

Universidad de Granada

Facultad de Medicina

Departamento de Radiología y Medicina Física



**EXPOSICIÓN A CAMPOS
ELECTROMÁGNÉTICOS DE RADIACIÓN
NO IONIZANTE EN LA COHORTE
INMA-GRANADA**

I. IRENE CALVENTE ADAMUZ

TESIS DOCTORAL

Granada, 2015

Editorial: Universidad de Granada. Tesis Doctorales

Autora: I. Irene Calvente Adamuz

ISBN: 978-84-9125-089-0

URI:<http://hdl.handle.net/10481/40110>



ugr

Universidad
de Granada

El doctorando **I. Irene Calvente Adamuz** y los directores de la tesis **D^a María Isabel Núñez Torres, D^a Mariana Fátima Fernández Cabrera y D. Juan Villalba Moreno**. Garantizamos, al firmar esta tesis doctoral, que el trabajo ha sido realizado por el doctorando bajo la dirección de los directores de la tesis y hasta donde nuestro conocimiento alcanza, en la realización del trabajo, se han respetado los derechos de otros autores a ser citados, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

Granada, 12 de diciembre de 2014

Director/es de la Tesis

Doctorando

Fdo.: D.ª María Isabel Núñez Torres

Fdo.: D.ª I. Irene Calvente Adamuz

Fdo.: D.ª Mariana Fátima Fernández Cabrera

Fdo.: D. Juan Villalba Moreno



UGR

Universidad
de Granada

Facultad de Medicina

Departamento de Radiología y Medicina Física

D. Nicolás Olea Serrano, Director del Departamento de Radiología y Medicina Física de la Universidad de Granada,

CERTIFICA: Que el presente trabajo de Tesis Doctoral ha sido realizado por Dña. **I.IRENE CALVENTE ADAMUZ** en el Departamento de Radiología y Medicina Física de la Universidad de Granada. Y para que conste y surta efectos donde proceda, firmo el presente certificado.

Granada, 15 Diciembre 2014

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'N. Olea'.

Fdo. Prof. D. Nicolás Olea Serrano

Este trabajo de Tesis Doctoral ha sido realizado gracias al proyecto de investigación titulado **“Exposición infantil a Bisfenol A-constituyente mayoritario del plástico policarbonato y las resinas epoxi- y su relación con obesidad, desarrollo y salud reproductiva”** (Referencia PI-0675-2010), financiado por la Consejería de Salud de la Junta de Andalucía, al “Centro de Investigación Biomédica en Red de Epidemiología y Salud Pública” CIBERESP (Referencia CB/06/02/0049) del Instituto de Salud Carlos III y al Grupo de Investigación CTS-206: Oncología Básica y Clínica.

Índice

Contenido

1. Introducción	3
1.1. Campos electromagnéticos	4
1.1.1. Espectro de radiación electromagnética	4
1.1.2. Interacción del campo electromagnético: parámetros de distancia y tamaño	6
1.2. Fuentes de campo	8
1.2.1. Campos naturales	8
1.2.2. Campos artificiales	9
1.3. El medio biológico	10
1.4. Evaluación de la exposición	10
1.4.1. Criterios en los Niveles-Efectos de CEM-RNI	11
1.4.2. Vulnerabilidad de los niños	13
1.5. Efectos potenciales en salud	15
2. Hipótesis y Objetivos	19
2.1. Objetivos General y Específicos	21
3. Material y Métodos	23
3.1. Diseño del estudio	25
3.2. Población de estudio	25
3.2.1. Área geográfica del Proyecto INMA-Granada	28
3.3. Protocolo de seguimiento a los 9-11 años	28
3.3.1. Exploración física: Antropometría	29
3.3.2. Evaluación neuropsicológica y de comportamiento	30
3.3.3. Evaluación de la exposición a CEM-RNI	34
3.3.4. Cuestionarios	37
3.4. Análisis estadístico	39
4. Resultados	43
4.1. Caracterización de la exposición en el interior de las viviendas (ELF-LF)	45
4.2. Caracterización de la exposición en el exterior de las viviendas (RF)	57
4.3. Relación de la exposición a CEM-RNI y efectos adversos en salud infantil	91
4.3.1. Asociación entre exposición a RF y desarrollo neuroconductual en niños de la cohorte INMA-Granada	93
4.3.2. Asociación entre exposición a RNI y leucemia infantil	129
5. Discusión	141
5.1. CEM-RNI	143

5.1.1. Interior de las viviendas (ELF-LF).....	144
5.1.2. Exterior de las viviendas (RF).....	145
5.2. Relación de la exposición a CEM-RNI y efectos adversos en la salud infantil.....	146
5.2.1. Efectos en funciones cognitivas y de comportamiento.....	146
5.2.2. Leucemia infantil: Una revisión de la literatura científica.....	152
6. Conclusiones.....	157
7. Bibliografía.....	161
8. Anexos.....	173
8.1. Cuestionarios.....	187
8.2. Equipo de medida.....	247
8.3. Mapas exteriores de radiación no ionizante.....	253

Lista de abreviaturas

μT : microTeslas

B: campo magnético, inducción magnética ó densidad de flujo magnético

CEM: campo electromagnético

CEM-RNI: Campos electromagnéticos de radiación no ionizante

E: campo eléctrico

ELF-LF: Frecuencias extremadamente bajas y frecuencias bajas. Generalmente se nota ELF para referirse a frecuencias bajas, pero en este trabajo se seguirá la notación de ELF-LF.

H: intensidad de campo magnético

Hz: herzios

IARC: Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (International Agency for Research on Cancer)

ICNIRP: Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes

REM: radiación electromagnética

REM: Radiación electromagnética

RF: Radiofrecuencia

RI: radiación ionizante

RNI: radiación no ionizante

S: densidad de potencia

SAR: Specific Absorption Rate; índice de absorción específica de energía

TV: televisión

V/m: voltios partido metro

VLf: Frecuencia muy baja comprende entre 3kHz y 30kHz)

W/m²: vatios partido metro cuadrado

WHO: World Health Organization, Organización Mundial de la Salud: OMS

1. Introducción

1. Introducción

Todos los organismos de la Tierra se encuentran sometidos a campos electromagnéticos de origen natural. Además, desde comienzos del siglo XX, el ser humano tiene la capacidad de crear campos electromagnéticos artificialmente cuya intensidad se ha visto incrementada con el progreso tecnológico. Este aumento artificial de campos abarca todo el rango del espectro no ionizante desde las bajas frecuencias, como la industrial y doméstica de 50/60 hercios, pasando por las frecuencias de órdenes superiores generadas por las emisoras de radio y la televisión, hasta alcanzar frecuencias de miles de millones de hercios, en el rango de las microondas, y dentro de las características del radar en sus distintas bandas y de la telefonía móvil (Grande, 2005). La posibilidad de crear campos eléctricos con campos magnéticos variables en el tiempo, sin necesidad de la carga, dio lugar a utilizar la energía en cualquier parte, sin necesidad de estar próximos a la fuente, lo que constituyó uno de los resultados científicos que más han contribuido a alcanzar el nivel de bienestar de los pueblos desarrollados (Grande, 2005).

La vida puede existir en un medio electromagnético adecuado que gobierne los ritmos de la radiación manteniendo los márgenes requeridos de temperatura (Grande, 2005). Sin embargo, aunque los seres vivos estamos adaptados a las condiciones físicas concretas de la Tierra, cualquier variación podría tener consecuencias negativas. La adaptación de los seres vivos dependerá del tipo de agresión que reciben y de su capacidad de respuesta intrínseca a ese tipo de agresión (Gil-Loyzaga, 2001).

La radiación es el proceso de propagación de energía en forma de onda o partícula a través del espacio u otro medio. El término radiación electromagnética (REM) se refiere específicamente a la onda como modo de transporte en el que la energía es llevada por un campo eléctrico (E) y un campo magnético (B)¹ perpendicular al plano y a la dirección de transmisión de la energía. La onda viaja a la velocidad de la luz en el espacio libre y en el aire, pero es más lenta en un medio dieléctrico, como por ejemplo el cuerpo humano (IARC, 2013).

LA REM está compuesta por fotones de distintas energías. Planck descubrió a principios del siglo XX, que la energía (E) de un fotón depende de su frecuencia (f) estableciéndose una relación de proporcionalidad entre ambas magnitudes, según la ecuación, $E = hf$, siendo h la constante de Planck (Eisberg, 1983).

¹ B se designa como densidad de flujo magnético, inducción magnética o campo magnético y se utiliza con más frecuencia que la intensidad de campo magnético (H).

1.1. Campos electromagnéticos

Un campo electromagnético (CEM) está constituido por un campo eléctrico y un campo magnético, cuyas intensidades se describen en unidades de voltios por metro (V/m) y Teslas (T) ó Gauss [$1\text{T}=10^4\text{G}$], respectivamente. Los CEM se caracterizan por su longitud de onda, su frecuencia y su amplitud (lo que determina su intensidad o potencia). El número de ciclos por segundo es la frecuencia, es decir, la velocidad con la que el campo cambia de dirección o intensidad y se cuantifica con la unidad Hertz (Hz). A altas frecuencias (HF) el campo eléctrico y el magnético están unidos (Aguilar, 2001). Las ecuaciones fundamentales del electromagnetismo “*ecuaciones de Maxwell*” implican que la variación en el tiempo de E genera la variación en el tiempo de B y viceversa. Esta variación de los campos es así descrita, como interdependiente, de modo que E y B juntos forman una onda de propagación electromagnética, de manera que cuando un cierto material apantalla o elimina un campo, el otro campo también desaparece (IARC, 2013; WHO, 2006).

A frecuencias bajas (ELF-LF) los campos eléctricos y magnéticos no se acoplan o interrelacionan del mismo modo a como lo hacen a frecuencias más altas. Por tanto, de forma rigurosa se habla de “campo eléctrico o magnético”, en lugar de “campo electromagnético”. El campo eléctrico y el magnético pueden estar presentes de manera independiente, logrando en determinadas zonas del espacio existir como campo eléctrico y no magnético o al revés, estudiándose sus efectos por separado (IARC, 2013; WHO, 2006).

Cuando los campos eléctricos y magnéticos no varían con el tiempo reciben el nombre de estáticos (Aguilar, 2001).

Las fuentes electromagnéticas producen radiación, emiten energía. La energía radiada (S) existe independientemente de la fuente que la originó y viaja alejándose de ésta. Además, no desaparece aunque la fuente esté desconectada. Cuando se habla de campos estáticos, la energía deja de existir cuando la fuente que los genera lo hace; no llevando asociado cuanto de energía o fotón, y por ello no se considera radiación (Aguilar, 2001). Las radiaciones se caracterizan por su frecuencia o longitud de onda, conformando el espectro electromagnético.

1.1.1. Espectro de radiación electromagnética

El espectro electromagnético describe el rango de todas las frecuencias posibles de la REM. La forma en que las ondas electromagnéticas afectan a los sistemas biológicos viene determinada por la intensidad de campo y la cantidad de energía de cada fotón; de modo que atendiendo a los

efectos biológicos, la REM se puede clasificar en radiación ionizante (RI) y no ionizante (RNI) (<http://www.who.int>)(Figura 1).

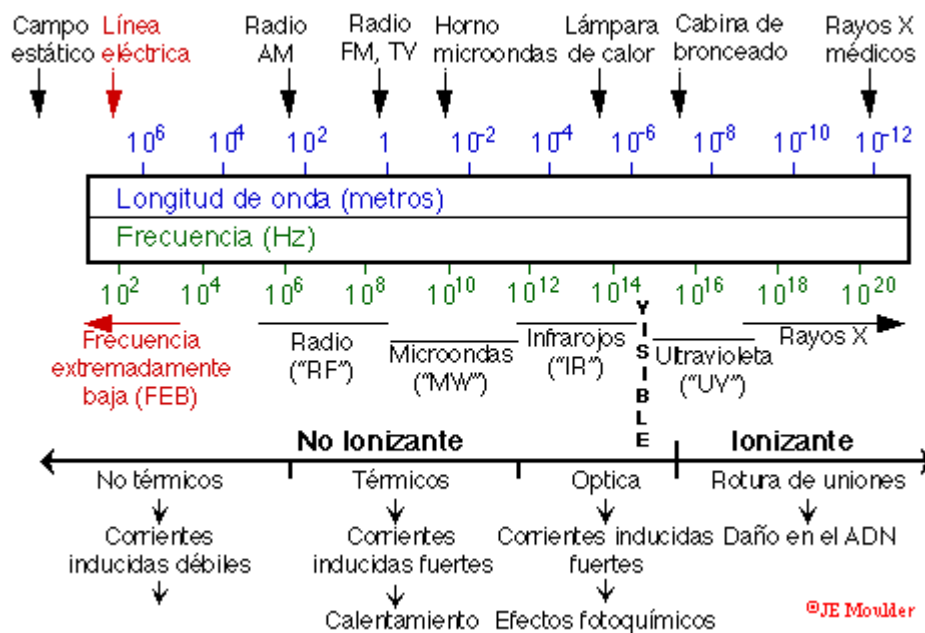


Figura 1. Espectro de radiación electromagnética; fuente: 1999 JE Moulder.

a. **Zona ionizante**, caracterizada por frecuencias muy altas, como la radiación ultravioleta (UV) lejana, los rayos X y los rayos gamma. Los fotones tienen energía suficiente para romper enlaces químicos (ionización), pudiendo causar un daño directo sobre los diferentes componentes celulares. La REM llega desde el espacio exterior en forma de rayos cósmicos, pero también está en el aire en forma de emisiones de radón radiactivo y su progenie, isótopos radiactivos que se originan de forma natural, pudiendo afectar a todos los seres vivos.

b. **Zona no ionizante**, que comprende frecuencias más bajas, características del UV cercano, la luz visible, el infrarrojo y las radioondas. La energía del cuanto electromagnético es menor que aquella de la zona ionizante y los efectos con los que se relacionan son la excitación electrónica, el calentamiento por corrientes inducidas o la alteración de las reacciones químicas normales.

Por otra parte, el ancho de banda que comprende la RNI se puede desglosar según sus efectos más internos dentro del medio biológico como se detalla a continuación (Hildebrando&Torres, 2006; Aguilar, 2001):

b. 1. Región de radiación óptica, ultravioleta cercana, luz visible e infrarrojo. Se producen los denominados **efectos no térmicos**: cualquier efecto biológico se dice que es no térmico cuando la termorregulación hace que la temperatura no aumente. Se producen cuando la energía de la onda es insuficiente para elevar la temperatura por encima de las fluctuaciones de temperatura normales

del sistema biológico. Se catalogan aquí los fenómenos fotoquímicos, que se producen cuando las moléculas absorben la energía de la radiación en forma cuantizada. El valor o cuanto de energía debe corresponderse con la energía de enlace o de excitación de la molécula.

b. 2. Región térmica, microondas y ondas de radio de alta frecuencia. Tienen lugar **efectos térmicos**: generación de calor por corrientes inducidas y calentamiento. La generación de calor por la inducción de corrientes eléctricas en el medio aumenta con la frecuencia y es función de distintas variables como son el tamaño y forma del organismo expuesto, orientación del campo, además del tamaño y localización de la fuente.

b. 3. Región no térmica, ondas de radio de baja frecuencia, campos de frecuencia industrial y campos estáticos. Causan **efectos atérmicos**: se habla de efectos atérmicos si la termorregulación no interviene. Se produce cuando hay energía suficiente para causar un aumento de la temperatura corporal sin que se observen cambios en la temperatura debido al enfriamiento ambiental. Los efectos biológicos observados por este tipo de radiación son principalmente la inducción de corrientes eléctricas que pueden estimular las células nerviosas y musculares.

1.1.2. Interacción del campo electromagnético: parámetros de distancia y tamaño

El comportamiento del campo electromagnético de radiación no ionizante (CEM-RNI) al interactuar con el medio biológico va a depender por una parte de la relación que exista entre las dimensiones que caracterizan al sistema de estudio (L) y la longitud de onda (λ) correspondiente al CEM, lo que va a permitir establecer tres situaciones posibles (Aguilar, 2001),

- $\lambda \gg L$: Los campos E y B están débilmente acoplados y se consideran independientes. Es el caso de la REM de los rangos ELF y VLF.
- $\lambda \sim L$: Los campos E y B están fuertemente acoplados y no se pueden analizar de forma independiente. Por ejemplo, las REM producidas por la telefonía móvil, hornos microondas, radar, radiación infrarroja.
- $\lambda \ll L$: Los campos E y B también están fuertemente acoplados como en el caso anterior, pero en este caso nos referimos al infrarrojo cercano, luz visible, UV. Se utilizan las teorías de la óptica y la radiación para describir los procesos de interacción.

Por otra parte, cuando se compara λ con la distancia (r) que hay entre la fuente de radiación y el individuo expuesto, hablamos de campo cercano y lejano (Aguilar, 2001):

- $\lambda \ll r$: campo lejano, se aplica la teoría de los modelos de la óptica y la radiación.
- $\lambda \gg r$: campo cercano o próximo, se utiliza la aproximación casi estática y son campos desacoplados, E y B.

De una manera más específica, cuando la fuente emisora se encuentra dentro del rango de las microondas, como es el caso de la telefonía móvil, en la distinción entre zonas o regiones se pueden diferenciar tres áreas alrededor de una antena (1999/519/EC):

- **Zona de campo cercano reactivo o de inducción**, llamado también cuasi-estático: los campos dependen de forma cuasi-estacionaria de la distribución de cargas y corrientes en el sistema radiante. En valor medio temporal, el transporte de energía es nulo ($S=0$), pero los valores de campo son notables. Los campos varían con la distancia según $1/r^3$ y están desacoplados, por ello hay que medir el campo por separado.

$$r \leq 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$$

D: máxima dimensión lineal de la antena, λ : longitud de onda

$$0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq r \leq \frac{2D^2}{\lambda}$$

- **Zona de campo lejano de radiación o de Fraunhofer**: los campos de radiación son una onda esférica que transporta potencia media. El diagrama de radiación es independiente de la distancia. El campo eléctrico y magnético (H)² están relacionados por la impedancia intrínseca del vacío (Z), según la ecuación $E = H \cdot Z$, ($Z = 120 \pi \Omega$). En esta zona es suficiente con realizar una sola medición de E, H o S. S, E y H están relacionados según ($S = E \wedge H$)

$$r \geq \frac{2D^2}{\lambda}$$

$$r \gg D$$

$$r \gg \lambda$$

De una forma menos precisa, se puede establecer la relación de $r > 3\lambda$ para campo lejano y $r < 3\lambda$ para campo cercano, expresiones que no tienen en cuenta la dimensión de la fuente; situación utilizada por la OM/CET/23/2002. Simplificando, la relación de los campos eléctrico y magnético decrece con el inverso de la distancia según,

² H intensidad de campo magnético se mide en (Amperio/metro), se relaciona con B (inducción magnética) según $[B=\mu H]$; μ es la permeabilidad del medio; 1 micro tesla (μT) equivale a 0.8 A/m.

E (campo cercano)..... $1/r^3$,

B (campo cercano)..... $1/r^2$ y

B y E (campo lejano)..... $1/r$

1.2. Fuentes de campo

1.2.1. Campos naturales

Como se ha comentado al inicio de la introducción, nos encontramos expuestos a campos eléctricos y magnéticos de forma permanente, incluso antes de nacer, tanto a los llamados CEM-RNI naturales que están ligados a la Tierra como a aquellos que son de origen cósmico. El campo eléctrico creado por las cargas eléctricas presentes en la ionosfera está entre los 20 V/m, a 1400 m de altitud, y a los 120 V/m en la superficie terrestre. El campo magnético producido por corrientes eléctricas que circulan por el núcleo de la Tierra, según las regiones, está comprendido entre 30 y 70 μ T, considerándose que la Tierra posee una intensidad media de 50 μ T (España \approx 40 μ T) (Figura 2). Como estos campos son estáticos no inducen corrientes en los objetos inmóviles aunque sí en aquellos que están moviéndose o girando (IARC, 2013).

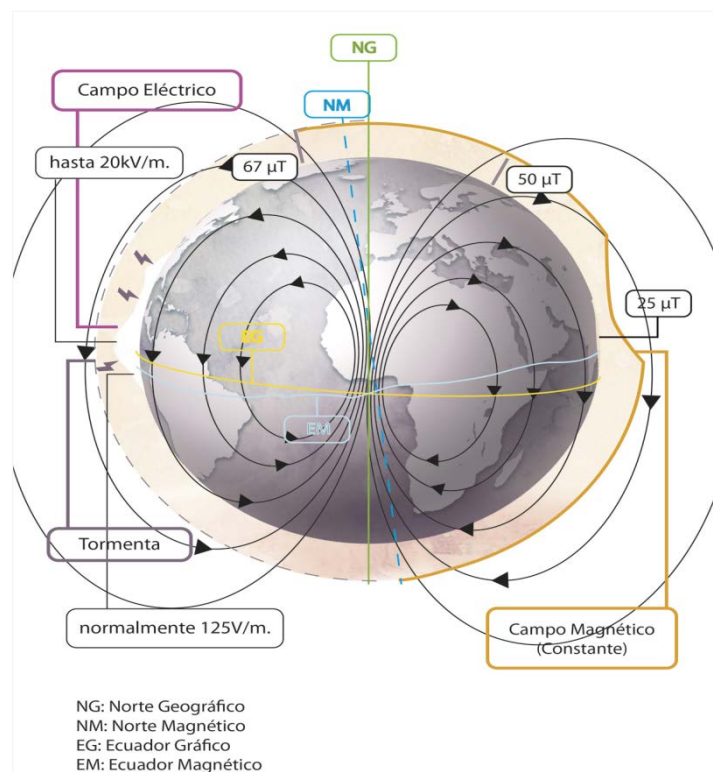


Figura 2. Campo natural, la Tierra

1.2.2. Campos artificiales

Unidos a los campos naturales se encuentran todos aquellos artificiales que resultan de la generación y transmisión de la potencia eléctrica, así como aquellos que se originan como consecuencia del funcionamiento de equipos eléctricos, electrónicos, de telecomunicaciones, de actividades industriales, dispositivos inalámbricos etc., que dan origen a la denominada contaminación electromagnética. Las tecnologías generadoras de campos artificiales es variada, algunas de las fuentes principales (Comité de Expertos, 2001 y 2003) son:

- **Líneas de distribución y transmisión:** encargadas de conducir la energía de los lugares de generación a los diversos centros de consumo. Se encuentran dentro de las catalogadas como generación de campos estáticos por lo que no son una fuente de radiación, aunque las distancias a las que se encuentran de la población deben estar reguladas. Los niveles de campo eléctricos e inducción magnética en viviendas situadas a muy pocos metros de líneas de alta y media tensión pueden alcanzar valores promedio de 1 kV/m y 3 μ T (microteslas), respectivamente. Dado que los niveles decaen con la distancia, en viviendas construidas a unas decenas de metros de las líneas, los valores registrados presentan niveles basales (menos de 30 V/m y de 0,1 mT).
- **Subestaciones:** encargadas de acondicionar la energía eléctrica a los niveles de tensión necesarios para la transmisión y el consumo. Los CEM-RNI más intensos son los generados por las líneas entrantes y salientes.
- **Electrodomésticos:** el hecho de ser tan diversos hacen su catalogación muy variada y no existe aún normativa para establecer mecanismos propios de protección. A pocos centímetros de estos aparatos es frecuente encontrar valores promedio de campo eléctrico e inducción magnética de 10 V/m y 3 mT, respectivamente.
- **Telefonía móvil:** está dentro del rango de las microondas, debido a que emplea bandas de frecuencia entre los 800 MHz a 1900 MHz, con transmisión directa. En este sistema se distinguen dos elementos básicos, la estación base y el teléfono móvil como principales fuentes de exposición a CEM-RNI. La exposición debida a las emisiones de las estaciones base afecta a toda la población y a todo el organismo, con valores inferiores a los generados por los móviles pero produciendo una exposición continua; mientras que la que se deriva del uso del teléfono móvil, no se asocia al organismo entero sino en particular a la cabeza. La intensidad máxima de campo a 2,2 cm de la antena del teléfono es alrededor de 200 W/m², aunque la exposición depende de las características del teléfono. La intensidad típica alrededor de las estaciones base es de 0,01 W/m² (WHO, 2002).

1.3. El medio biológico

El cuerpo humano, al igual que otros organismos vivos, presenta actividad eléctrica y magnética, es decir, tiene capacidad de generar intensidades de campo, inducciones de corriente o diferenciales de potencial. Además, los tejidos se caracterizan por diferentes propiedades, entre ellas, el valor de permitividad (ϵ), que es el parámetro que relaciona las interacciones del medio con el campo eléctrico y nos da información de su capacidad para almacenar energía electrostática. La conductividad (σ), que expresa las interacciones con el campo magnético y nos mide la habilidad del medio para conducir corriente eléctrica, y la permeabilidad (μ), que es la medida de la capacidad de un material comparado con el vacío, para servir como trayectoria para las líneas de fuerza magnética (Peyman, 2011; Foster, 2013).

Las propiedades eléctricas se dividen en activas, que son aquellas que describen la posibilidad de generar campos y potenciales eléctricos, y pasivas, que son aquellas que caracterizan la respuesta de las sustancias cuando son estimuladas por un CEM-RNI externo. Ambas propiedades juegan un papel substancial para dilucidar los posibles mecanismos de interacción de los CEM-RNI con los sistemas biológicos (Foster, 2013).

E y B tienen diferentes propiedades que son importantes al considerar los posibles efectos biológicos. Todos los materiales, incluyendo la ropa, apantallan fácilmente el campo eléctrico. Contrariamente, las propiedades de B son tales que pasan a través de casi todos los materiales, incluyendo el tejido vivo, estructuras de los edificios y la tierra (WHO, 2002).

La naturaleza de la materia es corpuscular y debido a ello, la primera interacción de los CEM con los sistemas biológicos ocurre a nivel microscópico, a través de fuerzas y acoples que el CEM genera sobre las partículas cargadas eléctricamente (iones y electrones) y sobre los dipolos o moléculas. Estas fuerzas se traducen en consecuencias electroquímicas, electrofisiológicas y dinámicas, tales como, los efectos térmicos, no térmicos y atérmicos, anteriormente expuestos.

1.4. Evaluación de la exposición

Los principales problemas a los que se enfrenta la investigación de los efectos en salud derivados de la exposición a CEM-RNI, es la evaluación y cuantificación de la exposición (ICNIRP, 2001; WHO, 2007). Además de la complejidad que supone la caracterización de diferentes fuentes, se unen otros factores tales como la naturaleza ubicua de los CEM-RNI en el medio ambiente que hace más difícil su evaluación, a diferencia de lo que ocurre con la exposición a otros agentes ambientales (WHO, 2007).

La falta de modelos de dosis-respuesta y la ignorancia de los mecanismos de interacción así como del periodo de inducción del efecto adverso, son también factores relevantes que dificultan la cuantificación de la evaluación del riesgo (WHO, 2007; ICNIRP, 2001).

A pesar de la dificultad para caracterizar la exposición se supone que existe la misma probabilidad de error al clasificar los sujetos dentro de la categoría de expuestos y no expuestos (Marcilio et al., 2009). Este hecho implicaría que el error de clasificación no diferencial no resultaría ser un riesgo falso para la salud. Al contrario, estos errores tenderían a subestimar una existencia real de riesgo (Marcilio et al., 2009).

Generalmente, para evaluar la exposición a ELF se realizan sondeos de exposición residencial siguiendo diferentes combinaciones de medidas directas e indirectas, que incluyen desde el sistema de código de cables, características y cálculos de la distancia a la fuente, exposímetros y dosímetros personales en periodos concretos, así como, evaluaciones de exposición ocupacional. Para conocer la exposición a radiofrecuencias (RF) se realizan medidas puntuales y medidas con dispositivos de exposición personal, que se expresan como densidad de potencia (S), medidas de dosimetría personal y uso del teléfono móvil expresadas como índice de absorción específica de energía (SAR) (Specific Absorption Rate). El SAR es el parámetro utilizado para evaluar la exposición individual o por unidad de masa del tejido, y cuyas unidades de medida se expresan en vatios por kilogramo (W/kg). Es una medida ampliamente aceptada para estudiar la relación entre exposición a RF y efectos térmicos adversos (Informe expertos, 2001).

1.4.1. Criterios en los Niveles-Efectos de CEM-RNI

Las posibles consecuencias sobre la salud derivadas de la exposición a CEM-RNI son objeto de interés creciente por parte del público y de las autoridades sanitarias. La preocupación social llevó a la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), comisionada por la Organización Mundial de la Salud (OMS), a elaborar unas directrices en 1998 (restricciones básicas y niveles de referencia) con el objetivo de limitar esta exposición tanto en trabajadores y como en el público en general, ante posibles efectos nocivos inmediatos de exposiciones agudas (ICNIRP, 1998). España adopta estas recomendaciones mediante el Real Decreto 1066/2001 y establece un límite de exposición a campo magnético de 100 μ T para la frecuencia de 50 Hz (Real Decreto 1066/2001). El objetivo, para los campos de frecuencias bajas, era fundamentalmente evitar disfunciones instantáneas y reversibles, del sistema nervioso y de otros sistemas afectados por exposiciones agudas a CEM-RNI. En el caso de frecuencias altas (RF), la normativa se diseñó para limitar la cantidad de energía absorbida por el organismo, evitando así, incrementos térmicos significativos (menores o iguales a 1 °C) en los tejidos (ICNIRP propuso sus

Niveles de Referencia aplicando factores de seguridad equivalentes al 10 % y al 2% de la dosis nociva) (Úbeda, 2005).

