decir, el adverbio en cada caso (“probablemente”, “puede”) refleja el grado de confianza que permiten los datos. En algunos protocolos (p. ej., cáncer en humanos y síntomas en estudios observacionales) se acordó con la OMS no aplicar el Paso 6 de OHAT (‘nivel de evidencia de efecto/no efecto’), por lo que las conclusiones se expresarán como juicios de certeza por desenlace sin esa calificación final.

RoB (Risk of Bias) y su evaluación por dominios

RoB es la validez interna de los estudios: hasta qué punto el diseño y la ejecución pueden haber introducido errores sistemáticos que distorsionen la estimación del efecto. No es “calidad global” difusa, sino dominios concretos (definidos en OHAT) como: selección de participantes (sesgo de selección), medición de la exposición (p. ej., autoinforme vs. métricas objetivas), medición del desenlace (diagnóstico válido y ciego a la exposición), confusión (control suficiente de variables clave), datos faltantes y selectividad del reporte.

Cada estudio se juzgó dominio a dominio, y se ubicó en *tiers* o *niveles de sesgo* (p. ej., 1–3) de validez. Las síntesis (metaanálisis o narrativas) consideran estos niveles (p. ej., análisis por subgrupos de bajo RoB) y GRADE puede degradar la certeza si la mayor parte de la evidencia proviene de estudios con preocupaciones serias.

RoC (Report on Carcinogens) — “sensibilidad/informatividad” en evidencia animal

En carcinogénesis animal, además del RoB, interesa si un estudio tiene capacidad real de detectar un efecto, es decir, su “sensibilidad/informatividad”: tamaño muestral, contraste de exposición (p. ej., niveles de SAR bien espaciados y suficientemente altos), duración adecuada (≈2 años en roedores), ventanas de exposición relevantes y sensibilidad del desenlace (incidencia tumoral, histopatología sistemática). Este enfoque procede de prácticas del Report on Carcinogens (RoC) del National Toxicology Program (NTP) de Estados Unidos y se usa como complemento a OHAT.

En particular, en las revisiones de estudios con animales, la pareja RoB + RoC permite clasificar los estudios en *tiers* o niveles que no solo valoran la validez interna, sino también si el estudio estaba en condiciones de revelar una señal carcinogénica (por ejemplo, si el SAR máximo fue demasiado bajo, el estudio puede ser *poco informativo*, aunque el RoB

sea bajo). De nuevo, esto incrementa la fiabilidad y capacidad de interpretación y la certeza OHAT-GRADE.

Cómo encajan todas las piezas

- El **WHO Handbook** impone un andamiaje metodológico común (preguntas, métodos, transparencia, gestión de conflictos) congruente con estándares de guía.
- **COSTER** traduce ese marco a procedimientos operativos propios de toxicología y salud ambiental.
- **PRISMA/PRISMA-P** aseguran que lo planeado (PRISMA-P) y lo realizado (PRISMA) queden documentados de forma íntegra y comparable (diagrama de flujo, estrategias de búsqueda, criterios de elegibilidad, métodos de síntesis, resultados por comparación y limitaciones).
- **PROSPERO/OSF** fijan el compromiso público con el protocolo y facilitan la auditoría (qué se prometió, qué cambió y por qué), además del acceso a materiales complementarios.
- **OHAT-GRADE** transforma un conjunto de estudios heterogéneos en un juicio claro por desenlace sobre la certeza de la evidencia.
- **RoB** y, en animales, **RoC** conectan la lectura crítica de los estudios individuales con la síntesis y los dictámenes de certeza.

El resultado es un circuito coherente que minimiza sesgos, maximiza transparencia y permite que las conclusiones estén proporcionalmente ancladas a la calidad y consistencia de la evidencia. Este proceso general, aplicado en cada tema, puede resumirse así: pre-registro del protocolo en PROSPERO/OSF → marco estratégico WHO Handbook → operacionalización COSTER (PECO, búsqueda, duplicación, RoB, criterios de síntesis y sensibilidad) → PRISMA para documentar → búsqueda multibase /selección → RoB/RoC por dominios con tiers predefinidos → síntesis (metaanálisis random effects/narrativa, etc.) → OHAT-GRADE para estructurar el juicio de certeza por desenlace → conclusiones.