En junio de 2008, la Ponencia de Sanidad Ambiental de la Comisión de Salud Pública del Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud propuso 10 μ T como nivel máximo de exposición en aquellos lugares donde permanecieran menores de 15 años más de 4 horas, al menos un día a la semana (Grupo de trabajo de CEM, 2008).

Las recomendaciones de la ICNIRP inicialmente propuestas se basaban únicamente en los efectos evidenciados a corto plazo, por lo que desde 2009 este organismo ha publicado nuevas normativas (para 1 Hz y 100 Hz) teniendo en cuenta posibles efectos a largo plazo como por ejemplo carcinogénesis (ICNIRP, 2009). A pesar de que estos nuevos límites de exposición aún no se recogen en la legislación europea, varios países como Italia, Francia, y algunas comunidades autónomas españolas como Castilla-la-Mancha, Cataluña y Navarra han adoptado estándares más restrictivos que los establecidos en sus propias normativas, acogiéndose al principio de precaución.

Los niveles de exposición característicos en la población general quedan muy por debajo de los niveles de referencia establecidos por la ICNIRP. Sin embargo, existe evidencia epidemiológica que sugiere que la exposición crónica a niveles por debajo de los de referencia podría causar efectos adversos para la salud (Vijayalaxmi et al., 2014; BioInitiative Working Group, 2012; Fragopoulou et al., 2010). La certeza de un incremento del riesgo de leucemia tras la exposición a campos de ELF ($B > 0,3 \mu$ T), llevó a la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer de la OMS (IARC), a clasificarla dentro de la categoría 2B, “posible cancerígeno humano” (IARC, 2002). Recientemente (2011), la IARC ha clasificado también la RF dentro de la misma categoría de carcinógenos (categoría 2B), en base al incremento de riesgo de glioma (tipo de neoplasia cerebral) y neuroma acústico (tumor benigno que se desarrolla en el nervio auditivo), ambos asociados con el uso del teléfono móvil (IARC, 2011). Limitaciones metodológicas, factores de confusión y sesgos de selección hacen que los estudios hasta ahora realizados no sean concluyentes acerca de los efectos causales de la exposición a RF y los riesgos para la salud en niños y adolescentes (Feychting, 2011). Los resultados obtenidos en estudios realizados sobre voluntarios expuestos, especialmente a emisiones de terminales telefónicos y en condiciones controladas, no permiten determinar si las variaciones detectadas en la actividad cerebral pueden suponer un riesgo para su salud, o si la exposición puede influir en el comportamiento o en la capacidad cognitiva de los individuos, por ejemplo en las tareas de memoria (Úbeda, 2005; CCARS, 2010). Estudios de laboratorio muestran que el sistema nervioso de los seres humanos y de los animales es sensible a ELF y RF. Alteraciones en la función cerebral y de comportamiento ocurren a los niveles de frecuencia asociados a las nuevas tecnologías, incluyendo el teléfono móvil. La exposición humana a la radiación procedente de la telefonía móvil puede cambiar la actividad de la onda cerebral a niveles tan bajos como 0,1W/kg de SAR en comparación con los niveles que permite la ICNIRP de

2,0W/kg (en 10 g de tejido). La radiación del móvil puede afectar también a la memoria y al aprendizaje (Hardell et al., 2008).

Finalmente, es importante destacar que a pesar de que la mayoría de los efectos de exposición medioambiental a CEM-RNI son no térmicos (BioInitiative Working Group, 2012) estos se evalúan mediante el SAR. Por ello, coincidimos con otros autores al establecer que este parámetro no es una medida adecuada para predecir muchos efectos biológicos en los estudios epidemiológicos encaminados a determinar riesgos en salud (Fragopoulou et al., 2013, 2010).

1.4.2. Vulnerabilidad de los niños

Los hallazgos de estudios epidemiológicos han puesto en evidencia que el riesgo de efectos adversos debidos a exposiciones ambientales durante el embarazo, la infancia y en etapas posteriores de la vida no sólo depende de la dosis y del potencial tóxico del contaminante, sino también de que la exposición ocurra en periodos críticos del desarrollo (BioInitiative Working Group, 2012), lo que ha dado lugar al concepto de ventanas de susceptibilidad particular (Otto et al., 2007). Resultados de estos estudios muestran que los fetos y los niños son más susceptibles al efecto tóxico de contaminantes como por ejemplo partículas en suspensión, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), compuestos orgánicos volátiles (COVs), compuestos clorados, nitratos, metales (Wigle et al., 2008; Kim et al., 2008; Perera, 2008; Lederman et al., 2008; Ribas-Fitó et al., 2006) y humo de tabaco (Rauh et al., 2004), entre otros.

Los sistemas biológicos de los niños tienen unas características únicas y diferentes en cada una de las etapas de su desarrollo (Cohen et al., 2008). Desde la primera infancia hasta la pubertad se producen cambios en el tamaño, estructura y función de su organismo, haciéndolos especialmente vulnerables a los contaminantes ambientales. Pero esta susceptibilidad especial también se debe a que, durante la gestación, la infancia y la adolescencia, una gran variedad de factores sociales y psicosociales influyen en la exposición a contaminantes, así como en los efectos en salud derivados de dicha exposición. Los procesos de crecimiento y desarrollo se producen a un ritmo particularmente relevante en el caso de los sistemas nervioso, endocrino, reproductivo e inmune (WHO, 2002; Kheifets et al., 2005). El crecimiento celular es particularmente rápido en la etapa embrionaria, siendo más probable que las exposiciones ambientales den origen a mutaciones y anomalías congénitas en esta etapa. Las rutas metabólicas en los niños, especialmente en los primeros meses de vida, son fisiológicamente inmaduras, por lo que la capacidad de reparación de posibles daños es inferior a aquella en adultos. Por otra parte, la esperanza de vida de un niño es mucho mayor que la de un adulto, lo que se traduce en más tiempo potencial para el desarrollo de enfermedades crónicas con largos periodos de latencia, tales como la leucemia o el cáncer de piel, presumiblemente iniciadas por exposiciones ambientales tempranas o determinadas por

exposiciones continuadas en el tiempo (Kheifets et al., 2005; Moya et al., 2004; National Academy of Sciences, 1993).

Durante los primeros meses y años de vida, los órganos y tejidos del recién nacido, incluyendo sistema nervioso, inmunitario y órganos reproductivos continúan desarrollándose con rapidez, por lo que este delicado proceso de desarrollo puede verse fácil e irreversiblemente alterado por exposición a contaminantes ambientales en la etapa neonatal (Perera et al., 2003; Kheifets et al., 2005) o en la infancia (Berkopwitz et al., 2001).

La REM es omnipresente en el mundo actual, y puede alcanzar valores considerables en el entorno de las instalaciones que la generan, transportan, transforman, distribuyen y consumen la energía eléctrica (Ferrís et al., 2010). Un niño que vive en un país desarrollado está expuesto a REM en su actividad diaria, y en los distintos lugares donde ésta se desarrolla como su casa, el colegio, los parques, etc. El promedio de exposición en los hogares fluctúa entre los 0,05 y 0,1 μT (Ferrís et al., 2010). Estas exposiciones a bajas dosis se mantienen, durante meses, años y décadas, de manera que aunque la ICNIRP haya establecido como niveles de referencia/seguridad para campo magnético, aquellos inferiores a 100 μT , algunos trabajos sobre población infantil han descrito asociaciones, estadísticamente significativas entre exposición y efectos adversos en la salud de los niños.

El efecto más estudiado ha sido la asociación de la exposición con leucemia aguda (LA) para niveles ligeramente superiores a los de referencia, a tan solo, 0,3-0,4 μT (Ferrís et al., 2010). Sin embargo, no se ha podido identificar si esta asociación es o no de naturaleza causal (Ferrís et al., 2010). Por su parte, el Panel Presidencial de Cáncer (2010) describe que los niños "tienen un riesgo especial debido a su menor masa corporal y a su rápido desarrollo físico, lo que incrementan su vulnerabilidad a los agentes carcinógenos conocidos, incluyendo la radiación" (BioInitiative Working Group, 2012).

Además de la asociación entre campos magnéticos de RNI y leucemia infantil, otro punto de interés ha sido la relación entre exposición y desarrollo infantil durante el periodo prenatal. Así, se han analizado efectos potenciales sobre aborto espontáneo y malformaciones congénitas, entre otras. Concretamente se ha descrito la relación entre la exposición residencial, utilizando medidas personales de exposición de 24 horas a ELF, y riesgo de aborto espontáneo, encontrando un riesgo dos veces mayor para exposiciones superiores a 1,6 μT y a 2,3 μT , respectivamente (Ferrís et al., 2010). Otros estudios empleando como medida indirecta la distancia a líneas eléctricas de alto voltaje y código de cables, no obtuvieron ningún incremento de aborto espontáneo entre las mujeres expuestas.

En vista del rápido aumento del uso de teléfonos móviles por parte de niños y adolescentes, es importante reflexionar sobre la sensibilidad y la vulnerabilidad hacia los CEM-RNI de RF a estas edades (Otto et al., 2007). Basándose en que el sistema nervioso de los niños está todavía en

desarrollo, su tejido cerebral tiene mayor conductividad debido a un mayor contenido de agua, su cabeza, por razones anatómicas, absorberá más energía de RF que la de un adulto y además los niños tienen un tiempo de vida más largo de exposición (Otto et al., 2007). En este sentido se han estudiado efectos de desórdenes neuroconductuales y de riesgo de tumor cerebral. Divan et al., (2008) encontró que los niños cuyas madres usaban el teléfono móvil durante el embarazo tenían un 25% más de probabilidad de presentar problemas emocionales, un 35% más de hiperactividad y un 49% más de problemas de conducta (Divan et al., 2008). Por su parte, Movvahedi et al., investigaron si exposiciones de corta duración a RF, en espacios escolares de primaria, en niños de edades entre los 8 y 10 años, producían cambios en el tiempo de reacción y en la memoria a corto plazo concluyendo que la exposición se relacionaba con un mejor rendimiento de su memoria a corto plazo (Movvahedi et al., 2014).

Actualmente se está llevando a cabo, un estudio internacional de casos y controles, denominado MOBI-Kids, que investiga los efectos potenciales sobre la salud de la infancia y la adolescencia tras la exposición a los CEM procedentes del uso de las tecnologías de comunicación inalámbricas entre los jóvenes (móviles); concretamente se evalúa el riesgo de tumor cerebral. El estudio, que pretende incluir aproximadamente 1000 casos de tumores cerebrales entre sujetos de 10-24 años, apareados con dos controles, sigue un protocolo común y se basa en la experiencia metodológica del estudio Interphone (Sadetzki et al., 2014).

Es esencial que las nuevas normas para el uso de telefonía móvil y otros dispositivos inalámbricos se basen en la protección de las poblaciones más jóvenes y más vulnerables para salvaguardar su seguridad a lo largo de su vida (BioInitiative Working Group, 2012). Durante las dos últimas décadas, la Unión Europea viene trabajando en un Plan de Acción de salud medioambiental pediátrica [Children Environment and Health Action Plan for Europe] uno de cuyos puntos específicos insta a reducir la exposición a campos electromagnéticos, especialmente en población infantil (Ferrís et al., 2010). También la Academia Americana de Pediatría, en una carta al congresista Dennis Kucinich, fechada el 12 de diciembre de 2012, expresaba que "los niños se ven desproporcionadamente afectados por la exposición ambiental, incluyendo la radiación del teléfono móvil".

1.5. Efectos potenciales en la salud infantil

Los efectos biológicos de mayor preocupación en población infantil son el cáncer, específicamente la leucemia linfocítica y los tumores cerebrales, así como los efectos que puedan derivarse de alteraciones en las funciones cognitivas y de comportamiento. A continuación se exponen algunas de las conclusiones del Comité Científico de Riesgos Sanitarios Emergentes y

Recientemente Identificados (SCENIHR) de la Unión Europea y del grupo de trabajo BioInitiative, sobre los efectos potenciales para la salud como consecuencia de la exposición a campos electromagnéticos, publicados recientemente (SCENIHR, 2013; BioInitiative Working Group, 2012).

Baja frecuencia

Carcinogénesis

Los estudios epidemiológicos recientemente realizados, son consistentes con lo anteriormente descrito referente al incremento de riesgo en leucemia infantil para una exposición promedio diaria por encima de 0,3 a 0,4 μT . De acuerdo a algunas publicaciones, el incremento del riesgo se encontraría a niveles casi mil veces por debajo de los niveles de referencia establecidos, indicando que el nivel de riesgo comienza a valores ≥ 4 mG, ($=0,4 \mu\text{T}$), aunque son pocos los estudios que obtienen estos resultados (BioInitiative Working Group, 2012). Para otros tumores infantiles no hay suficientes estudios para establecer si hay o no riesgo, cómo de elevado podría ser o a qué niveles de exposición se asocia el incremento de riesgo (SCENIHR, 2013; BioInitiative Working Group, 2012).

Es importante poner de manifiesto que aún no se han identificado los mecanismos que podrían explicar estos resultados. La falta de apoyo de estudios experimentales y los resultados contradictorios de algunos de los estudios epidemiológicos hacen que no sea posible establecer una relación causal (SCENIHR, 2013).

Efectos en el sistema nervioso y desórdenes neuroconductuales

Los estudios epidemiológicos sobre efectos en el sistema nervioso y desórdenes neuroconductuales no proporcionan evidencia convincente de un mayor riesgo relacionado con la exposición a ELF (SCENIHR, 2013).

Estudios *in vivo* recientes muestran que la exposición a campos magnéticos no tiene ningún efecto sobre la actividad o la locomoción, pero pueden afectar a la memoria espacial (mejoras y déficit) y generan aumentos leves en la ansiedad conductual y el estrés. Además existe alguna evidencia de que estos efectos se incrementan con la intensidad de los campos y con exposiciones prolongadas. Se desconoce el mecanismo que opera para los niveles de exposición registrados en el entorno cotidiano. No hay publicaciones sobre los campos eléctricos (SCENIHR, 2013).

Efectos en la reproducción y el desarrollo

Estudios epidemiológicos recientes no muestran evidencia convincente de resultados adversos durante embarazo tras la exposición a ELF-EMF (SCENIHR, 2013).

Radiofrecuencia

Efectos genéticos

Las exposiciones ELF y RF pueden considerarse genotóxicas (daño al ADN), sólo en determinadas condiciones de exposición, incluyendo niveles de exposición inferiores a los límites de referencia establecidos (BioInitiative Working Group, 2012). Algunos estudios *in vitro* han evidenciado el papel genotóxico de RF, demostrando roturas de cadena y alteraciones de ADN, aunque otros no encuentran efectos a niveles no térmicos (SCENIHR, 2013).

Carcinogénesis

Estudios epidemiológicos sobre exposición a RF no indican un incremento del riesgo de tumores cerebrales o de cabeza y cuello, incluyendo el cáncer infantil, aunque dejan abierta la posibilidad de neuroma acústico, siendo la posibilidad de glioma más débil (SCENIHR, 2013).

En este sentido el IACR, en su informe de 2013, establece que existe limitada evidencia en humanos respecto al riesgo de glioma y neuroma acústico, así como, de estudios *in vivo* e *in vitro* que sostengan esta posibilidad (IARC, 2013).

Sin embargo, en el informe de BioInitiative Working Group se recogen los resultados de un meta-análisis sobre mayores tasas de tumor cerebral maligno y neuromas acústicos entre aquellas personas que han utilizado un teléfono móvil durante diez años o más, y que además haya sido más acusado su uso en un lado de la cabeza. El informe también indica que el riesgo de tumor cerebral (glioma maligno de alto grado) desde el uso del teléfono móvil/ inalámbrico ha aumentado en un 220%, si se considera el uso de este dispositivo a ambos lados de la cabeza, y en un 470% en aquellos que utilizan sobre todo en un lado de la cabeza. En el caso de los neuromas acústicos, este grupo de trabajo considera que hay un aumento del riesgo del 30% o del 40%, con el uso del teléfono móvil dependiendo de si se utiliza a ambos lados o preferentemente en uno solo; y un 40% más de riesgo de neuroma acústico cuando el teléfono móvil se utiliza principalmente en un lado de la cabeza (BioInitiative Working Group, 2012).

Efectos en el sistema nervioso y desórdenes neuroconductuales

Estudios neurofisiológicos muestran que la exposición a RF puede afectar a las actividades cerebrales y estudios en animales de experimentación reflejan resultados adversos. Existe, sin embargo, falta de evidencia en las afecciones de las funciones cognitivas en población humana (SCENIHR, 2013). Los estudios epidemiológicos no son convincentes respecto al incremento del riesgo de enfermedades neurológicas tras la exposición a RF. La débil evidencia que proporcionan los estudios epidemiológicos sobre el desarrollo infantil y los problemas de comportamiento podría deberse a distintas limitaciones metodológicas (SCENIHR, 2013). No obstante, los resultados de la una cohorte Danesa sugieren alta prevalencia de desórdenes de conducta y salud en los niños cuyas

madres han hecho un mayor uso de los teléfonos móviles durante el embarazo (SCENIHR, 2013). La exposición a la radiación procedente del teléfono móvil en el periodo fetal y en edades tempranas, podría ser un factor de riesgo para la hiperactividad, desorden en el aprendizaje y problemas de comportamiento durante los primeros años de vida (BioInitiative Working Group, 2012).

Las consecuencias de exposiciones prolongadas en los niños, cuyo sistema nervioso está en continuo desarrollo hasta la adolescencia son desconocidas. Esto podría tener serias implicaciones para la salud en la edad adulta y en la sociedad si consideramos que la exposición crónica tanto a ELF como RF disminuye la capacidad de juicio, memoria, aprendizaje y control sobre la conducta (BioInitiative Working Group, 2012).

Efectos en la reproducción y el desarrollo

El informe SCENIHR concluye que no hay efectos adversos en la reproducción y el desarrollo para niveles de exposición no termal (SCENIHR, 2013). Sin embargo, no se conocen con certeza los efectos derivados de la exposición a las tecnologías inalámbricas a largo plazo, incluyendo las emisiones de los teléfonos móviles y otros dispositivos personales, y de exposición de todo el cuerpo a las transmisiones de RF desde las torres móviles y antenas. La evidencia disponible sugiere que los efectos biológicos y los efectos en la salud pueden ocurrir y ocurren a bajos niveles de exposición estando éstos varias unidades por debajo de los límites de seguridad establecidos (BioInitiative Working Group, 2012).

Los resultados de las publicaciones científicas de efectos encontrados *in vitro*, *in vivo* y en humanos son contradictorios. En la recopilación de las conclusiones de los grupos de expertos de la Unión Europea con EFHRAN en 2012 y SCENIHR en 2013, IARC en 2011, WHO en 2011, IEEE 2009 y ICNIRP 2009, sobre los efectos biológicos de la exposición a RF aconsejan una reducción de los niveles de referencia basándose en el principio de precaución y plantean la necesidad de realizar más estudios, especialmente aquellos con diseños de cohortes prospectivas (Vijayalaxmi et al., 2014).

2. Hipótesis y Objetivos

2. Hipótesis de Trabajo

Las exposiciones ambientales pueden ser especialmente perjudiciales para la población infantil debido a la particular vulnerabilidad y especial sensibilidad que presentan los niños durante su desarrollo. La edad a la cual ocurre la exposición determina las consecuencias sobre la salud de un individuo. Asimismo, periodos prenatales y neonatales son extremadamente sensibles a la exposición, y los efectos adversos suelen ser más graves que en el adulto.

El uso de las nuevas tecnologías está asociado a un aumento considerable de la exposición a CEM-RNI. Sin embargo, factores tales como la naturaleza ubicua de la exposición a ELF y RF, las limitaciones metodológicas para caracterizarla, así como, la falta de conciencia de la población ante los riesgos asociados a esta exposición, dificultan poder establecer una relación causal entre exposición y efectos adversos para la salud. Por estas razones, es necesario diseñar un protocolo de medida para conocer, primero, los niveles de exposición a los que la población general está rutinariamente expuesta, que sirvan de base para investigaciones en futuros estudios epidemiológicos que permitan establecer asociaciones entre exposición y efecto.

La hipótesis que se plantea en este trabajo de Tesis Doctoral es que los niños expuestos a niveles ambientales de CEM-RNI manifiestan, a corto plazo, alteraciones del desarrollo cognitivo y conductuales, pudiendo esta exposición incrementar el riesgo de efectos adversos en salud a esta población en la edad adulta.

Objetivos

El **objetivo principal** de esta Tesis Doctoral es evaluar el nivel de exposición a campos electromagnéticos de radiación no ionizante en población infantil de la provincia de Granada y analizar posibles efectos en salud derivados de esta exposición. El estudio que se presenta en esta memoria de Tesis Doctoral se enmarca en el contexto de la cohorte prospectiva de nacimiento INMA-Granada.

Objetivos específicos

Para lograr el objetivo general se han planteado los siguientes objetivos específicos:

1. Recoger mediante cuestionario información sobre las fuentes de emisión en el interior (WI-FI, teléfonos inalámbrico-DECT, móviles, electrodomésticos, etc.) y exterior (proximidad a

subestaciones/antenas de móviles, radiodifusión, subestaciones eléctricas, entre otras) de las viviendas, junto con los patrones de uso de dichas fuentes.

2. Caracterizar el grado de exposición a campos eléctricos y magnéticos de radiación no ionizante en el rango de frecuencia 15 Hz a 100 kHz en los hogares de los niños de la cohorte INMA-Granada.
3. Caracterizar el grado de exposición a campos eléctricos y magnéticos de radiación no ionizante en el rango de frecuencia 100 kHz a 6 GHz en el entorno exterior de las viviendas de los niños de la cohorte INMA-Granada.
4. Investigar la influencia de la exposición medioambiental a campos electromagnéticos de radiofrecuencia y el desarrollo neuroconductual en niños de la cohorte INMA-Granada a los 9-11 años de edad.
5. Revisar el conocimiento científico disponible sobre asociación entre exposición medioambiental a radiación no ionizante y el riesgo de leucemia infantil.

3. Material y Métodos

3. Material y Métodos

3.1. Diseño del estudio

Se ha realizado un estudio epidemiológico observacional de cohorte prospectivo y de base poblacional, con seguimiento de los niños indexados en la cohorte INMA-Granada desde el nacimiento hasta los 9-11 años de edad.

3.2. Población de estudio

El proyecto de investigación “Infancia y Medio Ambiente” (INMA) es una Acción Estratégica de Investigación del CIBER de Epidemiología y Salud Pública, financiada por el Instituto de Salud Carlos III, desde el año 2003, cuyo objetivo es estudiar el papel de los contaminantes ambientales durante el embarazo e inicio de la vida, y sus efectos en el crecimiento y desarrollo infantil (Ramón et al., 2005; Ribas-Fitó et al., 2006; Guxens et al., 2012). En el estudio participan siete cohortes de nacimiento, cuatro creadas *de novo* (cohortes de Valencia, Sabadell, Asturias y País Vasco) y tres preexistentes (cohortes de Ribera d’Ebre, Menorca y Granada) antes de la constitución de la Red.

En el año 2000 comenzó en el Hospital Universitario San Cecilio de Granada (HUSC) el reclutamiento (octubre 2000 - agosto 2002) de una cohorte de 700 mujeres embarazadas que dieron a luz hijos varones (cohorte INMA-Granada), entre los que se ha estudiado la prevalencia de malformaciones del tracto genitourinario (criptorquidia e hipospadias) al nacimiento, demostrándose la existencia de una relación entre la exposición crónica de la madre a disruptores endocrinos y la frecuencia de criptorquidia/hipospadias en la descendencia (Fernández et al., 2007). Los criterios de inclusión de las familias/madres participantes en la cohorte fueron (i) *tener al menos 16 años* (ii) *residir en el área de referencia del HUSC*, (iii) *no haber seguido programas de reproducción asistida*, (iv) *ausencia de enfermedades crónicas como diabetes, hipertensión o enfermedad tiroidea, y no haber tenido complicaciones en el embarazo que pudiesen afectar al crecimiento y/o desarrollo fetal* (López-Espinosa, 2006). La cohorte INMA-Granada ha proporcionado, hasta la fecha, información muy valiosa sobre la exposición materno-infantil a compuestos químicos con actividad hormonal y sobre exposiciones pre- y postnatales que pueden afectar en el desarrollo y el crecimiento infantil (Fernández et al., 2007; López-Espinosa et al., 2007, 2009; Freire et al., 2008, 2009, 2010a, 2010b, 2011; Jiménez-Díaz et al., 2010, 2011; Puertas et al., 2010; Casas et al., 2011; Vela-Soria et al., 2011; Ramos et al., 2013; Amaya et al., 2013; Vilahur et al., 2014a; Vilahur et al., 2014b; Fernández et al., 2014)

Con objeto de llevar a cabo el seguimiento clínico de la cohorte, 4 años después del nacimiento, se seleccionó al azar de la población inicialmente incluida, uno de cada tres familias participantes, según lo establecido en el protocolo del estudio INMA (Freire et al., 2009). Este seguimiento tuvo lugar entre septiembre de 2005 y septiembre de 2006.

Cuatro años después, entre septiembre de 2010 y septiembre de 2012, se realizó un segundo seguimiento, cuando los niños tenían una edad comprendida entre los 9-11 años. En la tabla 1 se presenta el proceso de seguimiento de la cohorte INMA-Granada, desde su constitución hasta nuestros días.

Tabla 1. Reclutamiento y seguimiento de la cohorte INMA-Granada

	Periodo 2000-2002 Nacimiento (n=700)	Periodo 2005-2006 4-5 años (n=220)	Periodo 2010-2012 9-11 años (n=300)
Muestras biológicas y Biomarcadores	Placenta (DE ¹ , metales) Sangre cordón (DE ² , TSH) Leche materna (DE ²)	Orina: 1-OHP ³ Pelo: mercurio	Orina (yoduria, BPA) Sangre (hormonas tiroideas ³ , sexuales, bioquímica)
Cuestionarios	Datos sociodemográficos Historia/Salud reproductiva Datos de exposiciones ambientales	Datos sociodemográficos Salud general familiar Frecuencia alimentaria del niño (CFA) ⁶ Datos ambientales: Contaminación atmosférica Uso y consumo de agua Psicológicos niño: Criterios diagnósticos TDAH [padres y profesores] ⁷ Competencia social (profesores) ⁸ Psicológicos padres: Salud mental (GHQ) ⁹ Vínculo afectivo ¹	Datos sociodemográficos Salud general Frecuencia alimentaria del niño (CFA) ⁶ CEM-RNI: fuentes, tiempo-actividad y uso Psicológicos niño: Criterios diagnósticos TDAH [padres y profesores] ⁷ Comportamiento (CBCL/6-18) [padres] Psicológicos padres: Capacidad intelectual (WAIS-IV)
Exploraciones y tests	Antropometría Desarrollo sexual	Antropometría Neurodesarrollo (Escala McCarthy-MSCA) ¹¹	Antropometría Desarrollo sexual Neurodesarrollo Batería de test
Mediciones ambientales		Contaminación atmosférica: NO ₂ y COV ₅ Agua de consumo THM	Medidas de CEM-RNI: Interiores viviendas (larga duración) Exteriores viviendas (puntuales)

DE: Disruptores endocrinos; TSH: tirotopina u hormona estimulante del tiroides; 1-OHP: 1-hidroxipireno; BPA: bisfenol A; CFA: Cuestionario de Frecuencia Alimentaria; TDAH: Trastorno de déficit de atención e hiperactividad; MSCA: Test McCarthy de aptitudes y psicomotricidad en niños (McCarthy, 1972); CBCL/6-18: ChildBehaviorchecklist para niños de 6 a 18 años (Achenbach y Rescorla, 2001); GHQ: Salud mental de los padres, *General Mental HealthQuestionnaire*(GHQ) (Goldberg y Williams, 1998). WAIS-IV: WechslerAdultIntelligenceScale; NO₂: dióxido de nitrógeno; COV₅: compuestos orgánicos volátiles. THM: niveles de trihalometanos(subproductos de la cloración).1:Pesticidasorganoclorados, BPA, parabenes, benzofenonas y oxinamatos.2:Pesticidas organoclorados. 3:T4 libre y TSH; 4-Testosterona, foliculo estimulante (FSH) basal, hormona luteinizante (LH). 5 Principal metabolito de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs). 6:CFA, versión adaptada a población infantil del cuestionario *Harvard* (Willett, 1985, validado en población española por Vioque, 2006). 7:Cuestionario de Criterios diagnósticos para Trastorno de Déficit de Atención e Hiperactividad (DSM-IV) (APA, 2002). 8:Escala California sobre competencia social del niño en edad preescolar. 9: Salud mental de los padres, *General Mental HealthQuestionnaire*(GHQ) (Goldberg y Williams, 1998). 10: Vínculo afectivo, *Parent-to-infantAttachment*(Condon y Corkindale, 1998). 11:Mediante el MSCA se obtiene un Índice General Cognitivo (IGC) que se correlaciona con el coeficiente intelectual de la Escala Wechsler para niños en edad preescolar y primaria (WPPSI) y con el test de inteligencia Stanford-Binet para niños (Jacobson *et al.*, 1990). Cuestionarios *ad hoc* CEM-RNI: Campos Electromagnéticos de Radiación No Ionizante.

3.2.1 Área geográfica del Proyecto INMA-Granada

El área que comprende el proyecto INMA-Granada corresponde al perímetro geográfico del área de atención primaria del distrito metropolitano de Granada y parte del área sanitaria del distrito Granada (zona sur de la capital), cuyo hospital de referencia es el HUSC. El área cubre las comarcas de Valle de Lecrín, Vega Este y Oeste, Loja, Alhama y Montefrío, extendiéndose por el sector oeste y sur de la provincia de Granada (Figura 3).

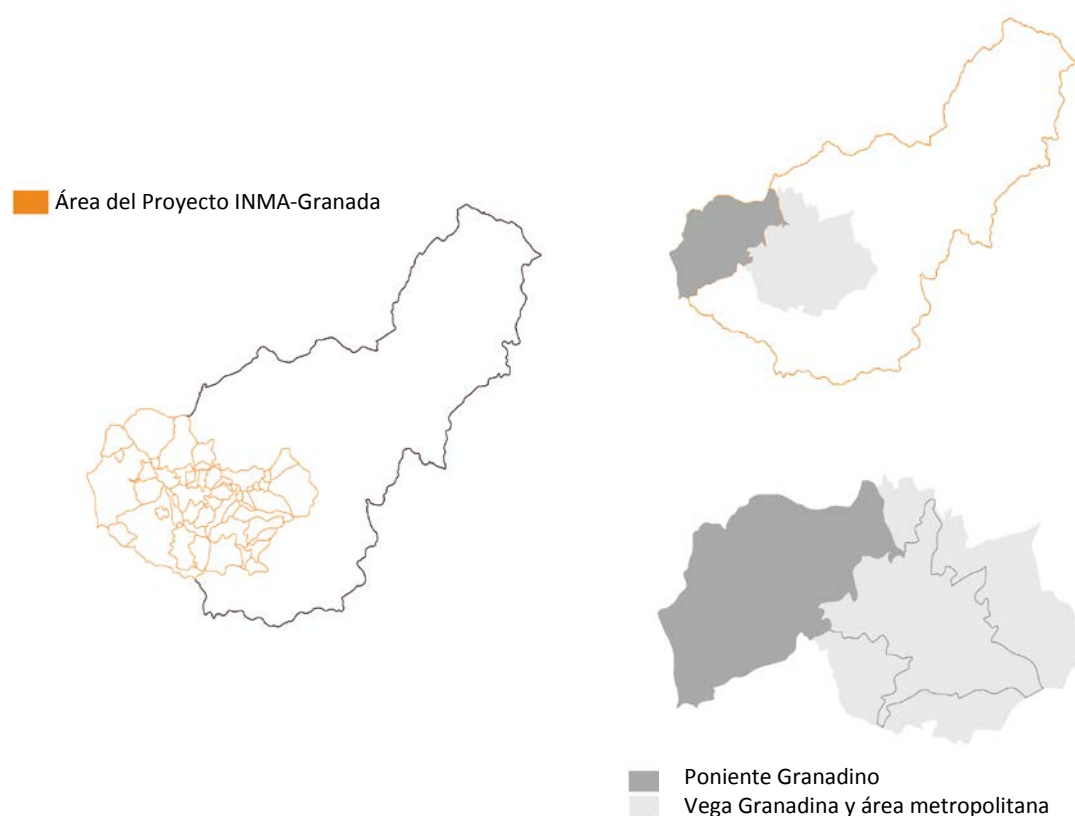


Figura 3. Área geográfica del proyecto INMA-Granada

3.3. Protocolo de seguimientos a los 9-11 años

En el seguimiento de los niños a los 9-11 años, se intentó contactar con todas las familias incluidas en la cohorte INMA-Granada. Este proceso constó de varias fases: una fase inicial (diciembre 2009 y enero 2010) donde se envía mediante correo ordinario una carta de toma de contacto (anexo) a las familias y se trata de localizarlas, también, mediante llamada telefónica. Una segunda fase donde se informa brevemente a las familias de la conveniencia de realizar un nuevo seguimiento de sus hijos y se les cita, en horario de tarde, en la unidad de Atención Temprana y Estimulación Precoz (ATEP) del Servicio de Pediatría del HUSC.

Una vez que las familias llegaban al hospital eran recibidos, en consulta, por un equipo de profesionales (psicólogos, pediatras, encuestadores) que les ponía en antecedentes y les invitaban a firmar el consentimiento informado, procediendo al inicio las distintas etapas de las que consta la revisión [exploración física, recogida de muestras biológicas, evaluación neuropsicológica, cumplimentación de cuestionarios (ver Anexos)] invirtiéndose un tiempo máximo estimado de hora y media. De las 700 familias incluidas se logró contactar con un total de 460 familias (43%), aunque finalmente 300 familias acudieron a la cita. De estas el 83% (250) firmaron el consentimiento informado específico que permitía llevar a cabo el proceso de medidas a CEM-RNI en el interior de sus casas, y cumplimentaron los cuestionarios de exposición a RNI diseñados *ad hoc*. Aunque inicialmente 250 familias dieron su consentimiento por escrito, finalmente sólo se 123 accedieron a que se realizaran las medidas en el interior de sus viviendas. El tamaño final de la población incluida en el estudio de la presente Tesis Doctoral fue de 123 familias/niños, correspondiente a la submuestra de niños sanos que participó en el seguimiento a los 9-11 años de edad. Los criterios de inclusión de los niños en el seguimiento se incluyen en la sección de Resultados, en función de los objetivos concretos planteados en cada uno de ellos.

3.3.1. Exploración física: Antropometría

Las variables antropométricas evaluadas durante el seguimiento fueron: **Talla**, obtenida mediante el tallímetro Holtain; **Peso** y medidas de los **perímetros craneal, braquial, torácico** y de la **circunferencia** de la **cintura** y la **cadera**. El peso y los perímetros se obtuvieron disponiendo a los niños descalzos, con ropa interior. La medición de la cintura se realizó tomando la medida a la mitad de distancia entre el borde inferior de la última costilla y el superior de la cresta iliaca al finalizar una espiración no forzada. Además se recogieron la medida de los pliegues cutáneos: i) tríceps: a la mitad entre proceso acromial y olecranon; ii) bíceps: al mismo nivel que el anterior y directamente sobre el centro de la fosa cubital; iii) subescapular: sobre 20 mm por debajo del borde de la escápula y 45° hacia el lateral del cuerpo; y iv) suprailíaco: sobre 20 mm por encima de la cresta iliaca y 20 mm hacia la línea media.

El índice de masa corporal se determinó aplicando la fórmula resultante de dividir peso expresado en kilogramos por el cuadrado de la talla en metros (kg/m^2). La composición corporal, los valores del porcentaje de grasa, masa grasa en Kg, masa magra en Kg, masa muscular en Kg, agua total en Kg y porcentaje de agua total e impedancia, se obtuvieron utilizando el método de impedancia bioeléctrica mediante el analizador Tanita Sc-330, con los electrodos, y permaneciendo el niño sin moverse durante 10 y 15 segundos y después de miccionar. Se realizó también una exploración tiroidea y de desarrollo sexual.

3.3.2. Evaluación neuropsicológica y de comportamiento

Se efectuó mediante una batería de test diseñada *ad hoc* con objeto de evaluar las habilidades cognitivas y de comportamiento de los niños a la edad de 9-11 años. La aplicación de la batería fue llevada a cabo por dos psicólogas debidamente entrenadas, en dos salas acondicionadas de la unidad de ATEP del Servicio de Pediatría del HUSC.

Se desarrolló, además, un riguroso protocolo de control de calidad para controlar la variabilidad inter-observador, incluyendo entrenamientos inter-evaluador. La finalidad de este control de calidad fue minimizar las posibles diferencias entre los distintos observadores. Finalmente, se elaboró un informe particular para cada una de las familias donde se reflejaban los resultados de los test, detallando cada capacidad evaluada junto con la interpretación de los mismos, aportando recomendaciones en el caso de que fuese necesario.

A continuación se detallan los diferentes test aplicados en la **evaluación neuropsicológica**:

a. Capacidad intelectual general, evaluada con el Test Breve de Inteligencia de Kauffman (K-BIT) (Kauffman et al., 1997), del que se obtiene una puntuación de cociente intelectual (CI), basada en una escala verbal y en otra de razonamiento abstracto. La edad de aplicación de este test es entre los 4 y los 90 años.

b. Lenguaje, valorado a través de la escala verbal del K-BIT (Kauffman et al., 1997), que incluye dos subtest: i) vocabulario expresivo, en el que el niño tiene que nombrar objetos que se le muestran gráficamente. Se presentan 45 dibujos de objetos tales como: cama, tenedor, rana, escalera humo, en los ítems más fáciles, y extintor, hexágono, yunque o salvavidas, en los ítems más difíciles de la prueba; ii) conocimiento general y definiciones, en el que el niño tiene que adivinar 37 palabras utilizando dos pistas: una definición de la palabra y algunas letras que contiene la palabra a adivinar. Por ejemplo, en el primer ítem se aporta la pista «Lugar con plantas y flores» y la referencia J _ R _ _ _ para definir «Jardín»; y en el último ítem se aporta la información «Apasionado, aferrado a sus ideas» y la referencia _ A _ _ _ I _ O, para definir «Fanático». Con esta escala verbal se valora la aptitud del niño para expresarse verbalmente, así como la madurez de sus conceptos verbales. La edad de aplicación de este test es entre los 4 y los 90 años.

c. Atención, evaluada con el Continuous Performance Test (CPT) (Conners 1995), que mide la atención selectiva y mantenida, mecanismo de control inhibitorio y fatiga atencional. Consiste en una tarea computarizada en la que se muestran en la pantalla una serie de letras, de manera sucesiva, una por vez, durante 14 minutos, presentando un total de 400 estímulos. El niño responderá oprimiendo la barra espaciadora lo más rápido posible pulsándola cada vez que aparezca una letra “A”, en color amarillo. Así, se evalúan las respuestas correctas (pulsar cualquier

tecla en la condición dada), las omisiones (no presionar ninguna tecla cuando aparece la condición dada), los errores de comisión simple (presionar cualquier tecla cuando no se da la condición), y los tiempos de latencia e índice de atención, contruidos a partir de las variables anteriores. La edad de aplicación es este test es de los 6 años en adelante.

d. Memoria verbal, evaluada a través del Test de Aprendizaje Verbal España-Complutense Infantil (TAVECI) (Benedet et al., 2001), cuyo objetivo es valorar el funcionamiento del sistema de aprendizaje y memoria. Permite evaluar la curva de aprendizaje, su estabilidad, la retención de la información a corto y a largo plazo, el uso de estrategias de aprendizaje y la susceptibilidad a la interferencia. Utiliza 3 listas de 15 palabras cada una: Aprendizaje, Interferencia y Reconocimiento. La lista de Aprendizaje es leída por el examinador en cinco ocasiones, tras las cuáles el niño tendrá que recordar el mayor número de palabras posibles en el orden que desee. Posteriormente, el examinador leerá la lista de Interferencia, tras la cual el niño volverá a nombrar las palabras que recuerde de la lista anterior. Pasado un tiempo de 10 y 20 minutos aproximadamente se le pedirá que recuerde la lista de Aprendizaje en estas dos ocasiones distintas. Y, finalmente, el examinador leerá la lista de reconocimiento, pidiendo al sujeto que “reconozca” las palabras que se nombraron en la lista de aprendizaje. Dura alrededor de 40 minutos y se aplica a niños de entre 3 y 16 años. Ya que la hoja de respuestas aporta una gran cantidad de variables al examinador, en nuestro estudio hemos seleccionado las variables: memoria inmediata, a corto y a largo plazo.

e. Coordinación visual-motora: evaluado con la parte A del Trail Making Test (TMT) (Reitan, 1958). Esta parte del test consiste en dibujar líneas que unen 15 números consecutivos, enmarcados en un círculo y distribuidos en una hoja, en orden ascendente, tan pronto como sea posible. La puntuación representa la cantidad de tiempo requerida para completar la tarea y el número de errores. La edad de aplicación del test es entre los 9 y 14 años de edad.

f. Velocidad de procesamiento, medida por la suma de los resultados en dos subtest (Búsqueda de símbolos y Claves), de la Escala de Inteligencia de Wechsler para niños (WISC-IV) (Wechsler, 2007). La tarea de Búsqueda de Símbolos consiste en identificar, tan rápido como sea posible, si los dos símbolos que se le indican están incluidos en la serie de símbolos que se les muestran. En el test de *Claves*, el niño tiene que rellenar, tan rápido como pueda y en espacios en blanco, símbolos situados debajo de unos números, siguiendo las indicaciones de un modelo dado anteriormente. Ambas tareas deben ser completadas en un tiempo máximo de dos minutos. La edad de aplicación de este test es entre los 6 y los 16 años de edad.

g. Función ejecutiva, dividida en cuatro componentes: actualización, inhibición, flexibilidad y razonamiento abstracto (Diamond, 2013).

1. Medidas de actualización, con dos componentes: i) Memoria de trabajo: evaluado con el subtest de Letras y Números del WISC-IV (Wechsler, 2007), en el que el examinador leerá al niño una combinación de letras y números y tendrá que repetir la secuencia, primero los números en orden ascendente, y luego las letras, en orden alfabético. Su edad de aplicación es de 6 a 16 años; ii) Fluidez Verbal, evaluada a través del test de fluidez verbal categórica (FAS), en el que los niños tendrán que decir, lo más rápido posible, tantos nombres de animales como sepan o recuerden, durante un minuto. Las variaciones gramaticales en género y/o número, así como las repeticiones, no son contadas. El número de animales correctos es la variable dependiente (Benton, 1989). La edad de aplicación se establece a partir de los 6 años.

2. Inhibición, con dos componentes:

i) el test de Colores y Palabras de Stroop, (Golden, 2005) que mide la capacidad de atención, así como la impulsividad y la inhibición. Consiste en un procedimiento en el que el niño es preguntado por el nombre de los colores escritos en tinta negra (condición 1), la denominación de colores escritos en distintos colores, representando las letras “xxx” (condición 2) y decir el nombre del color de las palabras, las cuáles están tintadas en colores que entran en conflicto con su significado; por ejemplo: la palabra “azul” aparece en tinta roja (condición 2; interferencia). En todas las páginas se usan tres colores o palabras de colores (rojos, azules y verdes). Las palabras y los colores están dispuestos en una rejilla de 20×5 en filas y columnas espaciadas uniformemente. La comparación de las puntuaciones obtenidas en las tres listas permite evaluar los efectos de la interferencia en el sujeto y su capacidad de control atencional. Se mide el número de respuestas correctas pasados 45 segundos en cada una de las páginas. La edad de aplicación es de 7 a 90 años. La sencillez de los estímulos y su breve tiempo de aplicación (5 minutos aproximadamente) permiten usar esta prueba en casos muy diversos, independientemente del nivel cultural del sujeto.

ii) La tarea go/no-go (Donders, 1969), evalúa la inhibición motora a través de un test computerizado. El niño debe responder ante dos estímulos presentados: un oso y un delfín, pero de forma inversa; a modo de ejemplo, tendrá que pulsar cualquier tecla cuando aparezca el oso y no pulsar ninguna cuando aparezca el delfín. Después de los 50 primeros ensayos, se escucha el sonido de un pitido, y eso significará que hay que realizar las órdenes de forma inversa; a modo de ejemplo, en este caso, el niño tendrá que pulsar cualquier tecla cuando aparezca el delfín y no hacerlo cuando aparezca el oso. La prueba consta de 100 ensayos, con un entrenamiento previo de unos 5 ensayos para asegurarnos que el niño entienda la prueba. La primera orden del estímulo prepotente la dará la prueba para cada uso. Obtendremos distintas medidas: aciertos, errores, omisiones, tiempo de reacción, tasa de aciertos y tasa de falsas alarmas. El tiempo total de la prueba es de 10 minutos aproximadamente y su edad de aplicación es a partir de los 6 años de edad.

3. Flexibilidad: medido a través de la parte B del TMT (Reitan, 1958). La tarea implica conectar una serie de números y letras en una secuencia alternativa y en orden ascendente para los números y alfabético para las letras, es decir, uniremos el número 1, seguido de la letra “A”, seguido del número 2, y así sucesivamente. La secuencia tiene que realizarse tan pronto como sea posible, siendo el tiempo la variable principal. La edad de aplicación es de 9 a 14 años.

4. Razonamiento abstracto: medido a través del test de matrices del K-BIT (Kauffman, 1997). La prueba consiste en observar e interpretar una analogía de figuras incompletas, donde el sujeto debe elegir de entre seis u ocho figuras la que mejor complete esa analogía visual; por ejemplo, «sombrero es a cabeza como zapato es a pie». La mayoría de los elementos utilizan estímulos abstractos. La variable dependiente es el número de respuestas correctas. Mide habilidades no verbales y capacidad para resolver nuevos problemas a partir de la aptitud del sujeto para percibir relaciones y completar analogías. Es una medida de la inteligencia fluida y libre del sesgo cultural. Su edad de aplicación es de 4 a 90 años y la duración de la prueba de 20 minutos aproximadamente.

Evaluación del comportamiento

El comportamiento se evaluó mediante un cuestionario para padres denominado Cuestionario Infantil de Comportamiento (Child Behavior Check list-CBCL) (Achenbach y Rescorla, 2001). Este instrumento de medida evalúa la presencia de psicopatología en el niño en los últimos 6 meses y recoge también información demográfica, competencias del niño, posibles enfermedades y/o discapacidades, preocupaciones hacia el niño y aspectos positivos de éste (competencias y actividades). El cuestionario está compuesto por 120 ítems, con 3 alternativas de respuesta (“no es cierto”, “algunas veces es cierto”, “cierto muy a menudo o bastante a menudo”), referidos a problemas de conducta que pueden presentar los sujetos entre los 6 y 18 años. La valoración del apartado de problemas de conducta permite obtener puntuaciones en 8 escalas de banda estrecha, también llamados síndromes empíricos (aislamiento, ansiedad/depresión, quejas somáticas, problemas sociales, problemas de pensamiento, problemas de atención, conducta de romper normas y conducta agresiva) y dos escalas de banda ancha (problemas externalizantes e internalizantes); además permite obtener una puntuación total. El cuestionario también nos ofrece obtener seis escalas diagnósticas según el manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales (DSM-IV). Todas las puntuaciones pueden obtenerse tanto crudas como tipificadas por edad y género. La clasificación de sujetos (normales, subclínicos y clínicos) se establece mediante distintos puntos de corte según el tipo de escala; así, para problemas internalizantes/externalizantes se establece una puntuación ≥ 60 y ≥ 65 para las escalas diagnósticas. Las escalas DSM permiten, además, orientar un posible diagnóstico clínico según los criterios establecidos en el DSM-IV.

3.3.3. Evaluación de la exposición a CEM-RNI

Medida de la exposición

La medida de la exposición a campos electromagnéticos de radiación no ionizante es uno de los mayores retos al que se enfrentan los investigadores del área. Con objeto de establecer un protocolo de medición compatible con la normativa vigente se realizó primero una revisión bibliográfica de los reglamentos nacionales e internacionales, verificándose que hasta la fecha no existían protocolos normalizados de medición de RNI en el rango de frecuencias menores a las del espectro radioeléctrico, concretamente frecuencias < 9 KHz. Cabe señalar que las frecuencias de los aparatos habituales en las viviendas tienen valores menores de 3 KHz (valor mínimo de la frecuencia radioeléctrica), exceptuando las cocinas de inducción o los aparatos de microondas, que están en el rango 0,3-3 GHz respectivamente, pero que son aparatos especialmente fabricados con apantallamiento.

A. Medidas de exposición en ambiente exterior

a.1. Caracterización y ubicación de las fuentes de emisión: Se establecieron tres áreas/zonas de estudio diferenciadas: zona urbana (municipios con más de 20000 habitantes), metropolitana/semiurbana (municipios entre 10000 y 20000 habitantes) y rural (municipios con menos de 10.000 habitantes). Se localizaron y geo-referenciaron las diversas fuentes de emisión (antenas de televisión, radio, telefonía móvil, etc.) que operaban en el rango seleccionado, así como las líneas de alta tensión y las subestaciones que podrían ejercer un efecto modulador sobre las primeras. Se registraron, igualmente, las características de las principales fuentes de emisión (banda de emisión, densidad de potencia, distancia, acimut, distancia, etc.). Se identificaron, además, el tipo de zona, así como la presencia de edificios u otros elementos de apantallamiento que pudieran afectar al proceso de medida. Se geo-referenciaron, por último, los domicilios de las familias participantes mediante el sistema de información geográfica (SIG); información que fue posteriormente tratada utilizando el programa ArcGIS10.1 y ArcGIS online (ESRI, Redlands, California) (Figura 3b).

a.2. Medidas puntuales de exposición (“spot measurements”): Se siguió el protocolo según Real Decreto 1066/2001 y Orden Ministerial CTE/23/2002, seleccionando el equipo de medida necesario para cuantificar valores de campo radiado y de campo cercano/lejano dentro del rango de frecuencia (100 KHz a 6 GHz). Se utilizó el medidor de campo Taoma (TS/001/UB) con sonda de campo eléctrico (TS/004/EHF). Las mediciones puntuales se realizaron en el radio exterior de las

viviendas, a una distancia media de 2 m, entre las 2 p.m. y las 4 p.m., colocando el aparato de medida a una altura media de 1,45 m; adoptando este valor de acuerdo al promedio de altura de la submuestra de niños seleccionada y considerando el corazón y el cerebro como los órganos más sensibles a la exposición (IEEE, 1987). En algunas de las casas se realizaron, además, medidas en las terrazas y en los patios de la casa.

Las 123 familias que accedieron finalmente a participar en este estudio para la obtención de las medidas, residían en un total de 16 municipios de la provincia de Granada, además de en la capital (Tabla 2; Figuras 3 a y b); lo que corresponde a una superficie media de 68,05 km², con un número medio de 7863 habitantes, y una densidad media de población de 1913 habitantes/km² (INE, 2014).

Tabla 2. Clasificación de las viviendas

Zona	n (%)
Urbana	55 (44.7)
Semi-urbana	56 (45.5)
Rural	12 (9.8)
Total	123(100)

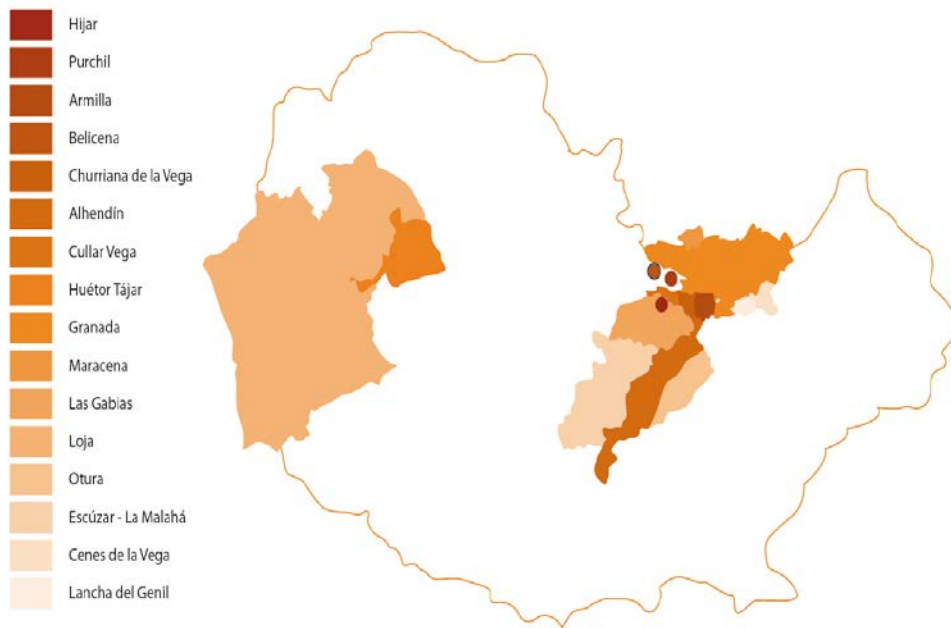


Figura 3a. Área de estudio.

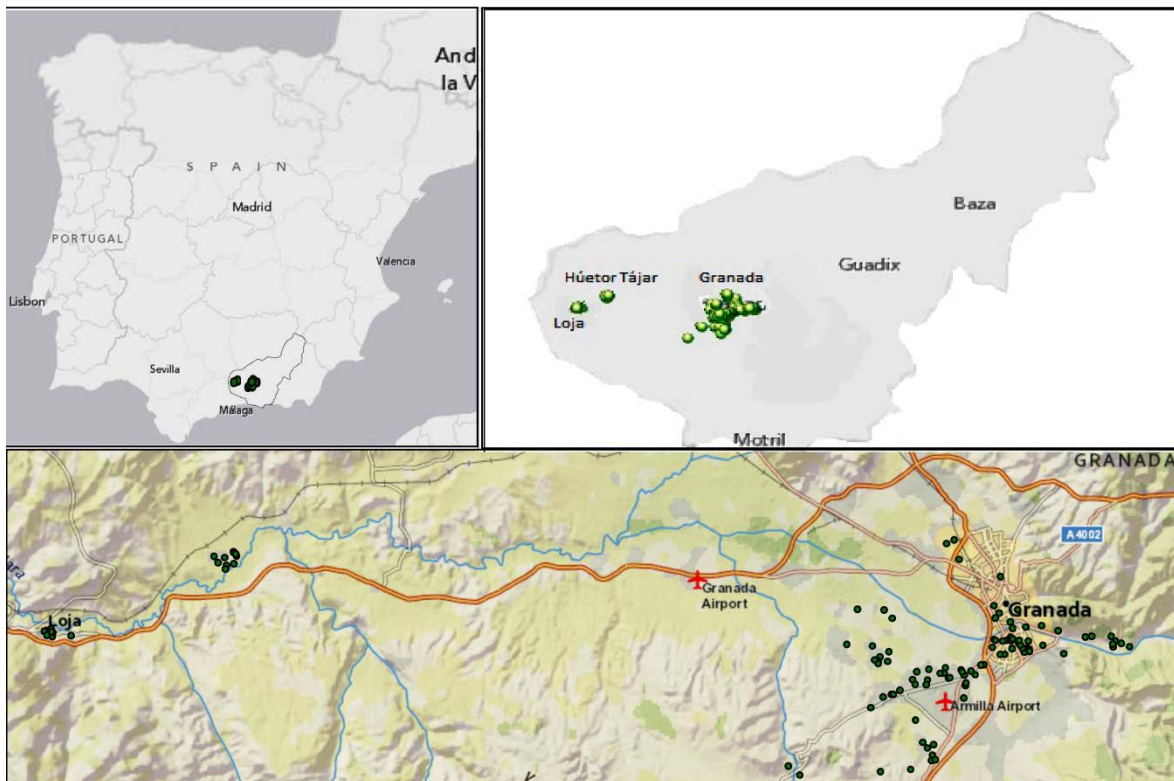


Figura 3b. Georreferenciación de los domicilios de las familias incluidas en el estudio.

B. Medidas de exposición en ambiente interior

b.1. Caracterización y ubicación de las fuentes de emisión mediante cuestionario: se recogió información relativa a las fuentes de emisión y a las variables de interés (hábitos diarios, uso de aparatos electrónicos y de comunicación, electrodomésticos, Wi-Fi, teléfonos inalámbricos-DECT, móviles, interfonos de bebé, etc.) en las viviendas con objeto de realizar la estimación indirecta de la exposición en el interior de las casas de los participantes. El cuestionario diseñado *ad hoc* incluía también información sobre el patrón actividad-tiempo del niño, así como, de otras variables de interés en cuanto a exposición en el interior.

b.2. Medidas de exposición de larga duración (“long-term measurements”): Se realizaron medidas de aproximadamente 24 horas de campos eléctrico y magnético en el interior de las viviendas, seleccionando el equipo de medida necesario para cuantificar valores de campo dentro del rango de frecuencia (15 Hz a 100 kHz) en dos de las habitaciones de mayor tiempo de permanencia del niño (salón/sala de estar y dormitorio). En las habitaciones se dispusieron las I-BOX [Interface – I-BOX (TS/001/IBOX y TS/002/IBOX)] sobre una superficie no metálica, con las respectivas sondas conectadas [sonda de campo magnético (TS/002/BLF) y sonda de campo eléctrico (TS/003/ELF)] y a una altura media de 79 cm del suelo. Las medidas se realizaron entre las 3 p.m. y las 10 p.m. en el salón y entre las 10 p.m. y las 8 a.m. en el dormitorio.