Protocolos y áreas temáticas

A continuación, se resumen los **nueve protocolos temáticos** desarrollados y publicados, agrupados por área temática o de interés:

- **Cáncer (evidencia en humanos y en animales):** Se establecieron dos protocolos enfocados en la posible carcinogenicidad de los CEM-RF. El primero se diseñó para abordar estudios epidemiológicos en humanos (población general y trabajadores, (Lagorio et al., 2021)), examinando la posible asociación entre la exposición a RF y el riesgo de neoplasias. Incluyó tanto exposiciones de campo cercano localizadas en la cabeza (uso de teléfonos móviles y dispositivos inalámbricos, principal fuente de irradiación cerebral) como exposiciones de campo lejano y cuerpo entero (debidas a antenas fijas de telecomunicaciones, radio/TV, Wi-Fi, etc. ambiental) y exposiciones ocupacionales (por equipos emisores en entornos laborales). Este protocolo epidemiológico abarca un amplio espectro de tipos tumorales, con especial atención a los tumores del sistema nervioso central (cerebro –gliomas, meningiomas, schwannoma vestibular, tumores hipofisarios–) y otras localizaciones sugeridas (glándulas salivales, leucemias infantiles, etc.), dada la literatura previa. Por otro lado, el segundo protocolo cubre la evidencia de carcinogenicidad en animales de laboratorio, revisando de forma sistemática los bioensayos experimentales en roedores expuestos crónicamente a RF (Mevisen et al., 2022). Este protocolo se diseñó para recopilar todos los estudios controlados *in vivo* (publicados o informes técnicos) que evaluaran la incidencia de tumores en animales tras la exposición a RF, con el fin de determinar de manera objetiva si hay

incremento en la frecuencia de cáncer u otras lesiones preneoplásicas bajo distintas condiciones de exposición. Cabe destacar que esta revisión en animales complementa la evidencia limitada que llevó a la IARC a clasificar las RF como posiblemente carcinógenas, proporcionando una evaluación actualizada y metódica de aquellos estudios toxicológicos.

- **Síntomas y EHS (estudios experimentales y observacionales):** Dada la relevancia otorgada a los síntomas atribuidos a las RF, se diseñaron dos revisiones centradas en este tema. Un protocolo cubre los estudios experimentales en humanos (ensayos controlados, a menudo con diseño cruzado, doble ciego, (Bosch-Capblanch et al., 2022)) que investigan la aparición de síntomas autorreportados bajo exposición aguda a RF. Estos experimentos típicamente exponen voluntarios a campos de RF (p. ej., simulando el uso de un teléfono móvil o una antena cercana) frente a una condición simulada (*sham*, exposición fingida), evaluando si surgen *síntomas inmediatos* como cefalea, mareos, fatiga, trastornos cognitivos leves o cambios en el bienestar durante o tras la exposición. Es importante destacar que, este protocolo, también analizó estudios que evaluaran la capacidad de los individuos para percibir la presencia o ausencia de campos RF, comparando grupos de sujetos *con* y *sin* EHS declarada. De este modo, se examinó científicamente la afirmación de las personas EHS de “sentir” los campos y desarrollar síntomas por exposiciones por debajo de los límites normativos. El segundo protocolo se centra en los estudios observacionales sobre síntomas en población general o trabajadora crónicamente expuesta a RF (Röösli et al., 2021). En esta revisión se incluyeron estudios epidemiológicos de cohortes, casos y controles, o estudios de panel que evaluaron la asociación entre la exposición a RF a medio o largo plazo (semanas, meses o años, por fuentes ambientales u ocupacionales, locales o de cuerpo entero) y la prevalencia/incidencia de diversos síntomas. Los *desenlaces principales* considerados incluyeron síntomas frecuentes que algunos individuos vinculan con las RF: dolor de cabeza (cefalea), migraña, tinnitus (acúfenos), trastornos del sueño, fatiga y otros síntomas inespecíficos, así como índices compuestos de síntomas o de calidad de vida relacionada con la salud. Esta revisión buscó si existe evidencia epidemiológica consistente de que la exposición prolongada (por ejemplo, vivir cerca de antenas, uso intenso de dispositivos inalámbricos) conlleve un aumento en la frecuencia de dichos síntomas, más allá del efecto no específico o del sesgo de percepción.
- **Reproducción (fertilidad masculina y resultados perinatales en humanos y animales):** En el ámbito reproductivo, la OMS encargó dos revisiones sistemáticas complementarias. La primera abarca los efectos en la reproducción humana, recopilando estudios observacionales en poblaciones humanas sobre dos subtemas: fertilidad masculina y resultados adversos del embarazo (Kenny et al., 2022). Por un lado, se pretendía evaluar si la exposición a CEM-RF se asocia con alteraciones en la *fertilidad de varones*, esto es, desenlaces como infertilidad diagnosticada, parámetros seminales anómalos –morfología, concentración o motilidad de espermatozoides–. Por otro lado, también los posibles efectos en las *mujeres y sus recién nacidos*, incluyendo complicaciones gestacionales y perinatales tales como abortos espontáneos, parto prematuro, restricción del crecimiento intrauterino (bebés pequeños para la edad gestacional), muerte fetal (mortinatos) y malformaciones congénitas. Esta revisión incorporó estudios de cohorte y caso-control, evaluando cuidadosamente la exposición (uso de móviles, proximidad a antenas, exposiciones laborales, etc.) y controlando factores de confusión para dilucidar si existe un incremento de riesgo en estos indicadores reproductivos. En paralelo, el segundo protocolo se enfoca en la evidencia experimental (toxicología reproductiva) (Pacchierotti et al., 2021), cubriendo