3.3.4. Cuestionarios (Anexos)

a. Cuestionario general: que permite la actualización de los datos socio-demográficos de las familias (dirección y teléfonos, personas que conviven con el niño, hábito tabáquico de los padres, además el de la madre durante el embarazo, lactancia materna y/o artificial (tiempo/edad), historia laboral y situación marital de los progenitores, entre muchos otros), disponibles desde el reclutamiento de la cohorte INMA-Granada (2000-2002).

b. Cuestionario de salud general: del niño durante sus primeros años de vida, donde se recogen tanto las visitas médicas realizadas durante sus primeros años de vida como las diferentes patologías (neurológicas, respiratorias, digestivas, uro-genital entre otras) padecidas.

d. Cuestionario de frecuencia alimentaria (CFA) y actividad física: versión adaptada del cuestionario Harvard (Willet, 1985), para población infantil, validado previamente para población adulta española (Vioque, 2006). El cuestionario está desglosado en 8 grupos de alimentos (lácteos, huevos-carnes-pescados, verduras-legumbres, frutas, pan-cereales y similares, bollería-dulces,

aceites-grasas, bebidas--misceláneas) y tabulado según la frecuencia de ingesta durante el último año. Se complementa con una sección de suplementos y hábitos dietéticos y de actividad física.

e. Cuestionarios psicológicos, para los padres en relación a la capacidad intelectual de los progenitores **y Cuestionarios psicológicos para padres y profesores** con objeto de evaluar la conducta del niño. Los cuestionarios empleados han sido:

- WAIS-III, Escala Wechsler de Inteligencia para Adultos (Wechsler, 1999). Test psicométrico que facilita cuatro índices específicos (comprensión verbal, razonamiento perceptivo, memoria de trabajo y velocidad de procesamiento) y uno general, que indica el cociente intelectual total. Se administraron también los subtest de semejanzas y definiciones, medidas del índice de comprensión verbal, cuyas puntuaciones proporcionan una medida aproximada de la capacidad intelectual general de los progenitores.

- CBCL, Child Behavior Check list, cuestionario infantil de comportamiento (Achenbach y Rescorla, 2001)

- DSM-IV, cuestionario de diagnóstico del trastorno de déficit de atención e hiperactividad (TDAH).

f. Cuestionario de exposición a CEM-RNI (citado anteriormente): se realizó un cuestionario ad hoc informatizado mediante el programa Microsoft Acces compuesto por varios bloques de información con el objetivo de caracterizar las fuentes exteriores e interiores de exposición de las viviendas, así como el tipo, la cantidad, el tiempo y uso de los dispositivos/aparatos eléctricos en las diferentes habitaciones de la casa, distinguiendo por habitación, además de un bloque específico dedicado a la telefonía móvil.

3.4. Análisis estadístico

Las variables utilizadas en este trabajo de Tesis Doctoral se describen en la tabla 3.

Tabla 3. Variables disponibles

Características del campo	Tratamiento
A baja frecuencia: valores de E durante el día; valores de B durante el día y la noche	Continua V/m o submúltiplo mV/m y μT .
A alta frecuencia: valores de E, S, H, B	Continua calculados como raíz cuadrática media, media aritmética ya grupadas en función del valor de la mediana para E y S.
Características de las residencias	
Área de la residencia	Catagórica: agrupada según semi-urbana (municipios de 10000 a 20000 habitantes)+ urbana (> 20000 habitantes) / Rural (municipios < 10000 habitantes)
Tipo de vivienda	Catagórica: (adosadas+independientes)/pisos
Edad de la vivienda	Catagórica: (< 15 años) y (\geq 15 años)
Tiempo viviendo	Catagórica: (< 9 años) y (\geq 9 años)
Nº de planta	Catagórica: (< 3ª) y (\geq 3ª)
Fuentes interiores	
Tiempo uso TV	Catagórica: (\leq 1h) y (> 1h)
Tiempo uso PC	Catagórica: (\leq 1h) y (> 1h)
Brasero eléctrico	Catagórica: sí / no
Radiador	Catagórica: sí / no
Bomba de calor/aire acondicionado	Catagórica: sí / no
Dispositivos de bajo consumo	Catagórica: sí o no
Estación	Catagórica: (Primavera+verano)/(otoño+invierno)
A alta frecuencia: valores E, H, B, S	Continua en V/m, A/m, μT , $\mu W/m^2$
Área de la residencia	Catagórica: agrupada según fuentes antenas/subestaciones en (rural + semiurbana)/(urbana)
Superficie	Catagórica: (\leq 39.90 km ²) y (> 39.90 km ²)
Tamaño de población	Catagórica: (\leq 2031 habitantes) y (< 2031 habitantes)
VARIABLES DEL NIÑO	
Puntuaciones derivadas de la batería neuropsicológica de test aplicados	Continua: puntuaciones crudas; y catagórica: P20; P80
Cuestionario de comportamiento CBCL/6-18	Continua: puntuaciones tipificadas; catagórica según criterios subclínicos/clínicos (T=60/65/30, según escala)
Índice de masa corporal	Continua: kg/m ²
VARIABLES DE LA MADRE	
Nivel educativo	Catagórica: sin estudios + estudios primarios, bachillerato + FP, y universitarios
Hábito tabáquico durante el embarazo	Catagórica: sí o no

Se realizó el análisis de la cohorte considerando la información obtenida de las medidas de CEM-RNI en ambas bandas de frecuencia (15 Hz a 100 kHz & 100 kHz a 6 GHz), de la evaluación física y neurológica y de la información obtenida mediante cuestionarios. Para conseguir los objetivos de este trabajo de Tesis Doctoral se realizó:

- Análisis descriptivo de caracterización del interior de las viviendas, cuantificando los niveles de exposición de campo eléctrico y campo magnético en el rango de frecuencias 15 Hz a 100 kHz.
- Análisis descriptivo de caracterización del exterior de las viviendas, cuantificando los niveles de exposición de CEM-RNI en el rango de frecuencias 100 kHz a 6 GHz.
- Análisis transversal de la muestra a los 9-11 años para el estudio de los factores relacionados con: a) los niveles de exposición de campo E y B, para rango de frecuencias de 15 Hz a 100 kHz, y b) los niveles de exposición de campo E y campo E máximo (E_{MAX}), densidad de potencia (S) y densidad de potencia máxima (S_{MAX}), en el rango de frecuencia de 100 kHz a 6 GHz.
- Análisis transversal para el estudio de la relación entre desarrollo neuroconductual de los niños a los 9-11 años y los niveles de exposición de campo E y campo E máximo (E_{MAX}), densidad de potencia (S) y densidad de potencia máxima (S_{MAX}), en el rango de frecuencia de 100 kHz a 6 GHz.

En el análisis descriptivo de la caracterización de los niveles de exposición a campo eléctrico, magnético y electromagnético se utilizaron medidas estadísticas de media, desviación estándar, percentiles (25, 50 y 75), valor mínimo y máximo. Se examinó la normalidad de la distribución de los valores mediante la prueba de Shapiro–Wilk. Cuando las variables presentaban una distribución que no se ajustaba a la normalidad, se utilizaron pruebas no paramétricas (Kruskal Wallis y Mann-Whitney) para evaluar las diferencias entre los grupos de magnitudes de exposición y resto de variables (fuentes de radiación, características de la vivienda, área de residencia, estación del año superficie, número de habitantes).

Para ver el efecto de las magnitudes de RNI en el funcionamiento neuropsicológico y comportamental se llevaron a cabo análisis de regresión lineal múltiple y de regresión logística múltiple, tomando los percentiles P20 o P80 como puntos de corte de las puntuaciones de los test neuropsicológicos y las puntuaciones típicas de 60 o 65 para las escalas de comportamiento. Las variables independientes incluidas en la regresión multivariante fueron seleccionadas de estudios previos, del análisis univariante y bivariante, además del procedimiento de extracción hacia atrás o backward.

El tratamiento estadístico de los datos se recoge de forma pormenorizada en cada uno de los artículos/objetivos planteados (sección de Resultados). En todas las pruebas realizadas se consideró la significación estadística $p \leq 0,05$, y la tendencia a la significación estadística para $p \leq 0,10$. Se utilizaron los programas estadísticos SPSS v18.0 (IBM, Chicago, IL) y el programa estadístico R v3.0.2 (<http://www.r-project.org/>), así como Microsoft Access para la realización de los programa de cuestionarios RNI, registro de las familias y calendario-visitas de las medidas/familias. Para los datos gráficos se empleó la aplicación Google Maps, el programa ArcGIS v10.1 y ArcGIS online (ESRI, Redlands, California) y Adobe Photoshop CS5.

4. Resultados

4.1. Caracterización de la exposición en el interior de las viviendas (ELF-LF):

Indoor characterization of electromagnetic fields of non-ionizing radiation in the INMA-Granada cohort: Extremely Low Frequency and Low Frequency



Characterization of Indoor Extremely Low Frequency and Low Frequency Electromagnetic Fields in the INMA-Granada Cohort

Irene Calvente^{1,2}, Cristina Dávila-Arias², Olga Ocón-Hernández², Rocío Pérez-Lobato^{1,2}, Rosa Ramos², Francisco Artacho-Cordón^{1,3}, Nicolás Olea^{1,3,4}, María Isabel Núñez^{1,3}, Mariana F. Fernández^{1,3,4*}

1 University of Granada, San Cecilio University Hospital, Instituto de Investigación Biosanitaria ibs.Granada, Granada, Spain, **2** Unit Research Support of the San Cecilio University Hospital, Instituto de Investigación Biosanitaria ibs.Granada, Granada, Spain, **3** Department of Radiology, University of Granada, Granada, Spain, **4** CIBER en Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP), Madrid, Spain

Abstract

Objective: To characterize the exposure to electric fields and magnetic fields of non-ionizing radiation in the electromagnetic spectrum (15 Hz to 100 kHz) in the dwellings of children from the Spanish Environment and Childhood-“INMA” population-based birth cohort.

Methodology: The study sample was drawn from the INMA-Granada cohort. Out of 300 boys participating in the 9–10 year follow-up, 123 families agreed to the exposure assessment at home and completed a specific *ad hoc* questionnaire gathering information on sources of non-ionizing radiation electric and magnetic fields inside the homes and on patterns of use. Long-term indoor measurements were carried out in the living room and bedroom.

Results: Survey data showed a low exposure in the children’s homes according to reference levels of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection but with large differences among homes in mean and maximum values. Daytime electrostatic and magnetic fields were below the quantification limit in 78.6% (92 dwellings) and 92.3% (108 dwellings) of houses, with an arithmetic mean value (\pm standard deviation) of 7.31 ± 9.32 V/m and 162.30 ± 91.16 nT, respectively. Mean magnetic field values were 1.6 lower during the night than the day. Nocturnal electrostatic values were not measured. Exposure levels were influenced by the area of residence (higher values in urban/semi-urban versus rural areas), type of dwelling, age of dwelling, floor of the dwelling, and season.

Conclusion: Given the greater sensitivity to extremely low-frequency electromagnetic fields of children and following the precautionary principle, preventive measures are warranted to reduce their exposure.

Citation: Calvente I, Dávila-Arias C, Ocón-Hernández O, Pérez-Lobato R, Ramos R, et al. (2014) Characterization of Indoor Extremely Low Frequency and Low Frequency Electromagnetic Fields in the INMA-Granada Cohort. PLoS ONE 9(9): e106666. doi:10.1371/journal.pone.0106666

Editor: David O. Carpenter, Institute for Health & the Environment, United States of America

Received: May 29, 2014; **Accepted:** July 30, 2014; **Published:** September 5, 2014

Copyright: © 2014 Calvente et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability: The authors confirm that, for approved reasons, some access restrictions apply to the data underlying the findings. <http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.1032766>.

Funding: This work was supported by the Spanish Ministry of Health (CIBERESP and FIS PI11/0610) and the Andalusia Regional Government, Council of Innovation, Science and Enterprise (Excellence Project P09-CTS-5488) and Council of Health (SAS PI-0675-2010). The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Competing Interests: The authors have declared that no competing interests exist.

* Email: marieta@ugr.es

Introduction

Human exposure to electromagnetic fields from non-ionizing radiation (EMF-NIR) has increased over recent decades, raising concerns about possible adverse health effects, although these remain controversial [1]. Humans are immersed in an electromagnetic “bubble” due to the growing use of electricity-dependent technologies. Sources of residential exposure to EMF-NIR include high-voltage power lines, transformers, and domestic electrical installations that generally emit low-frequency (LF) or extremely low-frequency (ELF) radiation between 0 and 300 kHz. Individuals are also increasingly exposed to radio frequencies (RFs) from radio stations and mobile phone/WIFI systems, among others.

ELF electromagnetic fields were recently classified as possibly carcinogenic (2B group) by the International Agency for Research on Cancer (IARC), based on epidemiological studies of childhood leukemia [2–4]. Other types of adverse health effects of exposure are considered “not classifiable” because of insufficient or inconsistent information [5].

Exposure to electric and magnetic fields in the home is influenced by various factors, including the use of electrical appliances, amount of electrical current flowing through the earth in the electrical distribution board, power consumption in the neighborhood, and distance between dwellings and from the power distribution system, among others. The field strength is significantly reduced with greater distance from the source.

The walls and roofs of houses can reduce the exposure to electrical fields from external equipment (e.g., power lines) [6–8] but provide a lesser screening against magnetic fields.

The strength of magnetic field in a dwelling, which is determined by the use of energy by neighbors as well as by the occupants, varies according to the time of day and season of the year. Thus, magnetic fields are generally at maximum values between 6 pm and 8 pm and at minimal values during the night, and there are also seasonal variations [6–8].

All electrical equipment produces an electric field and a magnetic field when in use. Electrical energy in the home is low-voltage, generating an electric field of only a few volts per meter. However, it has been reported that long-term exposure to these levels in buildings that are well-equipped with wireless devices but have inadequate ventilation and inappropriate construction materials may be responsible for the so-called “sick building syndrome”, associated with semi-circular lipotrophy and other conditions [9,10]. Electric fields are strongest directly under high-voltage lines, where the conductors are closest to the ground [6–8]. Stronger magnetic fields are generated by some devices than by others. The decline in magnetic field strength with distance is much more pronounced in the case of common electrical devices than in the case of power lines [7–8]. The power distribution system is the main source of electromagnetic field exposure outside the home but contributes little to the electric field within due to the shielding effect of walls and roof, as noted above. Magnetic fields near power lines vary according to the season, the demand for energy, and the technical characteristics of the lines (e.g., the height of the pole). Even underground distribution lines produce electromagnetic fields, which pass through matter and are not diminished by soil, rocks, or concrete [6,7].

Increasing concerns about the possibility of adverse effects of exposure have led to investigations designed to improve methods for measuring exposure to electromagnetic fields from non-ionizing radiation (EMF-NIR) in the ranges of extremely low and low frequency electric [(ELF-LF)-EF] and magnetic [(ELF-LF)-MF] fields, and several studies have characterized this exposure in recent years [6,7,11–16].

It has been documented that children may be especially susceptible to exposure to EMF-NIR [11,17]; hence, there is a need to establish current levels of exposure in this age group [18].

The objective of this study was to characterize the exposure to electric and magnetic fields of NIR in the 15 Hz to 100 kHz frequency range in the homes of children from the Spanish Environment and Childhood-“INMA” birth cohort.

Materials and Methods

Study Population

The study sample was drawn from the INMA network, a population-based cohort study in different regions of Spain (Ribera d’Ebre, Menorca, Granada, Valencia, Sabadell, Asturias, and Gipuzkoa) that focuses on prenatal environmental exposures in relation to growth, development, and health from early fetal life through childhood. The INMA study protocol includes medical follow-ups of the children from birth through childhood as well as epidemiological questionnaires and biological sample collections [19].

From October 2000 through July 2002, 700 eligible mother–son pairs registered at the San Cecilio University Hospital of Granada (province in Southern Spain) were recruited at delivery, establishing the INMA-Granada cohort. The inclusion and exclusion criteria were published elsewhere [20]. Between April 2005 and June 2006, one out of three families was randomly contacted to

arrange a follow-up appointment, which included completion of an *ad hoc* questionnaire on their home environment [20]. Six years later (between January 2011 and December 2012), all families in the cohort ($n = 700$) were contacted and invited to participate in this follow-up. A total of 300 boys were finally enrolled and their families again completed *ad hoc* questionnaires on their home environment, including a specific questionnaire to gather information on the sources of EF-NIR and MF-NIR inside the home and on the patterns of use of electrical-electronic devices at home. Two hundred-fifty families signed informed consent to the performance of EMF-NIR measurements at home. The present study only included the 123 families/dwellings for which these measurements were finally carried out (Figure 1). The schooling of the parents was classified as primary, secondary, or university. A low educational level was reported by 41.5% of fathers and 44.7% of mothers. Only 26% of the fathers and 24.4% of the mothers had completed university studies.

Ethical statement

We obtained written informed consent from the parents (mother or father) on behalf of children enrolled in your study. The 300 families registered in the follow-up signed the informed consent form, which included completion of *ad hoc* questionnaires. Two hundred-fifty out of three hundred families signed an additional informed consent to the performance of EMF-NIR measurements at home, but at the moment of the appointment became due, 127 families reneged on their decision. The study followed the guidelines laid down in the Declaration of Helsinki and was approved by the Ethics Committee of San Cecilio University Hospital, Granada, Spain.

Characteristics of the study area

The setting of the INMA-Granada study is the health district of the San Cecilio University Hospital, an area of 4000 km² with a total population of 512,000 inhabitants, including part of the city of Granada (236,000 inhabitants) and 50 towns and villages. Three areas of residence are differentiated: a) urban areas, corresponding to the city of Granada and towns with more than 20,000 inhabitants in the surrounding metropolitan area, b) semi-urban areas, towns with 10,000–20,000 inhabitants in the surrounding metropolitan area, and c) rural areas: small villages with less than 10,000 inhabitants. In the present study sample, 9.8% of households were in rural areas, 45.5% in semi-urban areas, and 44.7% in urban areas.

General characteristics of the households were as follows: 15.5% of families lived in detached houses, 45.5% in semi-detached houses, and 39% in apartments. The median age of the buildings was 15 yrs (range, 1.5 yrs to 62 yrs). The mean and median time of families in their current dwelling was 11 years (range, 0.16 to 28.0 yrs). Two rooms of the house were selected for ELF-LF measurements: the living room and the child’s bedroom. Half of bedrooms (54.2%) were on the 3rd floor, 44.4% on the 2nd, and the remainder on the 1st floor. The living room was on the 2nd floor in 83.3% of the dwellings.

Sources of electric and magnetic fields

The main sources of exposure to ELF-LF radiation in the living rooms and bedrooms were televisions, computers, music/DVD devices, electric braziers/radiators, heaters, air conditioning units, and energy-saving light bulbs. The largest proportions of electric-electronic devices were televisions (34%) and computers (32%), which were most frequently in the living room. Some type of energy-saving system (e.g., cold cathode fluorescent lamps) was

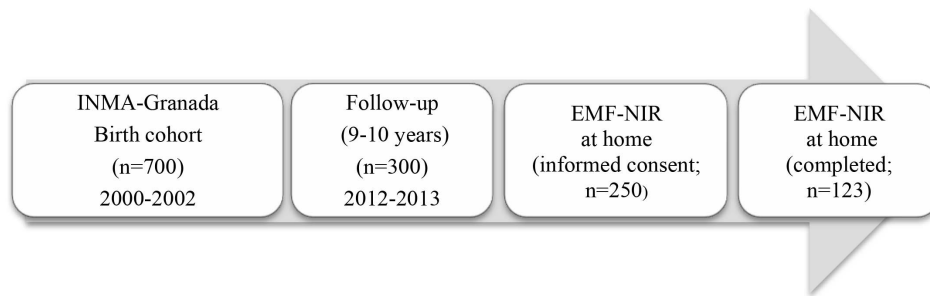


Figure 1. Chart depicting the flow of the children from recruitment at birth to final study subpopulation.
doi:10.1371/journal.pone.0106666.g001

used in the living room by 24.4% of families and in both rooms by 43.1%.

Exposure assessment

The EMF-NIR is composed of two separate components: electric and magnetic fields. ELF-LF fields are associated with all aspects of the production, transmission, consumption, and transformation of electricity [11]. The assessment of exposure to [(ELF-LF)-EF] is generally more difficult and less well developed in comparison to the assessment of exposure to [(ELF-LF)-MF], because electric fields are easily perturbed by any conducting object, including the human body. Moreover, because there is no clear relationship between electric and magnetic fields in the near-field, both need to be assessed separately to determine electromagnetic exposure at a given point [11].

Equipment. Measurements were carried out for indoor sources using a Taoma base unit (Tecnocervizi, Rome, Italy), a broadband device with electric field and magnetic field isotropic probes with measurement ranges from 10 V/m to 100 kV/m and from 100 nT to 10 mT in the 15 Hz to 100 kHz frequency range. Quantification limits for electric [(ELF-LF)-EF] and magnetic [(ELF-LF)-MF] fields were 10 V/m and 100 nT (for the sum of all frequencies), respectively. These quantification limits are well below the most cautious guideline levels and therefore adequate for the purpose of the study; although some medical associations consider these limits to be too high for certain health problems associated with “electromog” [21]. Each probe is equipped with a temperature and humidity sensor. In the present study, the mean temperature ranged from 18.80 to 27.52°C and the relative humidity from 19.93 to 42.57%. The probe can be used while attached to the basic unit or connected by optical fiber cable to an Interface Box (I-Box) for automatic and autonomous data acquisition.

Measurement procedure. Long-term [(ELF-LF)-EF] and [(ELF-LF)-MF] measurements were performed every 240 s in the living room and child’s bedroom, the areas at home where the children spent most time. The measurement procedure began with an initial exploration of the area of interest in order to identify punctual sources and to minimize perturbations caused by the proximity of the operator to the probe. Broadband measurements were then taken of electric and magnetic fields. The I-BOX and probes were placed on a non-metallic surface (desk/table in the center of the living rooms, and at the bed-side table [top end of the bed] in bedrooms) at an average height of 79 cm above the floor (based on the children’s height at head and chest level). All devices in the household remained in their usual state during recordings, and there were no changes in the habitual internal sources. In a pilot study of 10 homes, the exposure was characterized on three different days. However, because virtually no difference was

observed among the measurements on the different days, it was decided to perform the measurements on one day alone in the main study. In order to characterize everyday life exposure to all sources, measurements were made over a total of 17 h/day (between 3 pm and 10 pm in the living room and between 10 pm and 8 am in the bedroom) during a typical working day between October and June during the two-year study period.

Covariates

An *ad hoc* questionnaire was used that comprised the following three sections: 1) socio-demographic and socioeconomic characteristics of the family (children and parents): age, years of education, residential history and characteristics, parental occupation history, and household income; 2) sources of exposure to EMF: possession and usage of telephones, wireless devices, and household equipment (computer, TV, air conditioner, refrigerator, etc.); and 3) information on the duration (in hours) of the use of each appliance/device. Data on the area of residence (urban, semi-urban, rural), type of residence (detached house, semi-detached house, or apartment), characteristics of dwelling (date of completion of construction, floor number, duration of occupation, and some ELF generating sources/devices such as televisions, computers, energy-saving lamps, and electric heating systems) and season (date of measurement) were finally used as covariates in this work.

Statistical analysis

Descriptive analysis of measurements was performed, computing arithmetic means and standard deviations (SDs), median values, 5% trimmed mean values (after omitting lowest and highest 5% of measurements), and 25th and 75th percentiles. Comparison between variables was performed using the non-parametric Kruskal-Wallis test (χ^2) and the Mann-Whitney U test. $P \leq 0.05$ was considered significant.

All measurements were performed by a single operator (I.C.). Excel 2010 and SPSS version 18 (IBM, Chicago, IL) were used for the data analyses.

Results

Table 1 shows the levels of (ELF-LF)-EF and (ELF-LF)-MF exposure in the 123 participating families/dwellings. ELF-LF measurements had to be discarded in 6 out of the 123 dwellings due to recording faults, leaving a final study sample of 117 dwellings. The EF and MF exposure values found were very low, below ICNIRP guideline levels, while the (ELF-LF)-EF levels were highly variable in comparison to (ELF-LF)-MF values (Figure 2).

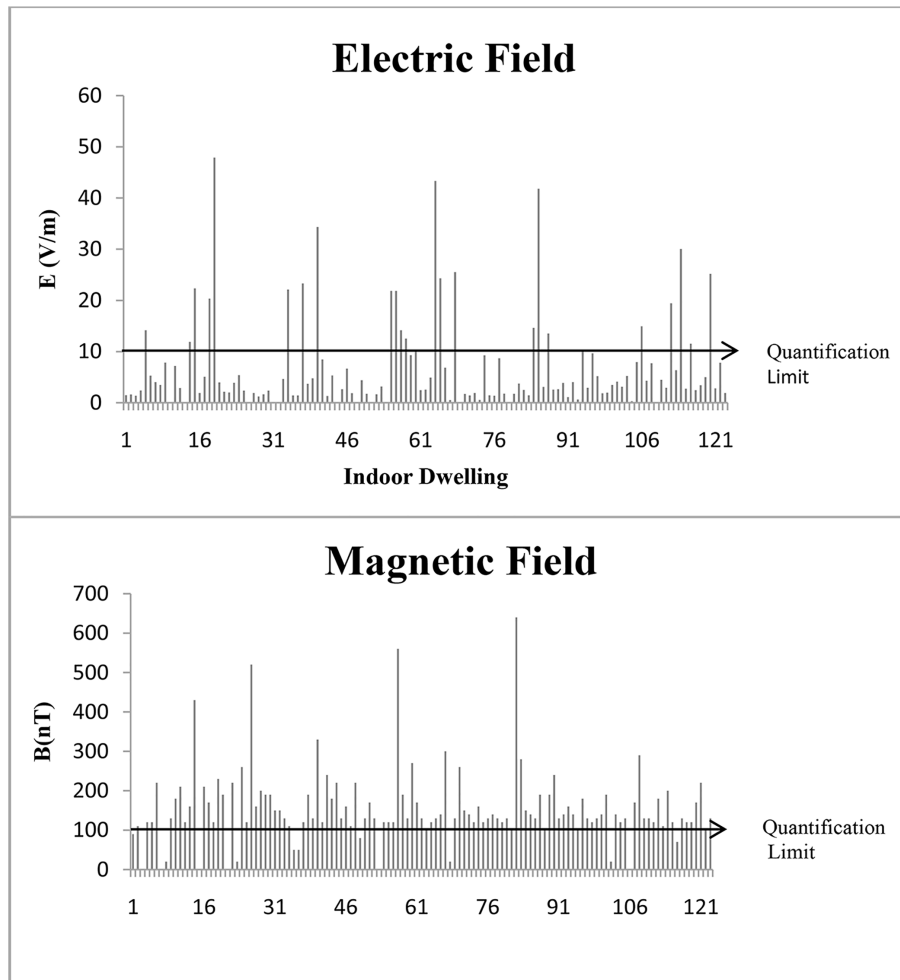


Figure 2. Distribution of A: extremely low frequency to low frequency electric field values, and B: magnetic field values.
doi:10.1371/journal.pone.0106666.g002

Table 1. Results of Measurements at home (n = 117).

Field	AM \pm SD	GM \pm SDG	Median	5% TM	p25	p75
Electric [(ELF-LF)-EF] (V/m)						
Day 3pm–10pm	7.31 \pm 9.32	2.54 \pm 9.30	3.68	6.08	1.84	8.58
Maximum	16.74 \pm 20.51		9.17	13.97	5.15	21.03
Minimum	2.78 \pm 4.91		1.25	2.01	0.01	2.17
Magnetic [(ELF-LF)- MF] (nT)						
Day (3pm–10pm)	162.30 \pm 91.16	142.53 \pm 1719	134.20	152.70	120.00	188.3
Maximum	1177.39 \pm 2375.34		685.00	859.70	445.50	1245.0
Minimum	42.23 \pm 22.22		49.00	42.42	36.00	56.00
Night (10pm–8am)	103.00 \pm 30.66		99.70	100.50	91.80	108.30
Maximum	476.00 \pm 2278.57		149.00	169.3	141.50	162.00
Minimum	44.25 \pm 21.03		43.00	44.30	33.00	57.50
Day-night (3pm–8am)	128.20 \pm 43.70		116.40	124.60	105.30	140.60
Maximum	1217.35 \pm 2280.36		788.00	907.67	461.50	1365.0
Minimum	37.83 \pm 21.51		42.00	37.54	26.50	52.50

nT: nanoTeslas; V/m: Volts/meter; AM: Arithmetical Mean; SD: Standard Deviation; GM: Geometrical Mean; SDG: Standard Deviation Geometrical; TM: Trimmed mean; p: percentile.

doi:10.1371/journal.pone.0106666.t001

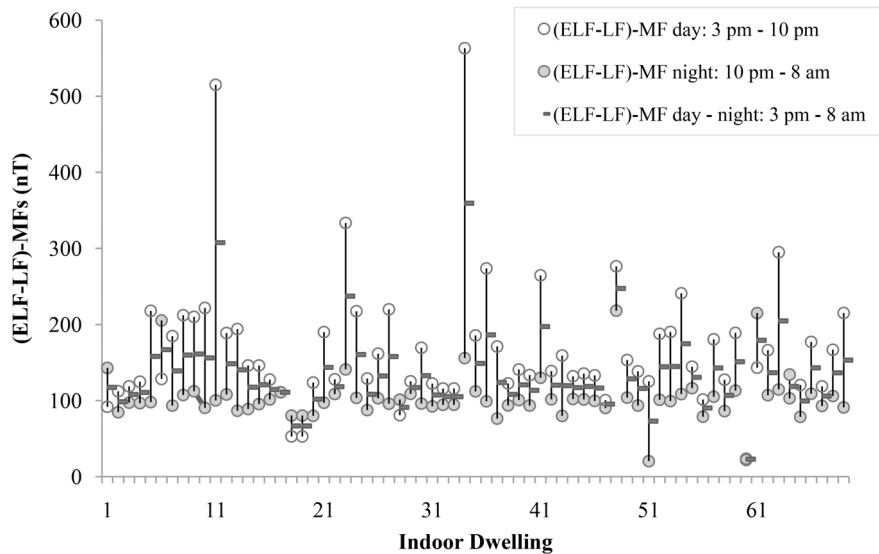


Figure 3. Daytime and nocturnal levels of exposure to extremely low frequency to low frequency magnetic fields [(ELF-LF)-MF].
doi:10.1371/journal.pone.0106666.g003

Day-time measurements (3 pm to 10 pm)

(ELF-LF) Electric field. ELF-LF exposure levels were below the quantification limit of the probe (10 V/m) in 92 dwellings (78.6%). The arithmetic mean \pm SD (ELF-LF)-EF value in the 117 dwellings was 7.31 ± 9.32 V/m (above this mean value in 29.06% of dwellings), and the geometric mean was 2.54 ± 9.30 V/m. The mean maximum value was 16.74 ± 20.51 V/m and mean minimum value was 2.78 ± 4.91 V/m; 25% of measurements were below 1.84 V/m or above 8.58 V/m (Table 1). In the 25 dwellings showing values within the measurement range of the probe, the arithmetic mean value was 22.05 ± 10.52 V/m; 44% of measurements were above this mean, and the maximum value was 47.91 V/m (data not shown). Figure 2A depicts the distribution of ELF-LF values.

(ELF-LF)-Magnetic field. The arithmetic mean \pm SD (ELF-LF)-MF value for the 117 dwellings was 162.30 ± 91.16 nT (above this mean value in 38.46% of dwellings) and the geometric mean value was 142.53 ± 171.9 nT. The mean maximum value was 1177.39 ± 2375.34 nT and the mean minimum value was 42.23 ± 22.22 nT; 25% of the measurements were below 120 nT or above 188.30 nT (Table 1). Values were above the quantification limit of the probe (100 nT) in 108 dwellings (92.31%), which showed an arithmetic mean of 171.9 ± 87.89 nT (data not shown). Figure 2B depicts the distribution of measurements among the 117 dwellings studied.

Nocturnal measurements (10 pm to 8 am)

(ELF-LF) Magnetic field. Nocturnal measurements were only performed for magnetic field values. The arithmetic mean was 103.00 ± 30.66 nT, i.e., 1.6-fold lower than daytime values, with 92% of measurements above the mean value and a geometric mean of 92.11 ± 26.02 nT. The median value was 134.20 nT in the daytime and 99.70 nT at night. Median minimum values were similar between daytime and nocturnal measurements (Table 1). The arithmetic mean for the total exposure period (day plus night) was 128.20 ± 43.70 nT, with 75% of measurements being above 105.30 nT and below 140.60 nT (Table 1). Figure 3 depicts the relationship of exposure to (ELF-LF)-MF between daytime and nocturnal measurements; these data were only available for 69 dwellings due to difficulties in maintaining the battery charge for

the necessary time period (3 pm to 8 am). It can be observed that the variability in measurements was greater during the day than at night, when values appeared to be stable.

Determinants of ELF-LF exposure

Table 2 describes the relationships of (ELF-LF)-EF and (ELF-LF)-MF exposure values with selected covariates. Daytime exposure to (ELF-LF)-EF and nocturnal exposure to (ELF-LF)-MF were significantly higher in urban and semi-urban *versus* rural areas and in apartments *versus* detached or semi-detached houses. The mean daytime (ELF-LF)-EF value was 2.01-fold higher ($p = 0.024$) and the mean nocturnal (ELF-LF)-MF value was 1.02-fold higher ($p = 0.027$) in urban and semi-urban *versus* rural settings.

Daytime (ELF-LF)-MF values were significantly higher ($p = 0.025$) in younger *versus* older dwellings, whereas daytime (ELF-LF)-EF values were significantly higher in older *versus* younger dwellings. Nocturnal (ELF-LF)-MF values were significantly higher ($p = 0.041$) in rooms on the 3rd floor or above (mean \pm SD: 108.80 ± 36.24 nT) *versus* rooms on lower floors (100.80 ± 28.35 nT). No significant differences were found as a function of the time for which the family had occupied the dwelling.

Daytime (ELF-LF)-MF values were significantly higher in the spring/summer than in the autumn/winter ($p = 0.036$). A similar but non-significant tendency was observed for daytime (ELF-LF)-EF and nocturnal (ELF-LF)-MF exposure levels.

Discussion

In this study, we characterized the exposure of children to EFs and MFs of NIR by performing long-term (daytime and nocturnal) measurements in the electromagnetic spectrum (15 Hz to 100 kHz) in the dwellings of children belonging to the INMA-Granada birth cohort. The EF and MF values found were very low, below International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) guideline levels [22–23], and demonstrated a high variability.

As far as we know, the present study is the first to measured children's exposure to long-term (ELF-LF)-EF and (ELF-LF)-MF

Table 2. Summary of exposure to extreme low frequency-low frequency levels by area, type of dwelling, and indoor sources.

	EF (V/m) Day: 3 pm–10 pm					MF (nT) Day: 3 pm–10 pm					MF (nT) Night: 10 pm–8 am							
	n	mean	sd	p25	p75	p	n	mean	sd	p25	p75	p	n	mean	sd	p25	p75	p
Area of residence						0.024						0.100						0.027
Rural	12	3.83	6.24	1.43	2.88		12	136.00	65.13	105.00	178.10		10	100.90	42.23	80.30	98.65	
Urban/semi-urban	105	7.71	9.55	1.89	9.27		104	165.60	93.83	121.90	188.70		59	103.30	28.72	93.60	108.60	
Dwelling						0.005						0.189						0.007
Semi-detached/Attached	71	6.26	9.26	1.62	5.38		70	156.80	89.97	116.70	186.40		36	99.80	32.56	86.30	102.70	
Apartments	46	8.95	9.27	2.77	13.68		46	171.30	94.10	125.10	189.60		33	106.50	28.53	96.40	116.00	
Age of the home						0.072						0.025						0.841
<15 yrs	48	6.48	9.71	1.65	7.37		49	172.60	85.00	123.90	190.10		28	106.90	31.60	93.50	108.20	
≥15 yrs	55	8.20	9.50	2.13	10.11		53	145.60	82.54	115.50	160.40		32	104.00	32.94	88.20	108.60	
Time living						0.732						0.876						0.930
<9 yrs	36	7.25	10.60	1.84	7.37		35	171.80	108.72	121.80	190.00		24	104.20	26.53	93.50	107.40	
≥9 yrs	81	7.34	8.90	1.80	8.97		81	158.60	83.42	118.30	188.30		45	102.30	32.92	89.60	108.30	
Floor number						0.081						0.843						0.041
<3 ^a	92	6.58	8.71	1.77	7.78		91	159.40	80.29	118.70	190.00		50	100.80	28.35	89.90	107.10	
≥3 ^a	25	10.01	11.06	2.25	14.16		25	174.20	125.54	123.60	184.10		19	108.80	36.24	99.70	112.30	
Sources-Devices																		
Television time use																		
≤1 h	26	6.15	9.31	1.71	8.66		26	175.00	61.10	126.2	222.9							
>1 h	90	7.59	9.38	1.89	8.13		90	158.4	98.55	118.0	188.0							
Computer time use						0.774						0.802						
≤1 h	105	7.14	9.39	1.81	7.89		105	164.50	93.83	120.20	189.10							
>1 h	11	8.52	9.23	1.86	19.42		10	136.7	59.53	101.60	185.8							
Electric braziers						0.532						0.395						
No	78	7.48	9.48	2.28	7.73		78	163.10	86.66	118.20	119.10							
Yes	39	6.99	9.10	1.65	10.11		39	160.7	100.72	121.10	157.30							
Radiators						0.967						0.608						0.348
No	65	6.80	8.31	1.81	8.58		64	155.10	71.69	121.30	175.10		61	103.70	31.81	93.50	108.3	
Yes	51	8.08	10.57	1.88	11.57		52	170.00	111.16	118.70	193.10		7	98.70	22.03	84.7	113.2	
Heat-pump/air con						0.409						0.394						0.089
No	46	7.40	8.80	1.98	10.53		44	144.10	57.32	119.10	183.40		54	102.40	34.12	89.90	107.50	
Yes	71	7.26	9.70	1.75	7.84		73	173.30	105.35	120.00	191.50		15	105.10	12.39	9.97	112.30	
Energy-saving lamps						0.666						0.011						0.634
No	40	6.36	6.78	2.43	7.83		35	138.00	79.64	115.70	156.50		28	100.90	28.99	90.80	107.90	
Yes	77	7.81	10.40	1.75	9.88		82	172.70	94.19	122.5	194.80		41	104.40	32.03	92.30	108.70	

Table 2. Cont.

Season	EF (V/m) Day: 3 pm–10 pm				MF (nT) Day: 3 pm–10 pm				MF (nT) Night: 10 pm–8 am					
	n	mean	sd	p	p25	p75	p	sd	n	mean	sd	p25	p75	p
Spring-Summer	66	6.98	8.73	1.98	1.98	7.87	0.852	79.57	65	150.60	79.57	116.60	174.10	0.036
Autumn-Winter	51	7.74	10.10	1.75	1.75	9.25	0.852	103.59	51	177.80	103.59	125.30	201.00	0.036

Air-con: Air-conditioning; mean: arithmetical mean; SD: standard deviation; p25: Percentile 25; p75: Percentile 75; MF: Magnetic field or magnetic induction; EF: electric field; nT: nanoTeslas; V/m: Volts/meter.
doi:10.1371/journal.pone.0106666.t002

within their homes throughout lengthy daytime and nocturnal periods. Various approaches have been used to assess exposure to electromagnetic fields, including spot or long-term measurements, personal exposimetry/dosimeters, and the characterization of exposure based on activities and sources [6,11–17]. These differences hamper the comparison of results among studies.

(ELF-LF)-EF levels were generally below the quantification limit of the probe (10 V/m). Overall exposure (ELF-LF)-EF values were lower than residential values reported in Austria [24,25]. They were within the range of mean values reported in Europe [26] and similar to those recorded in a primary school in northern Spain [11]. However, they were higher than levels recently described by Huang et al. in two primary schools in Guangzhou, China [27].

(ELF-LF)-MF values were above 100 nT in 92.31% of daytime measurements, 63.77% of nocturnal measurements, and 86.96% of overall measurements. Mean residential ELF-MF levels have been reported to range between 25 nT and 70 nT in Europe and between 55 nT and 110 nT in the USA [26,28]. The mean (ELF-LF)-MF values were higher than those described by Tomitsch et al. in Austria [24,25] and by the WHO [26] but in the same order of magnitude as other reports [29–31]. Thus, Brix et al. used personal dosimeters to measure (ELF-LF)-MF exposure in subjects under 18-yr-olds and recorded mean values of 121 ± 170 nT, with 25th and 75th percentiles of 41 nT and 143 nT, respectively, similar to the present findings [29]. Discrepancies among studies may be attributable to differences in sampling strategies and in the localization, height, or orientation of the probe, among other factors.

We distinguished between daytime (3 pm–10 pm) and nocturnal (10 pm–8 am) exposure measured in the living room and child's bedroom, finding that mean (ELF-LF)-MF values were 1.64-fold higher during the day (169 nT) than at night (103 nT). Various authors have reported higher day-time than nocturnal measurements [30–32], although one study [29] found lower exposure during the day (50 nT) than at night (92 nT), which was attributed by the authors to the influence of electric alarm clocks (58 nT without this device).

Mean ELF-LF measurements were higher in dwellings in urban or semi-urban *versus* rural settings, as reported by other authors [25,29,32], although this may be influenced by differences among the types of dwelling in the distinct areas, given that measurements were higher in apartments than in detached houses, also consistent with previous reports [25,29].

Lower values were recorded in spring-summer than in autumn-winter, likely attributable to the greater use of electric heating and/or storage heaters during the colder months. Straume et al. also found differences in mean ELF-MF measurements between the summer (30 nT) and winter (70–80 nT) in public outdoor spaces in Norway [33].

Relationships between ELF-LF levels and specific sources (televisions, computers, heaters, etc.) were not consistent in our study, although a stronger association was observed when multiple domestic electrical and electronic devices were considered together (data not shown).

Study limitations include the relatively small sample size, the lack of data on individual exposure, and the fact that only 21.36% of electric measurements were within the range of the instrument. Moreover, the statistical power of the study was reduced by the application of non-parametric tests, although significance was reached ($p < 0.05$). A study strength is that a single researcher was responsible for measuring levels in all dwellings and for gathering and analyzing all data. In addition, real measurements were analyzed, rather than estimates. The fact that the sample was

drawn from an ongoing birth cohort also opens up the possibility of comparing exposure data with future health outcomes.

Various epidemiological studies have estimated that the risk of leukemia is two-fold higher in children who are exposed at home to ELF-MF levels above 300–400 nT [2–4,34,35]. Studies in 2001 and 2003 found that less than 1% of European children were exposed to residential exposure levels above 400 nT [34]. In the present study, however, daytime exposure reached >400 nT for 3.42% and >300 nT for 9.40% of the children, respectively; while nocturnal exposure was >300 nT for 2.40% of the children, although it never exceeded 400 nT. It should also be taken into account that the ICNIRP reference levels relate to short-term exposure, whereas the present results reflect long-term exposure. Given the greater sensitivity to ELF of children and following the precautionary principle [23,36], preventive measures are warranted to reduce their exposure. One study found that the provision of specific recommendations to reduce field strengths in the home (e.g., unplugging devices not in use) led to a decrease in ELF-EMF exposure levels [24].

Conclusions

This study applied a detailed and accurate measurement protocol to characterize the indoor exposure of children to ELF-

LF electric and magnetic fields at home. Residential exposure levels were below ICNIRP reference levels, but there was a wide variability in mean and maximum values, with 9.4% of the children receiving daytime exposure of >300 nT. There is a need for further studies of long-term exposure and for detailed research on its relationship with health outcomes.

Supporting Information

File S1 Informed consent.
(DOC)

Acknowledgments

The authors are grateful to all participating “INMA families” for their cooperation and thank Richard Davies for editorial assistance.

Author Contributions

Conceived and designed the experiments: MFF NO. Performed the experiments: IC. Analyzed the data: IC. Contributed reagents/materials/analysis tools: MIN NO MFF. Contributed to the writing of the manuscript: IC MFF. In charge of field activities (recruitment of children in follow-ups, questionnaire and data basis): CDA OOH RPL RR FAC NO MIN.

References

- Repacholi M (2012) Concern that “EMF” magnetic fields from power lines cause cancer. *Science of the Total Environment* 426: 454–458.
- Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, et al. (2000) A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *British Journal of Cancer* 83: 692–698.
- Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA, et al. (2000) A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Epidemiology* 11: 624–634.
- Kheifets L, Ahlbom A, Crespi C, Draper G, Hagihara J, et al. (2010) Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia. *British Journal of Cancer* 103: 1128–1135.
- IARC-International Agency for Research on Cancer Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (2002) Non ionizing radiation, Part 1: static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. IARC Press, Lyon. Available: <http://www.iarc.fr/>. Accessed 2014 Mar 7.
- Bürgi A, Frei P, Theis G, Mohler E, Braun-Fahrlander C, et al. (2010) A model for radiofrequency electromagnetic field predictions at outdoor and indoor locations in the context of epidemiological research. *Bioelectromagnetics* 31: 226–236.
- Vistnes AI (2001) Electromagnetic fields at home. In: D Brune, R Hellborg, BRR Persson, R Paakkönen editors. *Scandinavian Science Publisher. Radiation at Home, Outdoors and in Workplace*. pp : 286–306.
- WHO-World Health Organization (2004) Electromagnetic fields (EMF). Summary of health effects. Available: www.who.int/peh-emf/about/whatisEMF/en/index1. Accessed 2014 Jan 16.
- Palmquist E, Claeson AS, Neely G, Stenberg B, Nordin S (2014) Overlap in prevalence between various types of environmental intolerance. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 217: 427–434.
- Ribeiro E, Saint-Lezer A, Julliot-Roland L, Mercié P, Longy-Boursier M (2012) Lipoatrophia semicircularis: A case report. *La Revue de Médecine Interne* 33: 41–43.
- Alonso A, Bahillo A, de la Rosa R, Carrera A, Durán R, et al. (2012) Measurement procedure to assess exposure to extremely low-frequency fields: a primary school case study. *Radiation Protection Dosimetry* 151: 426–436.
- Frei P, Mohler E, Bürgi A, Fröhlich J, Neubauer G, et al. (2010) Classification of personal exposure to radio frequency electromagnetic fields (RF-EMF) for epidemiological research: Evaluation of different exposure assessment methods. *Environment International* 36: 714–720.
- Heinävaara S, Tokola K, Kurttio P, Auvinen A (2011) Validation of exposure assessment and assessment of recruitment methods for a prospective cohort study of mobile phone users (COSMOS) in Finland: a pilot study. *Environmental Health* 10: 14.
- Lauer O, Neubauer G, Röösl M, Riederer M, Frei P, et al. (2012) Measurement setup and protocol for characterizing and testing radio frequency personal exposure meters. *Bioelectromagnetics* 33: 75–85.
- Neskovic N, Koprivica M, Neskovic A, Paunovic G (2012) Improving the efficiency of measurement procedures for assessing human exposure in the vicinity of mobile phone (GSM/DCS/UMTS) base stations. *Radiation Protection Dosimetry* 149: 238–244.
- Vulević B, Belić Č, Stalevski T (2012) In-situ measurements of electric, magnetic and electromagnetic fields in the environment. The First International Conference on Radiation and Dosimetry in various fields of research 1–4.
- Rudant J, Orsi L, Menegaux F, Petit A, Baruchel A, et al. (2010) Childhood acute leukemia, early common infections, and allergy: The ESCALE Study. *American Journal of Epidemiology* 172: 1015–1027.
- Teepen JC, van Dijk JA (2012) Impact of high electromagnetic field levels on childhood leukemia incidence. *International Journal of Cancer* 131: 769–778.
- Guxens M, Ballester F, Espada M, Fernández MF, Grimalt JO, et al. (2012) Cohort profile: the INMA-“Infancia y Medioambiente” (Environment and Childhood) project. *International Journal of Epidemiology* 41: 930–940.
- Freire C, Abril A, Fernández M, Ramos R, Estarlich M, et al. (2009) Urinary 1-hydroxypyrene and PAH exposure in 4-year-old Spanish children. *Science of the Total Environment* 407: 1562–1569.
- Guideline of the Austrian Medical Association for the diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses (EMF syndrome). Available: <http://www.magdahavas.com/wordpress/wp-content/uploads/2012/06/Austrian-EMF-Guidelines-2012.pdf>. Accessed 2014 Jul 25.
- ICNIRP-International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (1998) Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (Up to 300 GHz). *Health Physics* 74(4): 494–522.
- ICNIRP-International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (2010) Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health Physics* 99: 818–836.
- Tomitsch J, Dechant E (2011) Trends in residential exposure to electromagnetic fields from 2006 to 2009. *Radiation Protection Dosimetry* 149: 384–391.
- Tomitsch J, Dechant E, Frank W (2010) Survey of electromagnetic field exposure in bedrooms of residences in lower Austria. *Bioelectromagnetics* 31: 200–208.
- WHO-World Health Organization (2007) Extremely low frequency fields. *Environmental Health Criteria*, Vol. 238. Available: http://www.who.int/peh-emf/publications/elf_ehc/en/index.html. Accessed 2014 Feb 3.
- Huang J, Tang T, Hu G, Zheng J, Wang Y, et al. (2013) Association between Exposure to Electromagnetic Fields from High Voltage Transmission Lines and Neurobehavioral Function in Children. *PLoS ONE* 8: e67284.
- Grellier J, Ravazzani P, Cardis E (2014) Potential health impacts of residential exposures to extremely low frequency magnetic fields in Europe. *Environment International* 62: 55–63.
- Brix J, Wettemann H, Scheel O, Feiner F, Matthes R (2001) Measurement of the individual exposure to 50 and 16 2/3 Hz magnetic fields within the Bavarian population. *Bioelectromagnetics* 22: 323–332.
- Röösl M, Jenni D, Kheifets L, Mezei G (2011) Extremely low frequency magnetic field measurements in buildings with transformer stations in Switzerland. *Science of the Total Environment* 409: 3364–3369.
- Valič B, Kos B, Gajšek P (2014) Typical exposure of children to EMF: Exposimetry and Dosimetry. *Radiation Protection Dosimetry*: 1–11.
- Foliart DE, Iriye RN, Silva JM, Mezei G, Tarr KJ, et al. (2002) Correlation of year-to-year magnetic field exposure metrics among children in a leukemia

- survival study. *Journal of Exposure Analysis & Environmental Epidemiology* 12: 441–447.
33. Straume A, Johnsson A, Ofstedal G (2008) ELF-magnetic flux densities measured in a city environment in summer and winter. *Bioelectromagnetics* 29: 20–28.
 34. Experts' Committee of Electromagnetic Fields and Public Health in our setting (2001 and 2003). Ministry of Health, Spain.
 35. BioInitiative Working Group (2012) BioInitiative Report: A Rationale for a Biological-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF). Available: <http://www.bioinitiative.org>. Accessed 2014 Mar 5.
 36. Kundi M, Hardell L, Sage C, Sobel E (2009) Electromagnetic fields and the precautionary principle. *Environmental Health Perspectives* 117: A484–A485

4.2. Caracterización de la exposición en el exterior de las viviendas (RF):

Outdoor characterization of radio frequency electromagnetic fields of non-ionizing radiation in a Spanish birth cohort

Elsevier Editorial System(tm) for Environmental Research
Manuscript Draft

Manuscript Number: ER-14-904R2

Title: Outdoor characterization of radio frequency electromagnetic fields in a Spanish birth cohort

Article Type: Research Paper

Section/Category: Exposure

Keywords: exposure assessment method, children, electromagnetic fields, radiofrequency, non-ionizing radiation

Corresponding Author: Dr. María Isabel Núñez, Ph.D.

Corresponding Author's Institution: Radiology and Medical Physics. University of Granada

First Author: Irene Calvente, PhD student

Order of Authors: Irene Calvente, PhD student; Mariana Fátima Fernández, Dr; Rocío Pérez-Lobato, PhD student; Cristina Dávila-Arias, Dr; Olga Ocón, Dr; Rosa Ramos, Dr; Sandra Ríos-Arrabal, Dr; Juan Villalba-Moreno, Dr; Nicolás Olea, Dr; María Isabel Núñez, Ph.D.

Abstract: There is considerable public concern in many countries about the possible adverse effects of exposure to non-ionizing radiation electromagnetic fields, especially in vulnerable populations such as children. The aim of this study was to characterize environmental exposure profiles within the frequency range 100 kHz - 6 GHz in the immediate surrounds of the dwellings of 123 families from the INMA-Granada birth cohort in Southern Spain, using spot measurements. The arithmetic mean root mean-square electric field (ERMS) and power density (SRMS) values were, respectively, 195.79 mV/m (42.3% of data were above this mean) and 799.01 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (30% of values were above this mean); median values were 148.80 mV/m and 285.94 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, respectively. Exposure levels below the quantification limit were assigned a value of 0.01 V/m. Incident field strength levels varied widely among different areas or towns/villages, demonstrating spatial variability in the distribution of exposure values related to the surface area population size and also among seasons. Although recorded values were well below International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection reference levels, there is a particular need to characterize incident field strength levels in vulnerable populations (e.g., children) because of their chronic and ever-increasing exposure. The effects of incident field strength have not been fully elucidated; however, it may be appropriate to apply the precautionary principle in order to reduce exposure in susceptible groups.

Highlights:

1. Spot measurements were performed in the immediate surrounds of children's dwellings.
2. Mean root mean-square electric field and power density values were calculated.
3. Most recorded values were far below international standard guideline limits.
4. Data demonstrate spatial variability in the distribution of exposure levels.
5. While adverse effects are proven, application of the precautionary principle may be appropriate.

Title: Outdoor characterization of radio frequency electromagnetic fields in a Spanish
birth cohort

Calvente I^{1,2}, Fernández MF^{1,2,3}, Pérez-Lobato R¹, Dávila-Arias C¹, Ocón O¹, Ramos
R¹, Ríos-Arrabal S^{1,2}, Villalba-Moreno J³, Olea N^{1,2,3}, Núñez MI^{1,2,3,4*}

¹ Unit Research Support of the San Cecilio University Hospital. Biosanitary Institute of
Granada (ibs.GRANADA). University hospitals of Granada/University of Granada,
Granada, Spain

² Department of Radiology and Physical Medicine, School of Medicine, University of
Granada

³ CIBER en Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP), Spain

⁴ Biopathology and Regenerative Medicine Institute (IBIMER). University of Granada

***Corresponding author:** María Isabel Núñez

Department of Radiology and Physical Medicine, University of Granada, Av. Madrid
s/n, Granada 18071, Spain.

Phone: +34 958 242077; Fax: +34 958 249953

E-mail: isabeln@ugr.es

Short title: Exposure to radiofrequency in a birth cohort

Word count: (excluding abstract and references): 3706

1
2 **Abstract**
3
4
5
6

7 There is considerable public concern in many countries about the possible adverse
8 effects of exposure to non-ionizing radiation electromagnetic fields, especially in
9 vulnerable populations such as children. The aim of this study was to characterize
10 environmental exposure profiles within the frequency range 100 kHz - 6 GHz in the
11 immediate surrounds of the dwellings of 123 families from the INMA-Granada birth
12 cohort in Southern Spain, using spot measurements. The arithmetic mean root mean-
13 square electric field (E_{RMS}) and power density (S_{RMS}) values were, respectively, 195.79
14 mV/m (42.3% of data were above this mean) and 799.01 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (30% of values were
15 above this mean); median values were 148.80 mV/m and 285.94 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, respectively.
16 Exposure levels below the quantification limit were assigned a value of 0.01 V/m.
17 Incident field strength levels varied widely among different areas or towns/villages,
18 demonstrating spatial variability in the distribution of exposure values related to the
19 surface area population size and also among seasons. Although recorded values were
20 well below International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection reference
21 levels, there is a particular need to characterize incident field strength levels in
22 vulnerable populations (e.g., children) because of their chronic and ever-increasing
23 exposure. The effects of incident field strength have not been fully elucidated; however,
24 it may be appropriate to apply the precautionary principle in order to reduce exposure in
25 susceptible groups.
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54

55 **Keywords:** exposure assessment method, children, electromagnetic fields,
56 radiofrequency, non-ionizing radiation
57
58
59
60
61
62

1. Introduction

The population is exposed to multiple sources of electromagnetic fields (EMF) of non-ionizing radiation (NIR) in a wide range of frequencies that go beyond radiofrequencies (RFs). This exposure has considerably increased over recent decades due to the generation of artificial electromagnetic fields from power stations, radio, radar, television, computers, mobile phones, microwave ovens, and numerous devices used in medicine and industry. These technological advances have aroused concerns about the potential health risks associated with unprecedented levels of electromagnetic fields. EMFs have been found to exert effects at experimental level and in laboratory assays (Artacho-Cordón et al., 2013), but there is less information from epidemiological studies (Hardell et al., 2011; INTERPHONE, 2010; Li et al., 2002) . The recent boom in mobile communication has increased concerns about the effects of radio frequency electromagnetic fields (RF-EMF), prompting evaluation of different exposure assessment methods (Ayanda et al., 2012; Aydin et al., 2012; Beekhuizen et al., 2014; IARC, 2011; Lauer et al., 2012; Neskovic et al., 2012) and epidemiological research on their contribution to detrimental health effects. Proposed effects include brain tumors (Li et al., 2002), neurodegenerative diseases (Kesari et al., 2013), behavioral problems (Thomas et al., 2010), and psychosocial disorders (Sansone and Sansone, 2013), among other illnesses and biological alterations, although none of these effects have been definitively established (Juutilainen et al., 2011). In 2011, the International Agency for Research on Cancer (IARC) classified RF-EMFs as a possible human carcinogen (category 2B), based on the increased risk of glioma (type of malignant brain cancer) and acoustic neuroma (benign tumor on the nerve connecting the ear to the brain), both associated with the use of cell phones (IARC, 2011). Besides mobile communication, the increasingly widespread sources of EMFs include those from Wi-Fi, WLANs,

1 Bluetooth, and applications related to advanced transport and data communication
2 technologies (Foster and Moulder, 2013).
3

4 Attention has focused on the risks to children and adolescents because of their high use
5 of mobile phones and other new technologic devices (e.g., tablets), which may be
6 especially detrimental during critical phases of growth and development. The nervous
7 system is considered particularly sensitive, due to its bioelectric properties (Huang et
8 al., 2013; Saunders and Jefferys, 2007). Wiedemann and Schütz recently reviewed
9 epidemiological and experimental studies on the effects of RF-EMF exposure in
10 children and on their nervous system and cognitive capacity, revealing no or only scant
11 evidence that RF-EMF exposure poses a hazard to this population (Wiedemann and
12 Schütz, 2011). However, other authors have claimed that effects previously attributed to
13 RF-EMFs may be the result of confounding factors (de Vocht et al., 2011; Hareuveny et
14 al., 2011; Heinrich et al., 2010; Söderqvist et al., 2011). In fact, very few scientific data
15 are available on the effects on human health of EMF-NIR exposure in the range of RF-
16 EMFs. Most derive from epidemiological studies with an ecological design, comparing
17 leukemia incidence rates among different populations and using aggregated data on
18 exposure and disease rather than individual data (Calvente et al., 2010).
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40

41 In order to improve our knowledge on the effects of RF-EMF exposure in children, it
42 would first be useful to establish exposure profiles for different child populations. For
43 this reason, the aim of this study was to determine total environmental levels of incident
44 field strength within the 100 kHz to 6 GHz frequency range in the immediate surrounds
45 of the dwellings of a birth cohort in Southern Spain.
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

2. Materials and methods

2.1 Study Population

The recruitment and characteristics of the study population were previously reported (Calvente et al., 2014). Briefly, the study sample was drawn from the “Environment and Childhood Research Network” (INMA network), a population-based study in seven regions of Spain, which aims to explore the role of environmental pollutants in air, water, and diet during pregnancy and early childhood in relation to child growth and development. INMA is a large prospective cohort of families living in different socio-economic and environmental areas of Spain. The INMA study protocol includes medical follow-ups of the children from birth through childhood as well as epidemiological questionnaires and biological sample collections (Guxens et al., 2012). The INMA-Granada cohort was established between 2002 and 2007, enrolling eligible mother–son pairs at delivery in the San Cecilio University Hospital of Granada (province in Southern Spain). The inclusion and exclusion criteria were published elsewhere (Freire et al., 2009). When the children reached 9-10 years of age (2011-2012), all families in the cohort (n=700) were contacted and invited to participate in a new follow-up. A total of 300 boys were finally enrolled, and their families again completed an *ad hoc* questionnaire on their home environment, including a specific RF-EMF questionnaire. The present study included the 123 families whose outdoor RF-EMFs were measured.