estudios en sistemas biológicos no humanos. Específicamente, se diseñó para incluir experimentos *in vivo* en mamíferos de laboratorio que hubieran evaluado el impacto de la exposición a RF sobre el sistema reproductor masculino (p. ej., daño testicular, conteo espermático, fertilidad en animales), así como los estudios *in vivo* que analizaran los efectos de la exposición durante la gestación en animales hembras (por ejemplo, sobre la tasa de reabsorciones fetales, viabilidad de las crías, peso al nacer, desarrollo posnatal o malformaciones en la descendencia). Adicionalmente, este protocolo incluyó la evidencia proveniente de experimentos *in vitro* con células reproductivas humanas, en particular estudios que expusieran espermatozoides humanos a RF bajo condiciones controladas para evaluar daño oxidativo, viabilidad o capacidad fecundante. Al organizar la revisión, los autores segmentarán la evidencia en *tres líneas*: (1) efectos de RF en la función reproductiva masculina de animales de laboratorio, (2) efectos en espermatozoides humanos *in vitro*, y (3) efectos en resultados de embarazo y desarrollo en animales expuestos durante la gestación. Esta estrategia integral permitiría combinar datos de múltiples modelos experimentales para juzgar de forma *sistemática* si las RF pueden afectar la fertilidad o el desarrollo, algo sugerido por estudios previos, pero aún no aclarado debido a enfoques heterogéneos y resultados dispares.