2.2 Study area

The setting of the INMA-Granada study is the health district of the San Cecilio University Hospital, an area of 4000 km² with a total population of 512,000 inhabitants, including part of the city of Granada (236,000 inhabitants) and 50 towns and villages.

1 Three areas of residence were differentiated: a) urban areas, corresponding to the city of
2 Granada and towns with more than 20,000 inhabitants, b) semi-urban areas, towns with
3 10,000–20,000 inhabitants in the surrounding metropolitan area, and c) rural areas:
4 villages with less than 10,000 inhabitants. In the present study, children were selected
5 from 16 towns and villages; 9.8% of households were in rural areas, 45.5% in semi-
6 urban areas, and 44.7% in urban areas. Rural and semi-urban areas were grouped
7 together because they shared similar features in terms of the number of emission sources
8 and frequency ranges. Thus, the number of substations/antennas (bands) never exceeded
9 one in the semi-urban or rural areas, whereas more than two were always observed in
10 the urban areas. Figure 1 depicts a map showing the localization of the 123 dwellings
11 studied, divided between the eastern and western sectors of the province.
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28

29 2.3 Equipment

30 Measurements were carried out using a TS/001/UB Taoma base unit (Tecnoservizi,
31 Rome, Italy) with a TS/004/EHF isotropic electric field probe. The frequency range
32 analyzed was from 100 kHz to 6 GHz. This equipment allows the measurement of
33 overall electric field strength in the specified frequency range and offers the possibility
34 of changing the unit of measurements from electric field E (V/m) to magnetic field H
35 (A/m) or power density S (W/m^2 or mW/cm^2) values. The measurement range was from
36 0.2 V/m to 340V/m, and the quantification limit was 0.2V/m (for the sum of all
37 frequencies), well below even the most cautious guideline levels. The probe
38 incorporated a GPS module and was equipped with sensors for recording temperature
39 and humidity. During the study period, the average diurnal temperature ranged between
40 13.1 °C and 42.2 °C and the relative humidity between 20.5% and 52.4%. The probe,
41 connected to the base unit, was placed on an insulating tripod at a mean distance of 2
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1 meters from the child's dwelling under study at a height of 1.45 m, i.e., between head
2 and chest level for the average height of the children, in accordance with IEEE
3 recommendations (IEEE, 1987).
4
5
6
7
8

9 2.4 Band frequencies

10 The most important sources of RF-EMF exposure for the general public are within the
11 frequency range measured in this study (100 kHz to 6 GHz). Table 1 shows the different
12 frequency bands and sources used by: the Global System for Mobile Communication
13 (GSM), including GSM 900 (925-960 MHz) and GSM 1800 (1805-1880 MHz); Digital
14 Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) (1880-1900 MHz); Universal Mobile
15 Telecommunications System (UMTS) (2110-2170 MHz); and the Industrial Medical
16 and Scientific (IMS) band 2400 (2400, 2400-2483.5 MHz).
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27

28 Base station antennae were the main sources of EMF exposure that explained
29 differences among the study areas, but other possible sources, such as wireless
30 communication systems, cannot be ruled out. The arithmetic mean distance \pm standard
31 deviation of the investigated dwellings from mobile phone base stations emitting GSM
32 900 and GSM 1800 was 660.87 ± 717.48 m. This distance was less than 500 m for 50%
33 of the dwellings; the minimum distance was 35 m and the maximum was 5000 m.
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45

46 2.5 Measurements

47 Spot electric field measurements were performed in wideband mode between 2 pm and
48 4 pm, recording the average measurement at each point during 6-min periods according
49 to national guidelines (1066/2001Decreto Real). All measurements were performed in
50 2012 and 2013 and were considered to correspond to a far-field regime and free space.
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1 were taken every 1s while the measuring system was stationary. The standard
2 uncertainty of the measurements due to instrumentation (15%) was determined
3 following EA-4/02. Exposure levels below the quantification limit were assigned a
4 value of 0.01 V/m.
5
6
7

8
9 The average, root mean-square (RMS), maximum, and minimum magnitudes of electric
10 field (E), magnetic field (H), magnetic induction (B) and power density (S) were
11 calculated from the direct measurements using the equations shown in Table 2. RF-
12 EMFs are habitually given in E and S, but the H and B magnitudes are also of interest
13 due to their interaction with biological systems.
14
15
16
17
18
19
20
21
22

23 2.6 Covariates

24 Data were gathered on the area of residence (rural/semi-urban and urban), surface area
25 (km²), population size (inhabitants), and season (spring/summer and autumn/winter).
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

66 2.7 Statistical analyses

67 Descriptive statistics of spot measurements were obtained for all locations, yielding
68 average, RMS, geometric mean, minimum, and maximum E, H, B, and S values.
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

1 nonparametric Mann-Whitney U test (Hettmansperger et al., 1998). $P \leq 0.05$ was
2 considered statistically significant.
3
4
5
6

7 **3. Results**

8
9 Table 3 exhibits the total RF-EMFs in the 100 kHz-6 GHz frequency range for the 123
10 dwellings. Figure 2 depicts the RMS and maximum values for E and S in comparison to
11 the reference levels (ICNIRP, 1998), including the quantification limit of the probe.
12
13

14 The arithmetic mean $E_{RMS} \pm$ standard deviation was 195.79 ± 130.81 mV/m (42.28% of
15 dwellings were above this mean and above the quantification limit [200 mV/m]), and
16 the median was 148.80 mV/m. The maximum E_{RMS} value was 684.10 mV/m; 75% of
17 measurements were above 91.14 mV/m and 75% below 262.37 mV/m. The maximum
18 E_{max} value was 7520.00 mV/m. The arithmetic mean S_{RMS} was 799.01 ± 1391.54
19 $\mu\text{W}/\text{m}^2$; 30% of the values were above this mean. The median S_{RMS} value was 285.94
20 $\mu\text{W}/\text{m}^2$. Maximum S_{RMS} and S_{max} values were $11559.55\mu\text{W}/\text{m}^2$ and 150001.06
21 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, respectively. The relationship between the exposure levels observed (E_{RMS} ,
22 E_{max} , S_{RMS} , S_{max} values) and ICNIRP reference guidelines is depicted in Figure 2. For
23 example, E_{max} values were between 8- and 60-fold lower and S_{max} values were
24 between 62- and 500-fold lower than the reference values. All results were below
25 guideline levels for exposure of the general public.
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47

48 **3.1 RF exposure according to covariates**

49 Table 4 describes the main results for the relationship of E, H, B, and S exposure values
50 with selected covariates. The arithmetic mean of E_{RMS} and S_{RMS} values were,
51 respectively, 229.23 ± 174.14 mV/m and 131.31 ± 1703.44 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ for the rural area;
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

183.78 ± 121.13 mV/m and 648.90 ± 976.30 μW/m² for the urban area (data not shown). Statistically significantly higher minimum E, H, B, and S (E_{min}, H_{min}, B_{min} and S_{min}) values but not maximum S values (S_{max}) were observed in urban *versus* rural/semi-urban areas. Thus, the median S_{max} value was ≥ 2-fold higher in rural/semi-urban (4278.25 μW/m²) *versus* urban areas (1655.44 μW/m²), and the mean S_{max} was 10333.23 μW/m² in rural/semi-urban areas *versus* 7137.94 μW/m² in urban areas (p=0.028). The values also statistically significantly differed as a function of the surface area; for example, the mean E_{min} value was 22.67 ± 12.60 mV/m for areas of ≤ 39.90 Km² and 41.20 ± 49.69 mV/m for areas of > 39.90 Km² (p = 0.004). With regard to population size, E_{avg}, S_{avg}, and S_{RMS} values were statistically significantly higher in areas with > 2031 inhabitants *versus* ≤ 2031 inhabitants: the mean E_{avg} was 1.20-fold higher (p=0.051); the mean S_{avg} value was nearly 1.47-fold higher (p=0.045); and the mean S_{RMS} was 1.63-fold higher, although this difference was only borderline significant (p=0.053).

No differences in exposure measurements were observed among the seasons, with the exception of a 1.66-fold higher mean S_{min} value in autumn-winter (39.29 μW/m²) *versus* spring-summer (23.71 μW/m²), (p value= 0.054) and an almost 7-fold higher E_{min} value in autumn-winter than in spring-summer (p value= 0.079).

Figure 3 illustrates the variability in RMS E and S values among the different study areas. Nine areas were below electric field quantification limits, while 7 areas were within the range measured by the probe. Pairwise comparisons of mean values showed statistically significant differences (p ≤ 0.05) in E_{RMS} and S_{RMS} values. The highest (324.03 mV/m) and lowest (109.39 mV/m) E_{RMS} values corresponded to rural areas (Belicena and La Malahá-Escúzar, respectively). The highest S_{RMS} value (2372.53

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

$\mu\text{W}/\text{m}^2$) was detected in a rural area and the lowest ($134.07\mu\text{W}/\text{m}^2$) in a semi-urban area, which were in opposite sectors of the study area.

4. Discussion

This study describes the results of spot measurements of environmental RF-EMF exposure within the 100 kHz to 6 GHz frequency range immediately outside the dwellings of 123 families in a Spanish birth cohort. These findings demonstrate a wide spatial variability in the distribution of incident field strength values (E_{RMS} , E_{MAX} , S_{RMS} , S_{MAX}). Exposure levels were found to vary considerably among different areas or towns/villages, and these differences may be related to certain determinants of exposure, including the surface area, population size, and the season in which the measurements were recorded. Moreover, the exposure levels may be influenced by the type of mounting of the base stations/antennae (e.g., on rooftop, telecommunication mast, or at ground level, etc.) and by the number of sources in the region. The exposure can also be strongly modified through absorption and reflection by buildings and obstacles, which depends on the frequency and angle of incidence of the wave and on the material, thickness, and coating/sheathing of the obstacle (Bürge et al., 2010).

The present findings are within the range of electromagnetic field exposure levels in Europe (Gajšek et al., 2013), and all RF-EMF values were several orders below the ICNIRP guideline limit recommended for the general population (ICNIRP, 1998). It has been reported that the average level of exposure to RF-EMFs of the European general population ranges between 0.08 V/m and 1.8 V/m, consistent with our results (Gajšek et al., 2013). However, comparisons are complicated by differences in the exposure assessment conditions, study designs, frequency ranges, and time periods. In addition,

1 many reports have focused on power density magnitude, and few data are available on
2 exposure to electric fields.
3

4 The main methods used for RF-EMF assessment include spot measurements and long-
5 term measurements with personal or portable exposimeters (Bolte and Eikelboom,
6 2012; Frei et al., 2010a; Gajšek et al., 2013; Joseph et al., 2012; Tell et al., 2013). Our
7 spot results showed a total mean of 0.12 V/m for the frequency range analyzed, in line
8 with findings by Bürgi et al. (0.37 V/m) in a set of 113 street locations in Basel,
9 Switzerland (Bürgi et al., 2010) and by Rufo et al. (0.17 V/m) at 18 outdoor points in
10 another region of Spain (Rufo et al., 2011). Spot measurements were also used to
11 characterize RF exposure at 40 locations in the English city of Reading in 2011 (Joseph
12 et al., 2012), finding values around 8-fold higher than the present measurements (0.93
13 V/m), while electric field strengths ranging from $5.4 \cdot 10^{-4}$ to $7.4 \cdot 10^{-8}$ V/m were described
14 in the vicinity of 20 FM radio stations in Accra, Ghana (Azah et al., 2013).
15
16

17 It is also difficult to compare the results of measurements made using personal
18 dosimeters, which tend to underestimate the exposure (Neubauer et al., 2010). In
19 France, the results of a population-based survey of individual RF exposure yielded a
20 mean total EF value of 0.201 V/m (Viel et al., 2011), similar to the mean EF exposure
21 of 0.26 V/m observed in the Netherlands (Bolte and Eikelboom, 2012). Valič et al.
22 evaluated the individual exposure of 21 children (< 17 yrs), using portable
23 exposimeters, and reported maximum exposure levels of 0.38V/m for DECT, 0.13 V/m
24 for Wi-Fi, and 0.26 V/m for GSM base stations (Valič et al., 2014), considerably lower
25 than the Emax of 7.52 V/m obtained in the present study.
26
27

28 The mean Savg values were lower but the median Savg values higher than those
29 reported by Tomitsch et al. in the bedrooms of Austrian residences (median of $407.08 \pm$
30 $2132.3 \mu\text{W}/\text{m}^2$ versus $156.87 \pm 206.64 \mu\text{W}/\text{m}^2$ (Tomitsch and Dechant, 2012; Tomitsch
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52

1 et al., 2010). These discrepancies in RF findings may be attributable to the use of a
2 spectrum analyzer by Tomitsch et al. *versus* our wideband measurements for the total
3 frequency range from 100 kHz up to 6 GHz. Other studies using a spectrum analyzer
4 have also shown higher values than ours in West Bank-Palestine (Lahham and
5 Hammash, 2011). A study by Rufo et al. in Spain reported 4-fold higher mean values
6 (761 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ vs. 156.87 $\mu\text{W}/\text{m}^2$) but similar median values (70.8 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ vs. 66.23
7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$) in comparison to the present study (Rufo et al., 2011). Much higher values than
8 in our study were observed by Joseph et al. for total exposure due to mobile
9 telecommunication signals (Joseph et al., 2012). Frei et al. used exposimeters and
10 obtained an average of 130 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, slightly lower than our findings (Frei et al., 2010b).
11
12 In the present study, higher exposure values were generally observed in urban *versus*
13 rural/semi-urban areas, and there were also differences between towns/villages in the
14 same area (table 4, figure 3), similar to the findings of other studies (Bürge et al., 2010;
15 Estenberg and Augustsson, 2013; Rufo et al., 2011; Tomitsch et al., 2010). The mean
16 distance from mobile antennas was shorter and the number of mobile antenna and Wi-Fi
17 networks larger in urban than in rural/semi-urban areas. The variation in exposure
18 values may also be attributable to the distinct characteristics of these areas, including
19 differences in the heights of buildings and in the relative proportion of green spaces and
20 pedestrian zones.
21
22

23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

Other factors that influence spot measurements of exposure include reflection or interference and the timing of recordings (daytime vs. nighttime, season, etc.) (Bolte and Eikelboom, 2012; Bürge et al., 2010; Estenberg and Augustsson, 2013). Thus, the mean Emin in our study was 8-fold higher in autumn-winter (15.25 ± 80.19 mV/m) than in spring-summer (1.86 ± 1.55 mV/m, $p = 0.079$), and a similar seasonal difference was also found for Smin values (39.29 ± 49.92 mV/m vs. 23.71 ± 11.94 mV/m, respectively;

1 p =0.054).We have found no studies on RF that analyze the seasonal factor. In our
2 study, minimum exposure values (E_{min}, H_{min} and S_{min}) were statistically
3 significantly higher for larger *versus* smaller surface areas. Differences in E_{avg}, S_{avg},
4 and S_{RMS} were also found as a function of population size (above *vs.* below median size:
5 p=0.051, p=0.045 and p=0.053, respectively). Other authors found that S_{avg} values
6 were lower in small towns and increased with greater population size in medium and
7 large towns (Estenberg and Augustsson, 2013; Rufo et al., 2011). We observed a similar
8 trend for E_{RMS}, H_{avg}, and B_{avg} values in relation to population size.

9 Questions have been raised about the adequacy of current guidelines on exposure limits,
10 with suggestions that distinct approaches are required for different scenarios (Vecchia,
11 2005). The ICNIRP Guidelines for RF-EMF exposure are based on thermal effects
12 alone and take no account of possible non-thermal effects. Recent findings from animal
13 and *in vitro* studies have shown specific a thermal effects, including the disturbance of
14 cell proliferation by RF/MW radiation, leading to cell differentiation in the bone
15 marrow. There have also been reports of a thermal modifications of human skin blood
16 flow during mobile phone radiofrequency exposure (BioInitiative report, 2012; Trošić et
17 al., 2012; Loos et al., 2013). Particular concern has been voiced about the potential
18 consequences for children of prolonged exposure (BioInitiative report, 2012;
19 Vijayalaxmi and Scarfi, 2014; Wiedemann and Schütz, 2011).

20 Our study has several limitations. The sample size is relatively small, and the studied
21 zones, which were selected to exemplify rural, urban, and semi-urban areas, do not fully
22 represent the birth cohort study area. Furthermore, non-parametric tests were used,
23 which can reduce the statistical power, although significance was reached ($p \leq 0.05$) A
24 study strength is that the entire process was conducted by the same researcher (I.C.),
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1 including the programming, measurement, and analysis, reducing the potential
2 variability in measurements and improving the comparability of results.
3
4
5

6 7 **5. Conclusion**

8
9 This study demonstrates a wide spatial variability in the distribution of incident field
10 strength values (E_{RMS} , E_{max} , S_{RMS} , S_{max}). Levels of incident field strength at high
11 frequencies statistically significantly varied between urban and semi-urban/rural areas
12 and as a function of surface area, population size, and season, consistent with previous
13 reports. Reasons for this variability may include additional sources of radiation in urban
14 areas or differences in the power of sources or in the type of antenna mounting (rooftop,
15 mast, or other), among other factors. Although the values recorded were far below
16 ICNIRP reference levels, there is a particular need to characterize incident field strength
17 levels in vulnerable populations, such as children, given their chronic and increasing
18 exposure. A possible underestimation of incident field strength due to absorptive,
19 damping, and reflective effects should also be taken into account. Although a causal
20 relationship has not been established, expert groups and health authorities (Vijayalaxmi
21 and Scarfi, 2014) have recommended a reduction in exposure levels due to the suspicion
22 of potential hazardous effects, following the precautionary principle. Application of this
23 principle was endorsed by the WHO [2007] for the implementation of low cost methods
24 to reduce certain aspects of this exposure.
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47

48 **Acknowledgements**

49 The authors are grateful to all participating “INMA families” for their cooperation and
50
51 to Richard Davies for editorial assistance.
52
53

54 **Conflict of interest**

55 The authors declare no conflict of interest.
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

References

- 1
2
3
4 1066/2001 Decreto Real, Real Decreto 1066/2001. Royal Decree 1066/2001 of 28
5
6
7 September, approving the regulation that sets out conditions of protection of
8
9 the public radio-electrical domain, restrictions on radio-electrical emissions, and
10
11 the health protection measures against radio-electrical emissions. B.O.E. no. 234, 29
12
13 september 2001.
14
15
16
17 Artacho-Cordón, F., Salinas-Asensio, M.M., Calvente, I., Ríos-Arrabal, S., León, J.,
18
19 Román-Marinetto, E., Olea, N., Núñez, M.I., 2013. Could radiotherapy
20
21 effectiveness be enhanced by electromagnetic field treatment? *Int J Mol Sci.* 14,
22
23 14974-14995.
24
25
26
27 Ayanda, O. S., Baba, A.A., Ayanda, O.T., 2012. Use of Mobile Phones and Cancer
28
29 Risk. *Asian Pac J Cancer Prev.* 13, 403-406.
30
31
32 Aydin, D., Feychting, M., Schüz, J., Rössli, M., 2012. Childhood brain tumours and use
33
34 of mobile phones: comparison of a case-control study with incidence data.
35
36 *Environ Health.* 11, 35.
37
38
39 Azah, C., Amoako, J.K., Fletcher, J.J., 2013. Levels of electric field strength within the
40
41 immediate vicinity of FM radio stations in Accra, Ghana. *Radiat Prot*
42
43 *Dosimetry.* 156, 395-400.
44
45
46
47 Beekhuizen, J., Kromhout, H., Bürgi, A., Huss, A., Vermeulen, R., 2014. What input
48
49 data are needed to accurately model electromagnetic fields from mobile phone
50
51 base stations? *J Expos Sci Environ Epidemiol.* 1-5
52
53
54 BioInitiative Working Group (2012). *BioInitiative Report: A Rationale for a Biological-*
55
56 *based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF).*
57
58 Available: <http://www.bioinitiative.org>.
59
60
61
62
63
64
65

- 1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
- Bolte, J.F., Eikelboom, T., 2012. Personal radiofrequency electromagnetic field measurements in the Netherlands: exposure level and variability for everyday activities, times of day and types of area. *Environ Int.* 48, 133-142.
- Bürgi, A., Frei, P., Theis, G., Mohler, E., Braun-Fahrländer, C., Fröhlich, J., Neubauer, G., Egger, M., Rössli, M., 2010. A model for radiofrequency electromagnetic field predictions at outdoor and indoor locations in the context of epidemiological research. *Bioelectromagnetics.* 31, 226-236.
- Calvente, I., Fernandez, MF., Villalba, J., Olea, N., Nuñez, M.I., 2010. Exposure to electromagnetic fields (non-ionizing radiation) and its relationship with childhood leukemia: a systematic review. *Sci Total Environ.* 408, 3062-3069.
- Calvente, I., Dávila-Arias, C., Ocón-Hernández, O., Pérez-Lobato, R., Ramos, R., Artacho-Cordón, F., Olea, N., Núñez, M.I., Fernández, M.F., 2014. Characterization of indoor extremely low frequency and low frequency electromagnetic fields in the INMA-Granada cohort. *PloS One.* 9(9):e106666.
- de Vocht, F., Burstyn, I., Cherrie, J.W., 2011. Time trends (1998-2007) in brain cancer incidence rates in relation to mobile phone use in England. *Bioelectromagnetics.* 32, 334-339.
- Estenberg, J., Augustsson, T., 2013. Extensive frequency selective measurements of radiofrequency fields in outdoor environments performed with a novel mobile monitoring system. *Bioelectromagnetics.* 35,3, 227-230
- Foster, K. R., 2003. Mechanisms of interaction of extremely low frequency electric fields and biological systems. *Radiation Protection Dosimetry.* 106,4, 301-310
- Foster, K. R., Moulder, J. E., 2013. Wi-Fi and Health: Review of Current Status of Research. *Health Physics.* 105, 561-575.

- 1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
- Frei, P., Mohler, E., Bürgi, A., Fröhlich, J., Neubauer, G., Braun-Fahrländer, C., Rössli, M., 2010a. Classification of personal exposure to radio frequency electromagnetic fields (RF-EMF) for epidemiological research: Evaluation of different exposure assessment methods. *Environ Int.* 36, 714-720.
- Frei, P., Mohler, E., Bürgi, A., Fröhlich, J., Neubauer, G., Braun-Fahrländer, C., Rössli, M., 2010b. Classification of personal exposure to radio frequency electromagnetic fields (RF-EMF) for epidemiological research: Evaluation of different exposure assessment methods. *Environ Int.* 36, 714-720.
- Freire, C., Abril, A., Fernández, M.F., Ramos, R., Estarlich, M., Manrique, A., Aguirre, A., Ibarluzea, J., Olea, N., 2009. Urinary 1-hydroxypyrene and PAH exposure in 4-year-old Spanish children. *Sci Total Environ.* 407, 1562-1569.
- Gajšek, P., Ravazzani, P., Wiart, J., Grellier, J., Samaras, T., Thuróczy, G., 2013. Electromagnetic field exposure assessment in Europe radiofrequency fields (10 MHz - 6 GHz). *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 1-8
- Guxens, M., Ballester, F., Espada, M., Fernández, M.F., Grimalt, J.O., Ibarluzea, J., Olea, N., Rebagliato, M., Tardón, A., Torrent, M., Vioque, J., Vrijheid, M., Sunyer, J., 2012. Cohort profile: the INMA-"infancia y medio ambiente"- (environment and childhood) project. *Int J Epidemiol.* 41, 930-940.
- Hardell, L., Carlberg, M., Hansson Mild, K., 2011. Pooled analysis of case-control studies on malignant brain tumours and the use of mobile and cordless phones including living and deceased subjects. *Int J Oncol.* 38, 1465-1474.
- Hareuveny, R., Eliyahu, I., Luria, R., Meiran, N., Margalioth, M., 2011. Cognitive effects of cellular phones: A possible role of non-radiofrequency radiation factors. *Bioelectromagnetics.* 32, 585-588.

1 Heinrich, S., Thomas, S., Heumann, C., von Kries, R., Radon, K., 2010. Association
2 between exposure to radiofrequency electromagnetic fields assessed by
3 dosimetry and acute symptoms in children and adolescents: a population based
4 cross-sectional study. *Environ. Health.* 9, 75.
5
6
7
8
9 Hettmansperger, T and McKean, J (1998), Robust nonparametric Statistical
10 Methodology.
11
12
13 Huang, J., Tang, T., Hu, G., Zheng, J., Wang, Y., Wang, Q., Su, J., Zou, Y., Peng, X.,
14 2013. Association between Exposure to Electromagnetic Fields from High
15 Voltage Transmission Lines and Neurobehavioral Function in Children. *PloS*
16 *One.* 8, e67284.
17
18
19
20
21
22
23 IARC, 2011. International Agency for Research on Cancer classifies radiofrequency
24 electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans. Lyon: World Health
25 Organization.
26
27
28
29
30
31 ICNIRP, 1998. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and
32 electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* 74, 494-522.
33
34
35 IEEE, C. D., 1987. ANSI-IEEE Standard 644–1987. IEEE standard procedures for
36 measurement of power frequency electric and magnetic fields from AC power
37 lines. Power Engineering. Institute of Electrical Electronics and Engineering.
38
39
40
41
42
43 INTERPHONE, S. G., 2010. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use:
44 results of the INTERPHONE international case-control study. *Int J Epidemiol.*
45 39, 675-694.
46
47
48
49
50
51 Joseph, W., Verloock, L., Goeminne, F., Vermeeren, G., Martens, L., 2012. In situ LTE
52 exposure of the general public: Characterization and extrapolation.
53 *Bioelectromagnetics.* 33, 466-475.
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

- 1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
- Juutilainen, J., Höytö, A., Kumlin, T., Naarala, J., 2011. Review of possible modulation-dependent biological effects of radiofrequency fields. *Bioelectromagnetics*. 32, 511-534.
- Kesari, K. K., Siddiqui, M.H., Meena, R., Verma, H.N., Kumar, S., 2013. Cell phone radiation exposure on brain and associated biological systems. *Indian J Exp Biol*. 51, 187-200.
- Lahham, A., Hammash, A., 2011. Outdoor radiofrequency radiation levels in the West Bank-Palestine. *Radiat Prot Dosimetry*. 149, 399-402.
- Lauer, O., Neubauer, G., Rössli, M., Riederer, M., Frei, P., Mohler, E., Fröhlich, J., 2012. Measurement setup and protocol for characterizing and testing radio frequency personal exposure meters. *Bioelectromagnetics*. 33, 75-85.
- Li, C.Y., Liu, C.C., Chang, Y.H., Chou, L.P., Ko, M.C., 2002. A population-based case-control study of radiofrequency exposure in relation to childhood neoplasm. *Sci Total Environ*. 435-436:472-8.
- Loos, N., Thuróczy, G., Ghosn, R., Brenet-Dufour, V., Liabeuf, S., Selmaoui, B., Libert, J.P., Bach, V., Diouf, M., de Seze, R., 2013. Is the effect of mobile phone radiofrequency waves on human skin perfusion non-thermal? *Microcirculation*. 20(7):629-36.
- Neskovic, N., Koprivica, M., Neskovic, A., Paunovic, G., 2012. Improving the efficiency of measurement procedures for assessing human exposure in the vicinity of mobile phone (GSM/DCS/UMTS) base stations. *Radiat Prot Dosimetry*. 149, 238-244.
- Neubauer, G., Cecil, S., Giczi, W., Petric, B., Preiner, P., Fröhlich, J., Rössli, M., 2010. The association between exposure determined by radiofrequency personal

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

exposimeters and human exposure: a simulation study. *Bioelectromagnetics*. 31, 535-545.

Rufo, M. M., Paniagua, J.M., Jiménez, A., Antolín, A., 2011. Exposure to high-frequency electromagnetic fields (100 KHz-2 GHz) in Extremadura (Spain). *Health Physics*. 101, 739-745.

Sansone, R. A., Sansone, L. A., 2013. Cell phones: the psychosocial risks. *Innov Clin Neurosci*. 10, 33.