- **Cognición (función cognitiva y rendimiento, en estudios experimentales y observacionales):** Otra pareja de protocolos para la realización de revisiones se dedicó a los posibles efectos cognitivos de las RF. El primer protocolo cubrió los estudios experimentales en humanos (Pophof et al., 2021) que analizaran el impacto de exposiciones agudas a RF en el rendimiento cognitivo. Estos estudios típicamente exponen voluntarios a señales de RF de corta duración (por ejemplo, la emisión de un teléfono móvil durante 30–60 minutos bajo condiciones controladas) y evalúan, mediante pruebas neuropsicológicas estandarizadas, si dicha exposición afecta funciones cognitivas inmediatas tales como la atención, la memoria, el tiempo de reacción, las funciones ejecutivas o el desempeño en tareas visuales/auditivas. La revisión recogería ensayos aleatorizados y, cuando fuera posible, combinaría cuantitativamente los resultados mediante metaanálisis para determinar si existen cambios consistentes en el rendimiento cognitivo bajo exposición a RF versus no exposición. El segundo protocolo abordó la cuestión de los efectos cognitivos a largo plazo mediante la revisión de estudios observacionales en humanos (Benke et al., 2022). Dado que algunas alteraciones cognitivas podrían manifestarse tras *meses o años* de exposición (y no ser detectables en pruebas agudas de laboratorio), esta revisión se centró en investigaciones epidemiológicas que compararan grupos con distinta intensidad o duración de exposición a RF y evaluaran medidas de función cognitiva (global o en dominios específicos) a lo largo del tiempo. Se incluirían estudios longitudinales (cohortes con seguimiento mínimo de 6 meses, idealmente con evaluaciones neuropsicológicas repetidas) y estudios caso-control que midieran desempeño cognitivo o incidencia de deterioro cognitivo leve, excluyendo explícitamente aquellos déficits atribuibles a enfermedades neurodegenerativas (demencias) o trastornos del neurodesarrollo. Los dominios cognitivos de interés abarcaron *atención/concentración, memoria, velocidad psicomotora, funciones ejecutivas, capacidad visoespacial, etc.*, siguiendo las definiciones neuropsicológicas estándar. Con especial atención, se exploró si la exposición en niños y jóvenes (cuyos cerebros están en desarrollo y que son grandes usuarios de tecnología inalámbrica) impacta parámetros cognitivos, dado que este aspecto ha sido destacado recientemente como importante. La revisión buscó también evidencias de relación dosis-respuesta –es decir, si mayores niveles o duraciones de

exposición conllevar mayor magnitud de efecto en la cognición–, para lo cual los estudios que lo permitieran serían analizados en conjunto cuantitativamente. En suma, estas dos revisiones complementarias (experimental y observacional) pretendían clarificar si las RF tienen efectos *mensurables* sobre las capacidades cognitivas humanas, inmediata o crónicamente.

- **Estrés oxidativo (evidencia *in vivo* e *in vitro*):** Finalmente, este último de los protocolos abordó el posible mecanismo de estrés oxidativo inducido por RF (Henschenmacher et al., 2022), tema identificado como prioritario dada su potencial papel transversal en daños celulares. La hipótesis de partida era que la radiación de RF podría generar un desequilibrio oxidativo –por aumento de especies reactivas de oxígeno o disminución de antioxidantes– en células y tejidos, contribuyendo así a diversas patologías. Para examinar rigurosamente esta posibilidad, el protocolo se diseñó para revisar estudios experimentales controlados, tanto *in vivo* (en animales) como *in vitro* (en cultivos celulares), que midieran biomarcadores válidos de estrés oxidativo tras la exposición a RF. Esto incluía, por ejemplo, estudios que midieran niveles de radicales libres, marcadores de daño oxidativo al ADN, lípidos o proteínas (como 8-oxo-dG, peroxidación lipídica, carbonilación proteica) o indicadores de capacidad antioxidante en modelos expuestos frente a controles no expuestos. Se incluirían experimentos con animales de laboratorio expuestos a RF dentro del rango 100 kHz–300 GHz bajo condiciones controladas, así como estudios con líneas celulares o tejidos aislados expuestos a RF *in vitro*, siempre que cuantificaran parámetros de estrés oxidativo de manera comparativa. Esta revisión pretendía proporcionar una síntesis rigurosa sobre si las RF pueden inducir respuestas de estrés oxidativo en sistemas biológicos, lo que sería relevante para entender mecanismos de daño subyacentes a otros efectos sanitarios.

Aunque se ha indicado, cabe volver a destacar que todos los protocolos comparten una misma metodología rigurosa: búsqueda sistemática amplia, uso de PRISMA, la posibilidad de metaanálisis, evaluación de sesgo con OHAT, uso de GRADE, uso de PRISMA-P para la realización y diseño de los protocolos y, también, su registro transparente en PROSPERO/OSF.