Saunders, R. D., Jefferys, J. G., 2007. A neurobiological basis for ELF guidelines. *Health physics*. 92, 596-603.

Söderqvist, F., Carlberg, M., Hansson Mild, K., Hardell, L., 2011. Childhood brain tumour risk and its association with wireless phones: a commentary. *Environ Health*. 10, 106.

Straume, A., Johnsson, A., Oftedal, G., 2008. ELF-magnetic flux densities measured in a city environment in summer and winter. *Bioelectromagnetics*. 29, 20-28.

Tell, R. A., Kavet, R., Mezei, G., 2013. Characterization of radiofrequency field emissions from smart meters. *J Expos Sci Environ Epidemiol*. 23, 549-553.

Thomas, S., Heinrich, S., von Kries, R., Radon, K., 2010. Exposure to radio-frequency electromagnetic fields and behavioural problems in Bavarian children and adolescents. *Eur J Epidemiol*. 25, 135-141.

Tomitsch, J., Dechant, E., 2012. Trends in residential exposure to electromagnetic fields from 2006 to 2009. *Radiat Prot Dosimetry*. 149, 384-391.

Tomitsch, J., Dechant, E., Frank, W., 2010. Survey of electromagnetic field exposure in bedrooms of residences in lower Austria. *Bioelectromagnetics*. 31, 200-208.

- 1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
- Trošić, I., Pavičić, I., Marjanović, A.M., Bušljeta, I., 2012. Non-thermal biomarkers of exposure to radiofrequency/microwave radiation. *Arh Hig Rada Toksikol.* 63 Suppl 1:67-73
- Valič, B., Gajšek, P., 2014. Typical exposure of children to EMF: Exposimetry and dosimetry. *Radiat Prot Dosimetry.* 1-11.
- Vecchia, P., 2005. The approach of ICNIRP to protection of children. *Bioelectromagnetics.* 26, S157-S160.
- Viel, J.-F., Tiv, M., Moissonnier, M., Cardis, E., Hours, M., 2011. Variability of radiofrequency exposure across days of the week: a population-based study. *Environ Res.* 111, 510-513.
- Vijayalaxmi and Maria R. Scarfi, 2014. International and National Expert Group Evaluations: Biological/Health Effects of Radiofrequency Fields. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 11, 9376-9408
- World Health Organization, 2007. Assessment conclusions and suggestions of WHO's international EMF project: 58–59.
- Wiedemann, P., Schütz, H., 2011. Children's health and RF EMF exposure. Views from a risk assessment and risk communication perspective. *Wien Med Wochenschr.* 161, 226-232.

FIGURE LEGEND

Figure 1. Map showing the localization of the studied dwellings.

Figure 2. Comparison of electric field and power density values with reference levels (right axis), showing the distribution of RMS and maximum electric field and power density values in relation to ICNIRP reference levels and the quantification limit (Q.L.=200 mV/m) of the probe (left axis).

Figure 3. Variability of root mean-square (RMS) electric field and power density values among the study areas.

Table 1

Table 1. Band frequency and sources generative.

Name	Band	Denomination	Frequency		Applications
			Maximum	Minimum	
Radiofrequency	LF	Low frequency	30 KHz	300 KHz	Amateur radio, AM broadcast
	MF	Middle frequency	300 KHz	3 MHz	Broadcasting on AM (medium wave), amateur radio, police radio, avalanche beacons
	HF	High frequency	3 MHz	30 MHz	Broadcasting Short Wave, citizen band and amateur radio, police radio, aviation communications over the horizon, RFID, Radar, <i>Automatic Link Establishment</i> (ALE), near-vertical incidence skywave (NVIS), Mobile & Marine
	VHF	Very high frequency	30 MHz	300 MHz	FM, TV, ground-plane and plane-plane communications with aircraft in sight, maritime and land mobile telephony, amateur radio, weather radio
Microwaves	UHF	Ultra high frequency	300 MHz	3 GHz	Mobile telecommunications, DECT cordless telephones, mobile radio, WLAN, Bluetooth, etc.
	SHF	Super high frequency	3 GHz	30 GHz	Radio astronomy, microwave communications, wireless networks, modern radars, satellite communications, satellite TV, DBS, amateur radio
	EHF	Extremely high frequency	30 GHz	300 GHz	Radio astronomy, high-frequency microwave transmission, remote sensing, amateur radio, microwave weapons, millimeter wave scanning

Table 2**Table 2. Relationship between magnitudes**

Magnitude	Symbol (unit)	Relationship
Electric field	E (V/m)	
Magnetic field	H (A/m)	$H=E/Z_0$
Magnetic induction	B (μ T)	$B=\mu_0 H$
Power density	S (W/m^2)	$S=EH$

$Z_0=377\Omega$ [impedance of free space (Ohmions)]
 $\mu_0=4\pi 10^{-7}NA^{-2}$ [magnetic permeability (Newtons/Ampere²)]
(V/m):Volts/meter; (A/m): Ampere/meter; (μ T):microTeslas, (W/m^2):watts/meter²

Table 3

Table 3. Results of measurements at outdoor n=123								
	Unit	Mean	SD	Median	Minimum	Maximum	p25	p75
E_{avg}	mV/m	123.88	61.08	101.97	11.94	411.47	84.65	159.42
E_{RMS}		195.79	130.81	148.80	12.43	684.10	91.14	262.37
E_{geo}		94.67	39.90	88.50	2.31	409.22	78.42	107.62
E_{max}		1452.41	1316.54	1070.00	70.00	7520.00	500.00	1910.00
E_{min}		30.43	34.68	30.00	0.00	340.00	10.00	40.00
H_{avg}	mA/m	0.32	0.17	0.26	0.00	1.09	0.22	0.42
H_{RMS}		1.02	3.15	0.41	0.11	27.71	0.25	0.75
H_{max}		3.62	3.24	2.81	0.03	19.95	1.27	4.99
H_{min}		0.08	0.09	0.08	0.00	0.90	0.03	0.08
B_{avg}		pT	396.25	209.19	326.33	0.11	1370.83	273.91
B_{RMS}	1286.37		3956.00	516.19	137.04	34802.37	308.27	939.20
B_{max}	4541.71		4070.00	3531.46	35.70	25053.37	1599.15	6263.35
B_{min}	98.86		112.37	99.95	0.00	1132.73	33.32	99.95
S_{avg}	$\mu W/m^2$		156.87	206.64	66.23	4.48	1237.92	23.67
S_{RMS}		799.01	1391.54	285.94	5.51	11559.55	73.98	1028.47
S_{max}		8904.44	17781.02	2980.37	2.39	150001.06	611.14	9375.07
S_{min}		7.63	52.79	2.39	0.00	585.94	0.27	4.24

E_{RMS} : root mean-square electric field; E_{avg} : average electric field; E_{geo} : geometric mean electric field; E_{max} : value maximum electric field; E_{min} : value minimum electric field; (**mV/m**): unit milivolts/metre; H_{RMS} : root mean-square intensity of magnetic field; H_{avg} : average intensity of magnetic field; H_{max} : value maximum intensity of magnetic field; H_{min} : value minimum; (**mA/m**): unit miliamperes/metre; B_{avg} : average induction magnetic field; B_{RMS} : root mean-square induction magnetic; B_{max} : value maximum induction magnetic; B_{min} : value minimum induction magnetic field; (**pT**): unit picoTesla; S_{avg} : average power density; S_{RMS} : root mean-square power density; S_{max} : value maximum power density; S_{min} : value minimum power density; (**$\mu W/m^2$**): microwatts/square meter; mean: arithmetic mean; SD: standard deviation.

Reference levels for the general public are exposure. In the frequency range 100 kHz–6 GHz (ICNIRP 1998)

E_{RMS} : $(87 - 61)10^3$ mV/m H_{RMS} : $(5000 - 160)$ mA/m B_{RMS} : $(6250 - 200)10^3$ pT S_{RMS} : $(- \text{ to } 10^7)$ $\mu W/m^2$

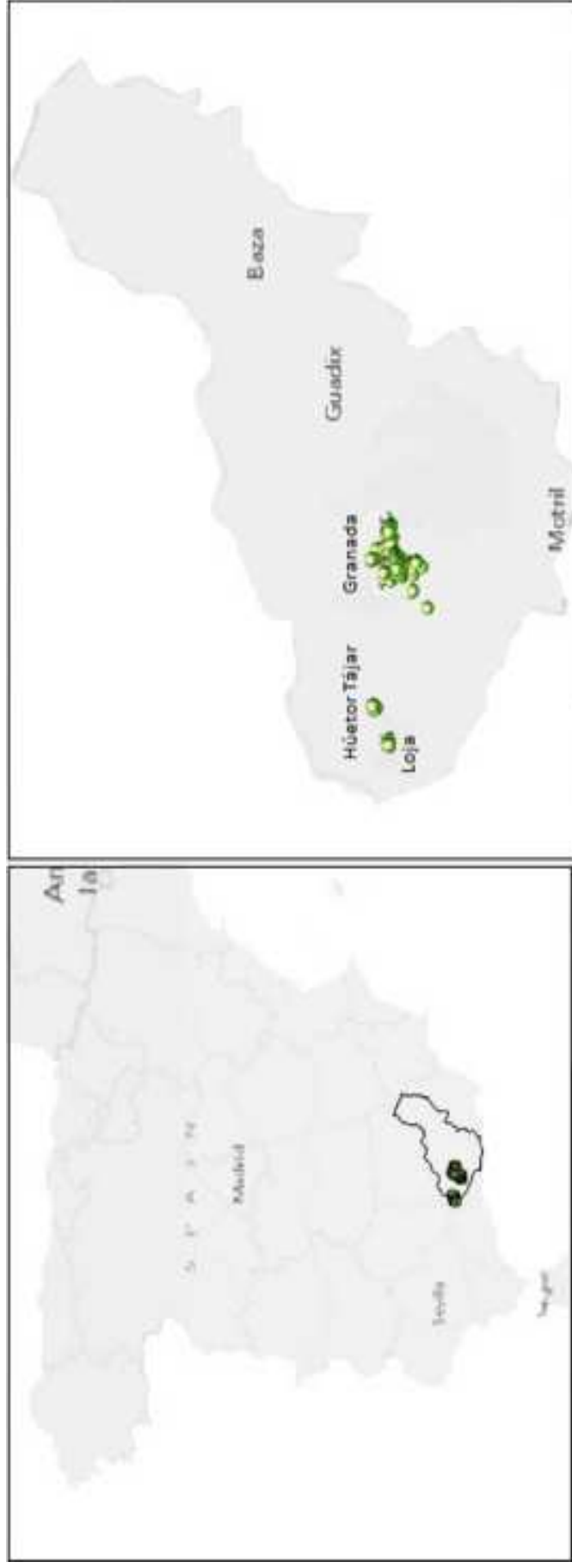
Table 4

Table 3. Descriptive results of outdoor incident electromagnetic fields of non- ionizing radiation								
	Area	n	Mean	SD	Median	p25	p75	p
$E_{min}(mV/m)$	rural /semi-urban	68	22.82	12.64	20.00	10.00	30.00	0.010
	urban	55	39.83	48.54	30.00	20.00	40.00	
$H_{min}(mA/m)$	rural / semi-urban	68	0.06	0.03	0.05	0.03	0.08	0.022
	urban	55	0.10	0.13	0.08	0.05	0.11	
$B_{min}(pT)$	rural / semi-urban	68	75.94	42.24	66.63	33.32	99.95	0.022
	urban	55	127.21	157.59	99.95	66.63	133.26	
$S_{max}(\mu W/m^2)$	rural / semi-urban	68	10333.23	21040.42	4278.25	987.80	9525.47	0.028
	urban	55	7137.94	12620.38	1655.44	207.96	7221.49	
$S_{min}(\mu W/m^2)$	rural / semi-urban	68	1.86	1.66	1.06	0.27	2.39	0.037
	urban	55	14.77	78.73	2.39	1.06	4.24	
	Surface area (Km²)	n	Mean	SD	Median	p25	p75	
$E_{geo}(mV/m)$	<=39.90	57	85.57	25.95	84.08	74.96	104.69	0.064
	>39.90	52	102.13	51.70	89.85	80.64	120.61	
$E_{min}(mV/m)$	<=39.90	60	22.67	12.60	20.00	10.00	30.00	0.004
	>39.90	52	41.20	49.69	30.00	20.00	40.00	
$H_{min}(mA/m)$	<=39.90	60	0.06	0.03	0.05	0.03	0.08	0.007
	>39.90	52	0.10	0.13	0.08	0.05	0.11	
$B_{min}(pT)$	<=39.90	60	75.52	41.99	66.63	33.32	99.95	0.007
	>39.90	52	131.34	161.53	99.95	66.63	133.26	
$S_{max}(\mu W/m^2)$	<=39.90	60	9773.36	21246.52	3272.42	1050.46	8956.03	0.087
	>39.90	52	6553.98	11125.23	1614.06	167.36	9252.06	
$S_{min}(\mu W/m^2)$	<=39.90	60	1.78	1.66	1.06	0.27	2.39	0.003
	>39.90	52	15.69	80.92	2.39	1.06	4.24	
	Population size (inh)	n	Mean	SD	Median	p25	p75	
$E_{avg}(mV/m)$	<=2031	61	109.58	50.33	92.47	79.65	151.95	0.051
	>2031	51	131.92	64.81	126.12	86.62	161.25	
$E_{RMS}(mV/m)$	<=2031	61	172.01	117.78	127.69	88.24	257.05	0.065
	>2031	51	211.70	132.06	218.16	114.12	268.39	
$H_{avg}(mA/m)$	<=2031	61	0.28	0.14	0.24	0.21	0.40	0.063
	>2031	51	0.34	0.18	0.33	0.23	0.43	
$B_{avg}(pT)$	<=2031	61	355.56	178.77	303.07	264.13	506.24	0.063
	>2031	51	430.00	224.34	416.40	282.95	537.20	
$S_{avg}(\mu W/m^2)$	<=2031	61	116.56	144.58	43.74	21.23	174.78	0.045
	>2031	51	171.40	230.73	127.42	36.97	196.14	
$S_{RMS}(\mu W/m^2)$	<=2031	61	570.91	831.37	190.51	52.19	947.37	0.053
	>2031	51	928.66	1767.50	408.79	101.00	1039.97	
	Season	n	Mean	SD	Median	p25	p75	
$E_{min}(mV/m)$	Spring-summer	70	1.86	1.55	2.39	0.27	2.39	0.079
	Autumn-winter	53	15.25	80.19	2.39	1.06	4.24	
$S_{min}(\mu W/m^2)$	Spring-summer	70	23.71	11.94	30	10	30	0.054
	Autumn-winter	53	39.29	49.92	30	20	40	

E_{min} : Value minimum electric field; **E_{avg}** : average electric field; **E_{RMS}** : root mean-square electric field; **E_{geo}** : geometric mean electric field; **(mV/m)**: unit milivolts/metre; **H_{avg}** : average intensity of magnetic field; **H_{min}** : value minimum; **(mA/m)**: unit miliampere/metre; **B_{avg}** : average induction magnetic field; **B_{min}** : value minimum induction magnetic field; **(pT)**: unit picoTesla; **S_{avg}** : average power density; **S_{RMS}** : : root mean-square power density; **S_{max}** : value maximum power density; **S_{min}** : value minimum power size; **($\mu W/m^2$)**: microwatts/square metre: mean: arithmetic mean; SD: standard deviation; inh: inhabitants. For "Surface area" and "Population size" the number of measurements does not add up to the total of n=123 for the tested groups. Mann-Whitney U test was used for calculation p-values.

Figure 1

[Click here to download high resolution image](#)



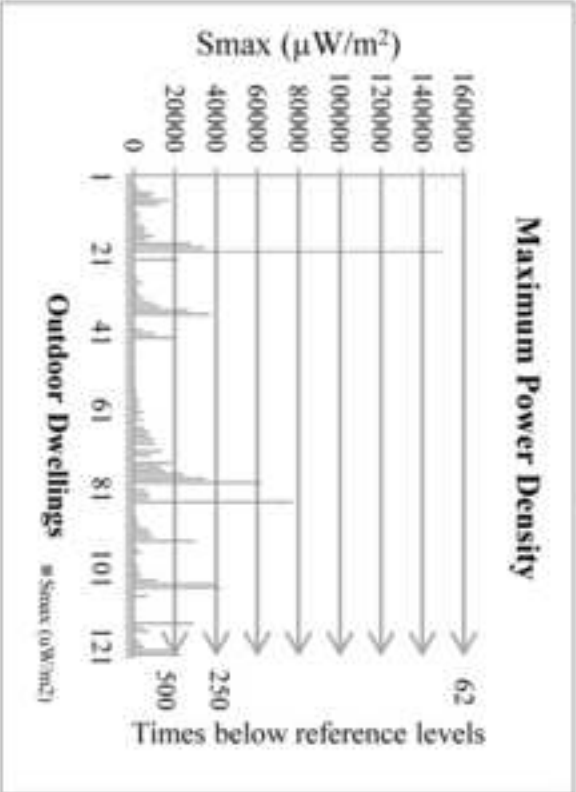
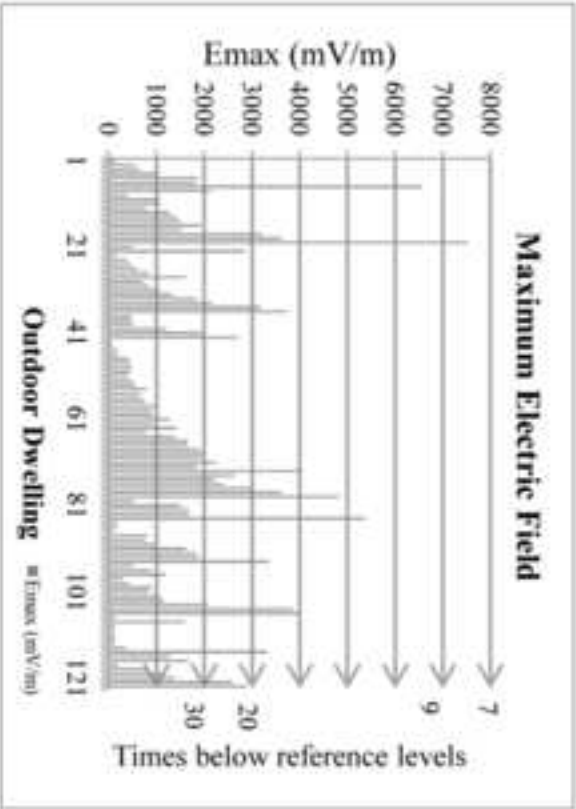
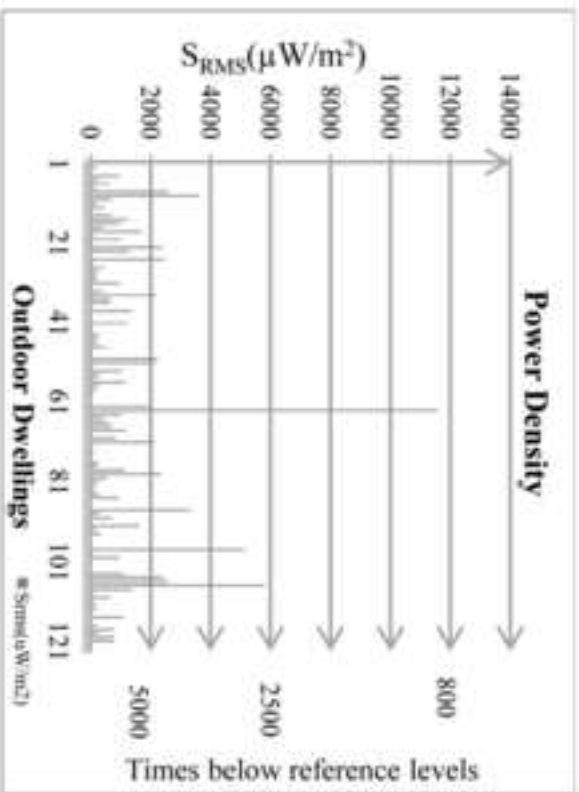
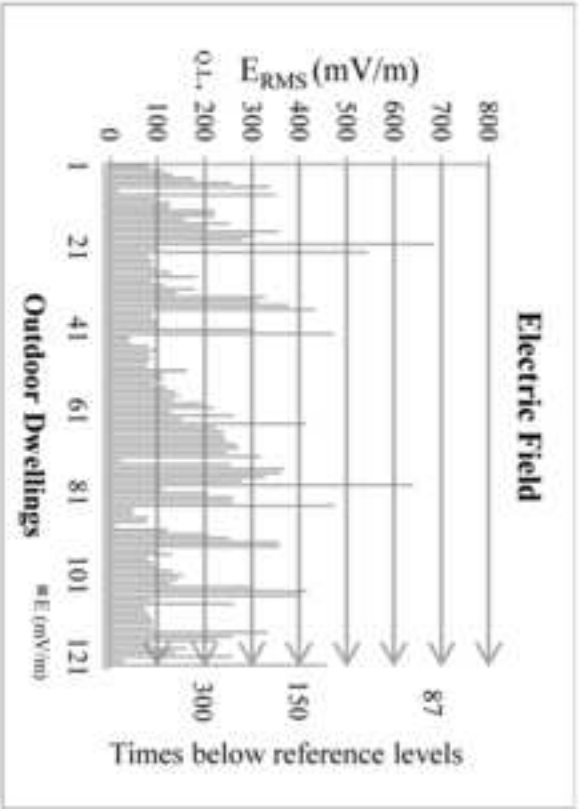
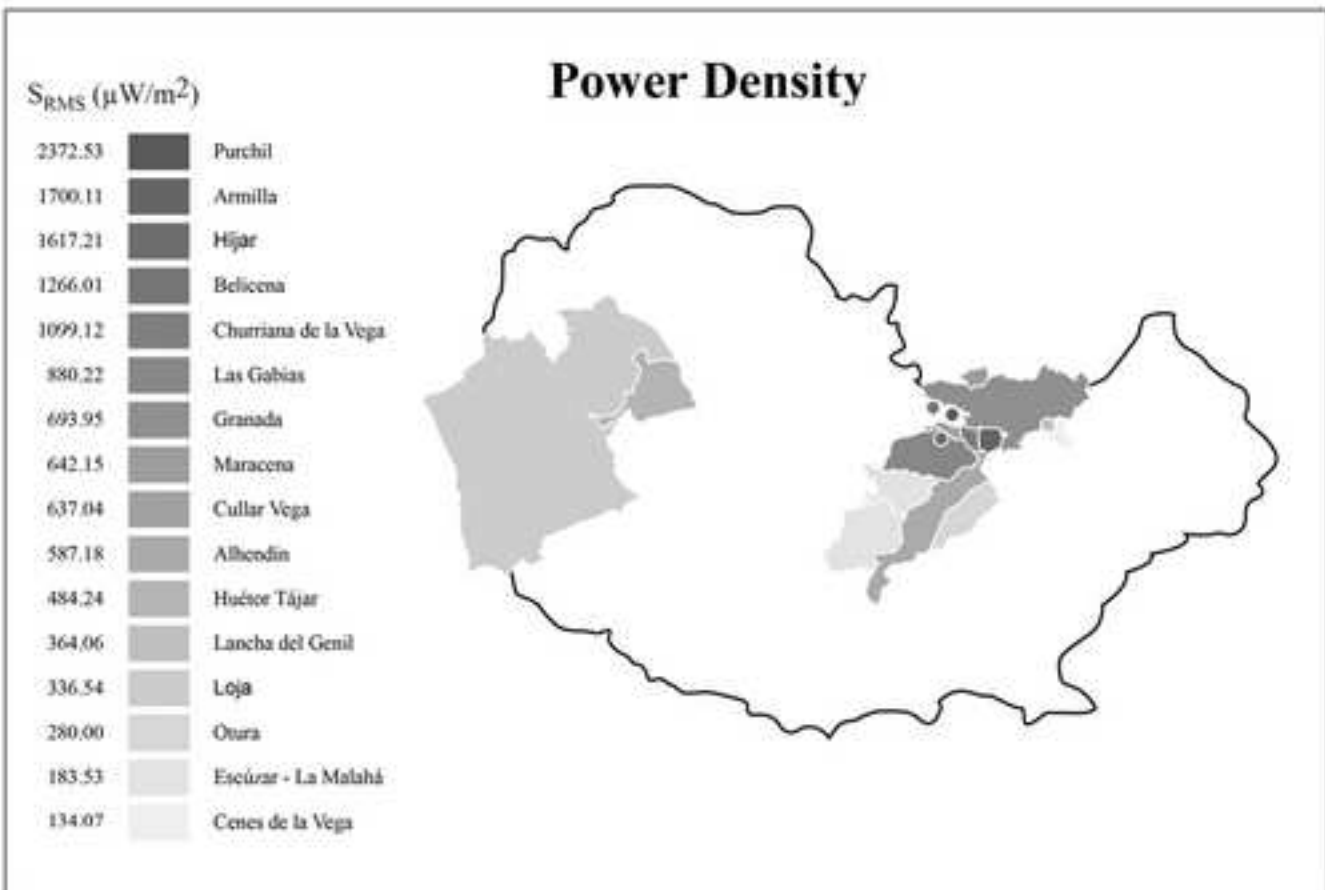
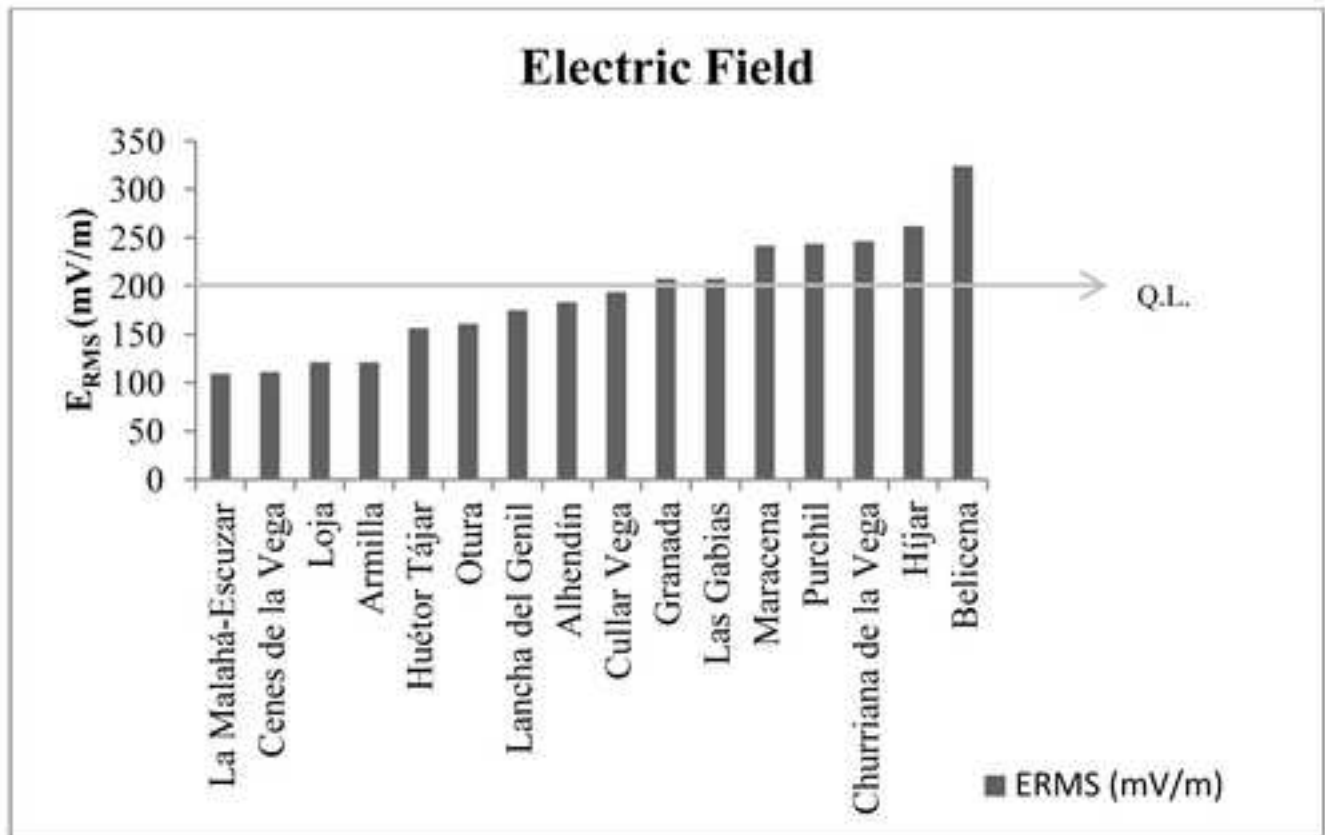


Figure 3

[Click here to download high resolution image](#)



4.3. Relación de la exposición a CEM-RNI y efectos adversos en la salud infantil

4.3.1. Asociación entre exposición a RF y desarrollo neuroconductual en niños de la cohorte INMA-Granada

Exposure to environmental radiofrequency electromagnetic fields: possible cognitive and behavioral effects in 10-year-old children?



Exposure to environmental radiofrequency electromagnetic fields: possible cognitive and behavioral effects in 10-year-old children?