Relevancia y carácter innovador del proceso

El proceso emprendido por la OMS para evaluar los posibles efectos sanitarios de los CEM-RF es inigualable por su amplitud, rigor y transparencia metodológica. Hasta donde es conocido, nunca antes se había realizado una priorización y revisión sistemática tan extensa de *múltiples* desenlaces de salud para un agente ambiental en particular. Si bien existen precedentes de guías ambientales (por ejemplo, las guías europeas de ruido ambiental) que identificaron efectos clave, estos ejercicios previos no siguieron un procedimiento sistemático y formal de priorización como el implementado por la OMS en el caso de RF. La iniciativa actual abarca de manera integral y coordinada once revisiones que cubren los principales ámbitos de posible impacto (desde cáncer hasta mecanismos celulares), lo que la convierte en la evaluación más exhaustiva realizada en el campo de las radiaciones no ionizantes.

Además de su alcance, como se ha indicado, destaca el rigor metodológico: todos los protocolos siguieron estándares internacionales reconocidos (WHO Handbook, OHAT, GRADE, PRISMA) y cuyos protocolos (también mediante PRISMA-P) fueron publicados en una revista científica con *revisión por pares* antes de llevar a cabo las revisiones definitivas, algo poco habitual pero que garantiza la transparencia y la posibilidad de comentarios externos sobre la metodología. La OMS aseguró, mediante convocatorias abiertas y un

cuidadoso proceso de selección, que cada equipo revisor tuviera la experiencia y competencias necesarias tanto en evaluaciones sistemáticas como en la materia específica del desenlace analizado. Igualmente, la gestión de posibles conflictos de interés se manejó estrictamente, excluyendo o declarando las potenciales vinculaciones de las personas autoras (muchas de ellas son expertas independientes vinculadas a universidades u organismos públicos de salud). Esta combinación de apertura, escrutinio externo y cumplimiento de buenas prácticas aporta gran solidez y credibilidad al proceso.

El proyecto también es notable por la diversidad y la pericia de los equipos internacionales involucrados. En total, participaron cerca de 90 científicos y científicas de múltiples disciplinas (epidemiología, medicina, biofísica, toxicología, salud pública, etc.) provenientes de instituciones en más de una docena de países de todos los continentes. Esta colaboración multinacional –incluyendo miembros de centros colaboradores de la OMS, agencias nacionales de radioprotección, universidades punteras y centros de investigación especializados– asegura una perspectiva global y multidisciplinaria en la evaluación. Los autores de los protocolos cuentan con una amplia trayectoria en sus respectivos campos, incluyendo expertos que han contribuido a comités científicos internacionales sobre CEM (p. ej., ICNIRP, SCENIHR) y metodólogos en revisiones Cochrane, lo que refleja un nivel elevado de experiencia técnica volcada en el proceso. La red colaborativa establecida por la OMS para este fin –un verdadero esfuerzo interinstitucional e internacional– no tiene precedentes en el ámbito de la evaluación de riesgos de campos electromagnéticos.

En conjunto, este proceso sistemático y transparente de la OMS ha permitido proporcionar una base científica sólida para futuras evaluaciones de riesgo y recomendaciones sanitarias relativas a la exposición a CEM-RF. Al enfocar los esfuerzos en los efectos más críticos identificados por consenso experto y al aplicar metodologías robustas de síntesis de evidencia, la iniciativa responde directamente a la necesidad de claridad ante la incertidumbre científica y la preocupación pública. Los resultados de estas revisiones sistemáticas permitirán a la OMS y a la comunidad internacional distinguir con mayor certeza cuáles efectos de las RF están respaldados por evidencia consistente y cuáles no, informando la actualización de las guías de exposición con el máximo rigor. Por su escala, rigor y apertura, este proceso establece un nuevo estándar para la evaluación de riesgos en salud ambiental a nivel mundial, demostrando que es factible abordar de forma *inclusiva y transparente* las cuestiones científicas complejas relativas a exposiciones omnipresentes. La experiencia obtenida servirá de modelo para futuras evaluaciones de otros agentes ambientales, al mismo tiempo que brinda a gobiernos, profesionales de la salud y al público una visión confiable y equilibrada de los posibles efectos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia basada en la mejor evidencia disponible.

Nota final previa sobre metodología CCARS

Los datos y afirmaciones presentados en el presente texto se basan exclusivamente en los documentos citados, incluyendo todos los artículos publicados en *Environment International* que detallan la encuesta de priorización de 2018, así como los protocolos sistemáticos desarrollados para la OMS, y las consiguientes revisiones sistemáticas. Todas las referencias corresponden a documentos oficiales o publicaciones revisadas por pares vinculadas al proceso de evaluación de la OMS.

Tabla 1. Artículos publicados por área temática con título y referencia bibliográfica indicando el número de estudios incluidos en cada caso y si incluyen revisión sistemática y metaanálisis. El número total de trabajos incluidos en todas las revisiones fue de 634.

	Nº	RS	MA	Título del trabajo	Referencia
Cáncer	147	✓	✓	The effect of exposure to radiofrequency fields on cancer risk in the general and working population: A systematic review of human observational studies – Part I: Most researched outcomes	Karipidis et al., 2024
		✓	✓	... – Part II: Less researched outcomes	Karipidis et al., 2025
	52	✓	✗	Effects of radiofrequency electromagnetic field exposure on cancer in laboratory animal studies, a systematic review	Mevissen et al., 2025
Síntomas / EHS	41	✓	✓	The effects of radiofrequency electromagnetic fields exposure on human self-reported symptoms: A systematic review of human experimental studies	Bosch-Capblanch et al., 2024
	13	✓	✓	The effects of radiofrequency electromagnetic fields exposure on tinnitus, migraine and non-specific symptoms in the general and working population: A systematic review and meta-analysis on human observational studies	Röösli et al., 2024
Reproducción	127	✓	✓	Effects of radiofrequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure on male fertility: A systematic review of experimental studies on non-human mammals and human sperm in vitro	Cordelli et al., 2024
	88	✓	✓	Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field (RF-EMF) exposure on pregnancy and birth outcomes: A systematic review of experimental studies on non-human mammals	Cordelli et al., 2023
	20	✓	✓	The effects of radiofrequency exposure on adverse female reproductive outcomes: A systematic review of human observational studies with dose–response meta-analysis	Johnson et al., 2024
	9	✓	✓	The effects of radiofrequency exposure on male fertility: A systematic review of human observational studies with dose–response meta-analysis	Kenny et al., 2024
	5	✓	✓	The effects of radiofrequency exposure on cognition: A systematic review and meta-analysis of human observational studies	Benke et al., 2024
Funciones cognitivas	76	✓	✓	The effect of exposure to radiofrequency electromagnetic fields on cognitive performance in human experimental studies: Systematic review and meta-analyses	Pophof et al., 2024
	56	✓	✓	The effects of radiofrequency electromagnetic field exposure on biomarkers of oxidative stress in vivo and in	Meyer et al., 2024

Nº	RS	MA	Título del trabajo	Referencia
			vitro: A systematic review of experimental studies	

En la elaboración de este informe se ha utilizado ChatGPT 5 como herramienta de apoyo para organizar, revisar y sintetizar contenidos únicamente a partir de los PDFs proporcionados, sin incorporar fuentes externas ni generar datos nuevos, y manteniendo la trazabilidad mediante referencias a los documentos originales; todas las salidas han sido revisadas y validadas por el equipo científico del CCARS, en un uso transparente y éticamente compatible con las buenas prácticas de investigación (asistencia técnica en redacción/estructura y verificación de citas, sin sustituir el juicio experto ni atribuir autoría académica). Esto garantiza la fidelidad y el rigor científico del resumen ejecutivo aquí presentado. Además, la metodología de este informe ha seguido un procedimiento reproducible y trazable: lectura crítica integral de cada PDF; extracción estructurada de elementos clave (PECO, criterios de elegibilidad, estrategia de búsqueda, RoB/OHAT, tipo de síntesis y modelos/medidas: RR/OR/IC95 %, I^2/τ^2 , análisis de sensibilidad y, cuando procede, dosis–respuesta); juicio de certeza OHAT-GRADE por desenlace; verificación cruzada por dos revisores; y control final de coherencia asegurando que todas las cifras y afirmaciones remiten a sus correspondientes fuentes.

El objetivo de este informe no ha sido el de valorar o analizar los resultados y conclusiones alcanzadas en las diferentes revisiones sino el de transmitir de forma ordenada, agrupada y accesible a un público técnico, pero sin la exigencia de tener conocimientos científicos avanzados, toda esta nueva evidencia.

Bibliografía

- Baan, R., Grosse, Y., Lauby-Secretan, B., El Ghissassi, F., Bouvard, V., Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., Islami, F., Galichet, L., Straif, K., 2011. Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *The Lancet Oncology* 12, 624–626. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(11\)70147-4](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(11)70147-4)
- Benke, G., Abramson, M.J., Zeleke, B.M., Kaufman, J., Karipidis, K., Kelsall, H., McDonald, S., Brzozek, C., Feychting, M., Brennan, S., 2022. The effect of long-term radiofrequency exposure on cognition in human observational studies: A protocol for a systematic review. *Environment International* 159, 106972. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106972>
- Bosch-Capblanch, X., Esu, E., Dongus, S., Oringanje, C.M., Jalilian, H., Eyers, J., Oftedal, G., Meremikwu, M., Röösli, M., 2022. The effects of radiofrequency electromagnetic fields exposure on human self-reported symptoms: A protocol for a systematic review of human experimental studies. *Environment International* 158, 106953. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106953>
- European Commission, 2015. Opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). Publications Office, LU.
- Guyatt, G.H., Oxman, A.D., Vist, G.E., Kunz, R., Falck-Ytter, Y., Alonso-Coello, P., Schünemann, H.J., 2008. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ* 336, 924–926. <https://doi.org/10.1136/bmj.39489.470347.AD>
- Henschenmacher, B., Bitsch, A., de las Heras Gala, T., Forman, H.J., Fragoulis, A., Ghezzi, P., Kellner, R., Koch, W., Kuhne, J., Sachno, D., Schmid, G., Tsaïoun, K., Verbeek, J.,

- Wright, R., 2022. The effect of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF) on biomarkers of oxidative stress *in vivo* and *in vitro*: A protocol for a systematic review. *Environment International* 158, 106932. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106932>
- International Agency for Research on Cancer (IARC), 2011. IARC Monographs-Classifications.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 2025. Gaps in Knowledge Relevant to the “ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (100 kHz TO 300 GHz).” *Health Phys* 128, 190–202. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001944>
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 2020. Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Physics* 118, 483–524. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001210>
- Jalilian, H., Eeftens, M., Ziaei, M., Rösli, M., 2019. Public exposure to radiofrequency electromagnetic fields in everyday microenvironments: An updated systematic review for Europe. *Environ Res* 176, 108517. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.05.048>
- Kenny, R.P.W., Millar, E.B., Adesanya, A., Richmond, C., Beyer, F., Calderon, C., Rankin, J., Toledano, M., Feychting, M., Pearce, M.S., Craig, D., Pearson, F., 2022. The effects of radiofrequency exposure on male fertility and adverse reproductive outcomes: A protocol for two systematic reviews of human observational studies with meta-analysis. *Environment International* 158, 106968. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106968>
- Lagorio, S., Blettner, M., Baaken, D., Feychting, M., Karipidis, K., Loney, T., Orsini, N., Rösli, M., Paulo, M.S., Elwood, M., 2021. The effect of exposure to radiofrequency fields on cancer risk in the general and working population: A protocol for a systematic review of human observational studies. *Environment International* 157, 106828. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106828>
- Mevissen, M., Ward, J.M., Kopp-Schneider, A., McNamee, J.P., Wood, A.W., Rivero, T.M., Thayer, K., Straif, K., 2022. Effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF EMF) on cancer in laboratory animal studies: A protocol for a systematic review. *Environment International* 161, 107106. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107106>
- Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L.A., 2015. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Syst Rev* 4, 1. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1>
- Morgan, R.L., Whaley, P., Thayer, K.A., Schünemann, H.J., 2018. Identifying the PECO: A framework for formulating good questions to explore the association of environmental and other exposures with health outcomes. *Environment International* 121, 1027–1031. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.07.015>
- OHAT, 2015. Risk of Bias Rating Tool for Human and Animal Studies.
- Orsini, N., Larsson, S.C., Salanti, G., 2022. Dose–Response Meta-Analysis, in: *Systematic Reviews in Health Research*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 258–269. <https://doi.org/10.1002/9781119099369.ch14>

- Pacchierotti, F., Ardoino, L., Benassi, B., Consales, C., Cordelli, E., Eleuteri, P., Marino, C., Sciortino, M., Brinkworth, M.H., Chen, G., McNamee, J.P., Wood, A.W., Hooijmans, C.R., de Vries, R.B.M., 2021. Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field (RF-EMF) exposure on male fertility and pregnancy and birth outcomes: Protocols for a systematic review of experimental studies in non-human mammals and in human sperm exposed *in vitro*. *Environment International* 157, 106806. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106806>
- Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J.M., Akl, E.A., Brennan, S.E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J.M., Hróbjartsson, A., Lalu, M.M., Li, T., Loder, E.W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L.A., Stewart, L.A., Thomas, J., Tricco, A.C., Welch, V.A., Whiting, P., Moher, D., 2021. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pophof, B., Burns, J., Danker-Hopfe, H., Dorn, H., Egblomassé-Roidl, C., Eggert, T., Fuks, K., Henschenmacher, B., Kuhne, J., Sauter, C., Schmid, G., 2021. The effect of exposure to radiofrequency electromagnetic fields on cognitive performance in human experimental studies: A protocol for a systematic review. *Environment International* 157, 106783. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106783>
- Ramirez-Vazquez, R., Escobar, I., Arribas, E., Vandenbosch, G.A.E., 2024a. Systematic Review of Exposure Studies to Radiofrequency Electromagnetic Fields: Spot Measurements and Mixed Methodologies. *Applied Sciences* 14, 11161. <https://doi.org/10.3390/app142311161>
- Ramirez-Vazquez, R., Escobar, I., Vandenbosch, G.A.E., Arribas, E., 2024b. Personal exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A comparative analysis of international, national, and regional guidelines. *Environ Res* 246, 118124. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118124>
- Ramirez-Vazquez, R., Escobar, I., Vandenbosch, G.A.E., Vargas, F., Caceres-Monllor, D.A., Arribas, E., 2023. Measurement studies of personal exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A systematic review. *Environ Res* 218, 114979. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114979>
- Röösli, M., Dongus, S., Jalilian, H., Feychting, M., Eysers, J., Esu, E., Oringanje, C.M., Meremikwu, M., Bosch-Capblanch, X., 2021. The effects of radiofrequency electromagnetic fields exposure on tinnitus, migraine and non-specific symptoms in the general and working population: A protocol for a systematic review on human observational studies. *Environment International* 157, 106852. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106852>
- Verbeek, J., Oftedal, G., Feychting, M., van Rongen, E., Rosaria Scarfi, M., Mann, S., Wong, R., van Deventer, E., 2021. Prioritizing health outcomes when assessing the effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A survey among experts. *Environment International* 146, 106300. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106300>
- Whaley, P., Aiassa, E., Beausoleil, C., Beronius, A., Bilotta, G., Boobis, A., de Vries, R., Hanberg, A., Hoffmann, S., Hunt, N., Kwiatkowski, C.F., Lam, J., Lipworth, S., Martin, O., Randall, N., Rhomberg, L., Rooney, A.A., Schünemann, H.J., Wikoff, D., Wolffe, T., Halsall, C., 2020. Recommendations for the conduct of systematic reviews in toxicology and environmental health research (COSTER). *Environment International* 143, 105926. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105926>

- World Health Organization, 2014. WHO handbook for guideline development, 2nd ed. ed. World Health Organization, Geneva.
- World Health Organization, 2010. WHO research agenda for radiofrequency fields [WWW Document]. URL <https://www.who.int/publications/i/item/9789241599948> (accessed 11.12.25).
- World Health Organization, 2007. Extremely Low Frequency Fields [WWW Document]. URL <https://www.who.int/publications/i/item/9789241572385> (accessed 11.12.25).
- World Health Organization, 2006. Static Fields [WWW Document]. URL <https://www.who.int/publications/i/item/9241572329> (accessed 11.12.25).
- World Health Organization, 1993. Electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz): Environmental Health Criteria Monograph No.137 [WWW Document]. URL <https://www.who.int/publications/i/item/9241571373> (accessed 11.12.25).