Journal:	<i>Bioelectromagnetics</i>
Manuscript ID:	Draft
Wiley - Manuscript type:	Research Article
Date Submitted by the Author:	n/a
Complete List of Authors:	Calvente, Irene; Instituto de Investigación Biosanitaria (ibs.GRANADA), ; Research Support Unit, San Cecilio University Hospital, Perez-Lobato, Rocio; Instituto de Investigación Biosanitaria (ibs.GRANADA), ; Research Support Unit, San Cecilio University Hospital, Núñez, Maria Isabel; CIBER de Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP), ; Instituto de Investigación Biosanitaria (ibs.GRANADA), ; University of Granada, Radiology Department Ramos, Rosa; Research Support Unit, San Cecilio University Hospital, Guxens, Monica; Center for Research in Environmental Epidemiology; Hospital del Mar Research Institute, Villalba, Juan; University of Granada, Radiology Department Olea, Nicolas; Instituto de Investigación Biosanitaria (ibs.GRANADA), ; University of Granada, Radiology Department; CIBER de Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP),, Fernandez, Mariana; University of Granada, Radiology; Instituto de Investigación Biosanitaria (ibs.GRANADA), ; CIBER de Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP),
Keywords:	Radiofrequency electromagnetic fields, children, neurodevelopment, behavior effects, environment

SCHOLARONE™
Manuscripts

1
2
3 **Title: Exposure to environmental radiofrequency electromagnetic fields: possible**
4 **cognitive and behavioral effects in 10-year-old children?**
5
6
7

8
9 Irene Calvente ^{1,2}, Rocío Pérez-Lobato ^{1,2}, María-Isabel Núñez ^{2,3}, Rosa Ramos ¹,
10 Mónica Guxens ^{4,5}, Juan Villalba ³, Nicolás Olea ^{1,2,3,5}, Mariana F. Fernández ^{2,3,5*}
11
12
13

14
15
16 ¹ *Research Support Unit, San Cecilio University Hospital, Granada, Spain*
17

18 ² *Instituto de Investigación Biosanitaria (ibs.GRANADA), Granada, Spain*
19

20 ³ *Radiology Department, University of Granada, Granada, Spain.*
21

22 ⁴ *Center for Research in Environmental Epidemiology; Hospital del Mar Research*
23 *Institute, Barcelona, Spain*
24
25

26 ⁵ *CIBER de Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP), Spain*
27
28
29
30
31
32
33

34 * Corresponding author: Mariana F. Fernández
35

36 University of Granada, Granada, Spain.
37

38 Av. Madrid s/n, 18012, Granada, Spain.
39

40 Telephone number: +34 958 241000 ext 20367; Fax number: +34 958 249953;
41

42 e-mail: marieta@ugr.es
43
44
45
46

47 **Funding:** This work was supported by the Spanish Ministry of Health (CIBERESP
48 and FIS PI11/0610) and the Andalusia Regional Government, Council of Innovation,
49 Science and Enterprise (Excellence Project P09-CTS-5488) and Council of Health
50 (SAS PI-0675-2010). The funders had no role in study design, data collection and
51 analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.
52
53
54
55
56
57
58
59
60

Abstract

The relationship between exposure to electromagnetic fields from non-ionizing radiation and adverse human health effects remains controversial. The aim of this study was to explore the influence of exposure to environmental radiofrequency-electromagnetic fields on the neurobehavioral function of children in the INMA-Granada cohort at the age of 9-11 years. Spot electric field measurements within the 100 kHz to 6 GHz frequency range, expressed as both root mean-square (SRMS) and maximum power density (S_{MAX}) magnitude, were performed in the immediate surrounds of the children's dwellings. Neuropsychological and behavioral development was assessed with a comprehensive battery of tests. Multivariate linear and logistic regression models were used adjusting for potential confounders. All measurements were lower than reference guideline limits, with median SRMS and S_{MAX} values of 285.94 and 2759.68 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, respectively. Children with RF exposure above median SRMS levels had lower scores for verbal expression/comprehension and higher scores for anxiety/depression, social problems, and obsessive-compulsive and post-traumatic stress disorders in comparison to those with lower exposure levels. These associations were stronger when S_{MAX} were considered. Our results suggest that low-level environmental exposure to RF-EMFs may have a negative impact on neurobehavioral functioning in children.

Keywords: Radiofrequency electromagnetic fields, children, neurodevelopment, behavior effects, environment

Introduction

The relationship of exposure to electromagnetic fields from non-ionizing radiation (EMF-NIR) with adverse human health effects remains controversial (Repacholi, 2012). Thus, some scientists consider that this radiation spectrum may have long-term hazardous effects, whereas others believe that it only produces a molecular vibration that increases the temperature by a few hundredths of a degree (ICNIRP, 1998; Israel et al., 2013). As commented by various authors, the establishment of a cause-effect relationship is hampered by a lack of knowledge of the biological mechanisms of action and by methodological limitations, including selection bias (Hareuveny et al., 2011; Heinrich et al., 2010; Li et al., 2012).

There is particular concern about the potential effects of exposure to EMF-NIR on children (Bakker et al., 2011), who may be more vulnerable than adults, although this question remains under debate (Valiê et al., 2014). Authors have pointed to the increased use of new technologies by children and teenagers, which can start at an early age, and to the rise in *in utero* exposure from this cause (Divan et al., 2008; Rosenberg et al., 2013; WHO). Children are generally considered to be more sensitive to EMF-NIR because they are still in a physiological and psychological development period (Kheifest et al., 2005; Schüz et al., 2005). Studies investigating potential causal relationships between EMF-NIR exposure and adverse health outcomes have mostly focused on childhood cancers, especially leukemia (Calvente et al., 2010; Teepen et al., 2012) and brain neoplasms (Li et al., 2012), and there has been little exploration of its effects on the development of neurodegenerative diseases (Kesari et al., 2013), behavioral problems (Divan et al., 2008; Divan et al., 2012; Guxens et al., 2013; Huang et al., 2013; Thomas et al., 2010), or psychosocial risk (Sansone et al., 2013).

1
2
3 As the same time, the widespread use of wireless telecommunications devices,
4 particularly mobile phones, has resulted in increased human exposure to
5 radiofrequency-electromagnetic fields (RF-EMF). Research on the potential effects of
6 exposure to radiofrequency-electromagnetic fields (RF-EMF) on neurobehavioral
7 function in children is scarce, and has largely focused on the association between cell
8 phone use and behavioral problems (Divan et al., 2008; Divan et al., 2012; Guxens et
9 al., 2013; Huang et al., 2013; Thomas et al., 2010; Feychting et al., 2011). Findings
10 from the Danish National Birth Cohort have showed a positive and dose-dependent
11 relationship between maternal cell phone use during pregnancy and behavioral
12 problems in their progeny (Divan et al., 2008; Divan et al., 2012; Sudan et al., 2013),
13 although this association was not supported by the results of some other studies
14 (Guxens et al., 2013). This discrepancy may be attributable to differences in outcome
15 reporting (e.g., by parents and/or teachers) or exposure assessment (most of the time
16 based on questionnaires) or to the presence of unmeasured confounding factors.
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32

33
34 Studies in animal models suggest that acute cognitive effects may be caused by the
35 generalized long-term exposure to low EMF (WHO). Characterization of these effects
36 is necessary for the development of exposure guidelines. The aim of this study was to
37 explore the influence of environmental RF-EMF exposure on the neurobehavioral
38 function of children belonging to the INMA-Granada cohort at the age of 9-11 years.
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

Exposure in the immediate surrounds of the dwellings of their families was assessed
with spot electric field measurements in the 100 kHz to 6 GHz frequency range.

Materials and methods

Study population

1
2
3 The recruitment and characteristics of the study population were previously reported
4 (Calvente et al., 2014). Briefly, the study sample was drawn from the “Environment
5 and Childhood Research Network” (INMA network), a population-based study in
6 seven regions of Spain, which aims to explore the role of environmental pollutants in
7 air, water, and diet during pregnancy and early childhood in relation to child growth
8 and development. The INMA study protocol includes medical follow-ups of the
9 children from birth through childhood as well as epidemiological questionnaires and
10 biological sample collections. The present study includes the INMA cohort set up in
11 Granada (a province in Southern Spain). From October 2000 to July 2002, 668
12 mother–child pairs were recruited at delivery in the San Cecilio University Hospital of
13 Granada, with the initial aim of investigating chronic exposure to endocrine disrupting
14 chemicals and urogenital malformations in newborn boys. The inclusion and
15 exclusion criteria were published elsewhere (Freire et al., 2011). When the children
16 reached the age of 9-10 years (2011-2012), all families in the cohort were contacted
17 and invited to participate in the new follow-up. However, only 300 (44.9%) families
18 gave their consent and completed an *ad hoc* questionnaire on their home environment,
19 including a specific RF-EMF questionnaire. The follow-up also included assessment
20 of the children’s growth (by a single pediatrician) and neuropsychological and
21 behavioral status (by a single psychologist). The study was approved by the Ethics
22 Committee of San Cecilio University Hospital and signed informed consent was
23 obtained from the participants’ families.

24
25 The setting of the INMA-Granada cohort is the health district of the San Cecilio
26 University Hospital, including part of the city of Granada (236,000 inhabitants) and
27 50 towns and villages. Out of the 300 children/families enrolled in the study, the
28 present study only included the 123 (41%) families/dwellings for which both indoor

1
2
3 and outdoor EMF-NIR measurements were finally carried out. RF-EMF exposure was
4
5 measured in the surrounds of the dwellings of 123; 44.7% of the dwellings were in an
6
7 urban area (city of Granada), 45.5% in semi-urban areas (towns of >20000 inhabitants
8
9 in city residential belt), and 9.8% in rural areas (< 20000 inhabitants).
10

11 12 13 14 *Environmental exposure assessment*

15
16 Spot electric field measurements were performed in wideband mode between 2 pm
17
18 and 4 pm, recording the average measurement during 6-min periods according to
19
20 national regulations. All measurements were considered to correspond to a far-field
21
22 regime and free space. Measurements were carried out using a TS/001/UB Taoma
23
24 base unit (Tecnoservizi, Rome, Italy) with a TS/004/EHF isotropic electric field
25
26 probe. The frequency range analyzed was from 100 kHz to 6 GHz. The measurement
27
28 range was from 0.2 V/m to 340 V/m, and the quantification limit was 0.2 V/m (for the
29
30 sum of all frequencies), well below even the most cautious guideline levels. The probe
31
32 incorporated a GPS module and was equipped with sensors for recording temperature
33
34 and humidity. The probe, connected to the base unit, was placed on an insulating
35
36 tripod in the immediate surroundings of the dwelling (at a height of 1.45 m and at a
37
38 mean distance of 2 m from children's houses), according to recommendations by the
39
40 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE, 1987). RF-EMFs are usually
41
42 expressed in terms of electric field or power density. In the present study, power
43
44 density (S) magnitude was obtained from direct measurements, and the root mean-
45
46 square of power density (S_{RMS}) and maximum power density (S_{MAX}) were calculated.
47
48 The most important sources of RF-EMF exposure to the general public are within the
49
50 frequency range 100 kHz-6 GHz. Among possible sources of RF-EMF exposure are
51
52 radio and TV stations, as well as other sources available, such as the used in transport,
53
54
55
56
57
58
59
60

1
2
3 emergency, police, and other networks for communication within this frequency range
4
5 (Supplementary Table 1). Different RF-EMF bands are used by the Global System for
6
7 Mobile Communication (GSM), including GSM 900 (925-960 MHz) and GSM 1800
8
9 (1805-1880 MHz), Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) (1880-
10
11 1900 MHz), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) (2110-2170
12
13 MHz), and the Industrial Medical and Scientific (IMS) band 2400 (2400, 2400-2483.5
14
15 MHz).
16
17
18
19

20 21 *Neuropsychological measures*

22 Neurodevelopment was evaluated using a comprehensive neuropsychological battery
23
24 of tests at the Monitoring and Early Stimulation Unit of the hospital by a
25
26 neuropsychologist trained to administer the tests and interpret scores for the following
27
28 neuropsychological domains.
29
30

31
32 **General cognitive intelligence**, assessed with the Kaufman Brief Intelligence Test
33
34 (K-BIT) (Kaufman, 1997), in which the composite Intelligence Quotient (IQ) is based
35
36 on verbal and non-verbal scale scores.
37

38
39 **Language**, evaluated with the verbal scale of the K-BIT (Kaufman, 1997), which
40
41 includes two subtests: i) verbal knowledge, which measures receptive vocabulary with
42
43 a task in which the child names graphically displayed objects; and ii) general
44
45 knowledge and riddles, which measure expressive reasoning with a task in which
46
47 children must deduce words based on a definition of the word and some of the letters
48
49 it contains.
50

51
52 **Attention**, assessed with the Continuous Performance Test (CPT) (Conners, 1995),
53
54 which measures sustained and selective attention and impulsivity with a task in which
55
56 the child responds by pressing any key on the keyboard, as quickly as possible, each
57
58

1
2
3 time the letter "A" appears in yellow ("go" condition). The main dependent variables
4
5 are: hits (press any key in "go" condition), commission errors (press any key in "no
6
7 go" condition), omission errors (no key pressed in "go" condition), and attention
8
9 index.

10
11 **Verbal memory**, evaluated with the Complutense-Spain Madrid Verbal Learning
12
13 Test (TAVECI) (Benedet et al, 2001), which assesses different memory and learning
14
15 processes, including immediate recall, short- and long-term recall, and recognition.
16
17 The test involves the examiner reading a list of 15 words five times, with the child
18
19 stating the words recalled after each time and then after intervals of 10 and 20 min.
20
21

22
23 **Visual-motor coordination**, assessed with part A of the Trail Making Test (TMT)
24
25 (Reitan, 1958), which involves connecting consecutive numbers in an alternating
26
27 sequence as quickly as possible. The main dependent variable is time (sec).
28

29
30 **Processing speed**, measured by the sum of the results of two subtests (symbol search
31
32 and coding) from the Wechsler Intelligence Scales for Children (WISC-IV)
33
34 (Wechsler, 2007). The first task is to identify, as quickly as possible, whether or not
35
36 figures are included in a series of figures. In the second task, the child fills in spaces
37
38 under numbers with corresponding symbols following an established model. Both
39
40 tasks must be completed within a maximum of two minutes.
41

42
43 **Executive function**, divided into four components: updating, inhibition, flexibility,
44
45 and abstract reasoning (Diamond, 2013).
46

47 a. **Updating measurements**, with two components: i) Working memory: assessed
48
49 with the letter-number sequencing subtest from the WISC-IV (Spanish version), in
50
51 which the child listens to and then repeats a mixed set of numbers and letters, first
52
53 saying the numbers in order from lowest to highest and then the letters in alphabetic
54
55 order (Wechsler, 2007) and ii) Verbal fluency, assessed with the categorical verbal
56
57
58
59
60

1
2
3 fluency test (FAS), in which children are instructed to say as many names of animals
4 as they know during 1 minute. No grammatical variations or repetitions are counted.

5
6
7 The number of animals correctly named is the dependent variable (Benton, 1989) .

8
9
10 b. **Inhibition**, with two components: i) the Spanish children's version of the Stroop
11 Color and Word Test (STROOP) (Golden, 2005). which measures cognition
12 inhibition with a procedure in which the child is asked to name colored words
13 (condition 1), read color-words printed in black ink (condition 2), and name the color
14 of the words, which are printed in colors that conflict with their meaning, e.g., the
15 word "blue" appears in red ink (condition 3, inhibition). The dependent variable was
16 the interference score, calculated from the results for the three conditions using a
17 specific formula; and ii) the go/no-go task (Donders, 1969), which measures motor
18 inhibition with a task in which the child responds to certain stimuli presented on the
19 computer screen while inhibiting the response to distracter stimuli, with hit and false-
20 alarm rates being the main dependent variables.
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32

33
34 c. **Flexibility**, measured by part B of the TMT (Reitan, 1958). The task involves
35 connecting consecutive numbers and letters in an alternating sequence as quickly as
36 possible, with time (sec) being the main dependent variable.
37
38
39

40 d. **Abstract reasoning** (matrix analogies test), measured with the non-verbal scale of
41 the K-BIT (Kaufman, 1997), a multiple-choice test that presents stimuli in a matrix
42 format. The child selects a picture or abstract design that best completes a
43 visual pattern following a visual analogy. The dependent variable is the number of
44 correct responses.
45
46
47
48
49
50

51
52
53
54 *Behavioral problems*
55
56
57

1
2
3 Behavioral function was evaluated with the Child Behavior Checklist (CBCL/6-18), a
4
5 standardized parent report questionnaire (Achenbach et al., 2001). The CBCL includes
6
7 118 items rated by parents on a three-point scale (Not True, Somewhat True, or
8
9 Very/Often True). The CBCL provides eight syndrome scales grouped by 3 composite
10
11 scales (Internalizing, Externalizing, and Total Problems), six DSM-IV oriented scales,
12
13 and four competence scales, reported as both raw and scores and sex- and age-
14
15 normalized T-scores. Children with CBCL/6–18 T-scores ≥ 60 on internalizing or
16
17 externalizing problem scales, T-scores ≥ 65 on diagnostic scales, and T-scores ≤ 30 on
18
19 competence scales, were classified as normal or borderline/clinical cases (Achenbach et
20
21 al., 2001).
22
23
24
25
26

27 *Covariates*

28
29 Information were gathered at the follow-up visit on parental and children socio-
30
31 demographic characteristics, including marital status, maternal schooling (up to
32
33 primary/secondary/university studies), smoking during pregnancy, and the age,
34
35 weight, and height of the children, calculating their body mass index (BMI). Parents
36
37 reported whether their children had a cell phone (yes/no) and, if so, the frequency and
38
39 type of its use (phone calls/games/text messages). Rural and semi-urban areas were
40
41 grouped together because they shared similar features in terms of the number of
42
43 emission sources and frequency ranges. Thus, the number of substations/antennas
44
45 (bands) never exceeded one in the semi-urban or rural areas, whereas more than two
46
47 were always observed in the urban areas. Nevertheless, the studied zones do not fully
48
49 represent the birth cohort study area.
50
51
52

53
54 Out of the 123 participating children, 4 were excluded because of the presence of
55
56 chronic disease related to attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) ($n = 1$),
57
58

1
2
3 language disorder (n = 1), Asperger syndrome (n=1), or Spina Bifida (n = 1). Data on
4
5 RF-EMF exposure, covariates, and neuropsychological and behavioral test scores
6
7 were finally available for 119 (39.67%) participants.
8
9

10 11 12 *Statistical analysis*

13
14 Descriptive analysis of neuropsychological and behavioral test results yielded
15
16 arithmetic means and standard deviations (SDs), median, minimum, maximum values,
17
18 and 25th and 75th percentiles, stratified by power density (above or below 285.9
19
20 $\mu\text{W}/\text{m}^2$). Frequencies for categorical variables were also calculated.
21

22
23 Spearman correlation test was used for bivariate analyses of quantitative variables.
24
25 The association between quantitative and categorical variables was analyzed with the
26
27 Mann-Whitney test or Kruskal-Wallis test (for > 2 variables), and the association
28
29 between categorical variables with Pearson's chi-square test.
30

31
32 Exposure to RF-EMFs (S_{RMS} and S_{MAX}) was categorized into two groups, using the
33
34 median value as cut-off point. All models were adjusted for potential confounders,
35
36 selected a priori, on the basis of previous studies, including smoking during
37
38 pregnancy, maternal schooling (up to primary/secondary /university studies), place of
39
40 residence (urban/suburban-rural), and internet/Wi-Fi access at home. These covariates
41
42 were selected using a backward procedure.
43

44
45 Neuropsychological test results were analyzed as continuous variables based on the
46
47 raw scores, because standardized scores for the Spanish child population were not
48
49 available for all tests. Behavioral test results were also analyzed as continuous
50
51 variables, based on standardized scores for the Spanish population. Linear and logistic
52
53 regression models were constructed to explore the association of RF-EMF exposure
54
55 with neuropsychological and behavioral test scores. Logistic regression models were
56
57

1
2
3 used to estimate the risk of obtaining scores above the 80th percentile (TMTA,
4 TMTB) or below the 20th percentile (other tests) as a function of exposure levels.
5
6 These percentiles were selected to enhance the detection of low or borderline/clinical
7 performance, as proposed by Jacobson (Jacobson, Jacobson, 2005). Logistic models
8
9 were also constructed to estimate the risk (OR; 95% CI) of obtaining
10
11 borderline/clinical scores (as explained above) (Golden, 1969).
12
13
14
15

16 We assessed the collinearity between independent variables, the linearity of
17 independent quantitative variables, and the homoscedasticity of the linear models. The
18 significance level was set at $p \leq 0.05$, following the recommendations for the
19 evaluation of exposure-outcome relationships in the public health setting. Data
20 analyses were performed using SPSS v20.0 (IBM, Chicago, IL) and R-Commander
21 free software (R i386 3.0.1 version; <http://www.r-project.org>).
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31

32 Results

33
34 Table 1 shows the characteristics of the study population. The mean age (\pm standard
35 deviation) of the children was 9.89 ± 0.32 yrs; 25.21% of mothers had higher
36 education and 44.54% primary schooling; 43.7% of participating families lived in
37 urban areas; 24.79% of mothers reported smoking during pregnancy, and 89.3% had a
38 stable partner. A cell phone was possessed by 97.5 % of the children but was not
39 utilized by 91.6 % of them. At the time of the study, a higher percentage of fathers
40 versus mothers was employed (83.1% vs. 65.8%, respectively), and the percentage of
41 families with a low income, defined according to the Organization for Economic Co-
42 operation and Development (OECD), was 61.9% (data not shown).
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

1
2
3 Median S_{RMS} and S_{MAX} values in the immediate surrounds of the children's dwellings
4
5 were $285.94 \mu W/m^2$ and $2759.68 \mu W/m^2$, respectively, with a range of $5.51-11559.55$
6
7 $\mu W/m^2$ and $2.39-150001.06 \mu W/m^2$, respectively. Maximum S_{RMS} and S_{MAX} values
8
9 were $11559.55 \mu W/m^2$ and $150001.06 \mu W/m^2$, respectively. All measurements
10
11 obtained were below the reference limit. The average distance from these dwellings to
12
13 mobile phone base stations/aerials emitting GSM 900 and GSM 1800 was $660.87 \pm$
14
15 717.48 m, with a minimum distance of 35 m and maximum of 5000 m; 50% of the
16
17 dwellings were within 500 m.
18
19

20
21 No differences were found between the children with and without RF-EMS exposure
22
23 measurements (119 vs. 181 subjects) in cognitive and behavioral function scores or
24
25 parent characteristics with the exception of: attention problems, measured with the
26
27 CBCL test [mean (SD) of $54.86 (5.65)$ vs. $56.48 (7.36)$, $p = 0.04$, respectively]; long-
28
29 term recall, measured with the TAVECI test [$11.90 (2.35)$ vs. $11.15 (2.59)$, $p = 0.01$,
30
31 respectively]; false alarm rate [$0.05 (0.05)$ vs. $0.07 (0.07)$, $p = 0.03$, respectively]; area
32
33 of residence [urban (31.1% vs. 29.9% , respectively, $p = 0.05$) and semi-urban/rural
34
35 (68.9% vs. $79.1.1\%$, respectively, $p < 0.01$)]; and paternal schooling [university
36
37 (26.9% vs. 16.3% , respectively, $p = 0.02$), secondary (33.6% vs. 30.9% , respectively,
38
39 $p = 0.02$), up to primary (39.5% vs. 52.8% , respectively, $p = 0.02$)].
40
41

42
43 Tables 2 and 3 exhibit the raw cognitive function scores and standardized behavioral
44
45 function scores according to the median RF-EMF exposure level. Behavioral scores
46
47 tended to be higher (more borderline/clinical cases) and cognitive scores lower in
48
49 children with S_{RMS} above versus below $285.9 \mu W/m^2$, with mean (SD) scores of 49.95
50
51 (5.15) versus $52.03 (5.07)$, respectively, for verbal expression and comprehension,
52
53 $105.85 (11.52)$ versus $109.42 (11.71)$ for mean IQ, and $55.97 (6.08)$ versus 58.44
54
55 (7.18) for anxious/depressed behaviors (see examples in Figure).
56
57

1
2
3 The relationship between RF-EMF exposure and cognitive functioning was examined
4 using multivariable linear regression models. Unadjusted analysis showed a negative
5 association between the children with higher exposure [$S_{RMS} \geq 285.94 \mu W/m^2$] and
6 several neuropsychological test scores in comparison to the children with lower
7 exposure, which was statistically significant for IQ ($p = 0.05$) and verbal expression
8 and comprehension ($p = 0.03$). However, after adjustment for covariates (child's place
9 of residence, maternal schooling, and smoking during pregnancy), only verbal
10 expression and comprehension remained significant (Table 4). Multivariable logistic
11 regression analysis of the association between RF-EMF exposure and cognitive
12 functioning revealed a higher risk of worse flexibility [OR= 3.90; 95% CI= (1.37-
13 12.95); $p = 0.01$] in the children with $S_{RMS} \geq 285.94 \mu W/m^2$ (data not shown).

14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

Multivariable linear regression models were also used to examine the relationship between cognitive functioning and RF-EMF exposure considering the maximum power density (S_{MAX}). As shown in Table 4, unadjusted analysis showed a negative association between the children with higher exposure [$S_{MAX} \geq 2759.68 \mu W/m^2$ (median value)] and certain neuropsychological test scores in comparison to children with lower exposure ($S_{MAX} < 2759.68 \mu W/m^2$); this negative association was statistically significant for IQ score ($p = 0.03$) and verbal expression and comprehension ability ($p < 0.01$) in the adjusted model. Multivariable logistic regression models revealed a significantly higher risk of a score $< P20$ in verbal expression and comprehension test in the children with higher exposure (OR= 3.37; 95% CI=1.34-9.08; $p = 0.01$) (data not shown).

The relationship between RF-EMF exposure and behavioral functioning was also explored. Unadjusted multivariable linear regression analysis showed that anxious-depressed behaviors, social problems, rule-breaking, total problems, obsessive

1
2
3 compulsive disorder (OCD) and posttraumatic stress disorder (PTSD) were positively
4 and significantly associated with higher ($S_{RMS} \geq \text{median}$) *versus* lower exposure
5 (Table 5). When the model was adjusted for child's place of residence, maternal
6 schooling, and smoking during pregnancy, the associations with anxious-depressed
7 behaviors, social problems, OCD, and PTSD remained statistically significant (Table
8 5). No significant results were obtained in the multivariable logistic regression
9 analysis (data not shown).
10
11

12
13
14
15
16
17
18 The relationship between S_{MAX} and behavioral functioning was examined with
19 multivariable linear regression models. Adjusted analysis showed a positive
20 association between the children with $S_{MAX} \geq 2759.68 \mu\text{W}/\text{m}^2$ and several behavior
21 scores, which was statistically significant for anxious/depressed behaviors ($p < 0.01$),
22 social problems ($p = 0.04$), rule-breaking ($p < 0.01$), aggressive behavior ($p = 0.04$),
23 internalizing ($p = 0.05$), total problems ($p = 0.01$), anxiety problems ($p = 0.03$),
24 attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD) ($p = 0.04$), conduct problems ($p =$
25 0.02), OCD ($p = 0.02$), and PTSD ($p = 0.01$). A negative association was found with
26 school competence ($p = 0.04$) (Table 5).
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37

38
39 Multivariable logistic regression analysis was used to investigate the relationship
40 between RF-EMF exposure (S_{MAX}) and behavioral functioning. Children with higher
41 S_{MAX} values (\geq the median) had an increased risk of a score \leq P65 (subclinical) for
42 rule-breaking (OR= 0.44; 95% CI= 0.19-0.99; $p = 0.04$) (data not shown).
43
44
45
46
47
48

49 Discussion

50
51
52 Exposure to RF-EMF appeared to be associated with increased cognitive and
53 behavioral problems in the children in this study. Thus, those with higher exposure
54 levels ($S_{RMS} \geq 285.9 \mu\text{W}/\text{m}^2$) in the immediate surrounds of their dwellings had lower
55
56
57
58
59
60

1
2
3 verbal expression/comprehension scores and higher behavioral and emotional
4
5 problems, including internalizing and anxious-depressed behaviors, social problems,
6
7 OCD, and PTSD, in comparison to the children with lower exposure levels ($S_{RMS} <$
8
9 $285.9 \mu\text{W}/\text{m}^2$). Similar results were found when exposure was measured as S_{MAX} ,
10
11 finding lower IQ and school competence scores and higher ADHD and social and
12
13 conduct problems (aggressive and rule-breaking behaviors) in children with higher
14
15 ($S_{MAX} \geq 2759.68 \mu\text{W}/\text{m}^2$) *versus* lower exposure. The prevalence of total behavior
16
17 problems as evaluated by the CBCL/6-18 was greater with higher exposure. Overall,
18
19 8.6% of the children were classified as borderline/clinical in the lesser exposure group
20
21 *versus* 20.3% of those in the higher exposure group. Although exposure levels were
22
23 low (all measurements were far below current ICNIRP reference guidelines (ICNIRP,
24
25 1998), an association was observed between exposure levels and total
26
27 neurodevelopmental problems in these children.
28
29

30
31 Few studies have investigated the possible adverse health effects of RF-EMF
32
33 exposure in children, who are considered more vulnerable than adults to EMF-NIR
34
35 (Kheifets et al., 2005; Huang et al., 2013). Bioelectric properties in the nervous
36
37 system of children make it more susceptible to the effects of this exposure (Huang et
38
39 al., 2013). In addition, the lower bone density and amount of fluid in children's brains
40
41 may produce a deeper cerebral absorption of larger amounts of RFs (BioInitiative,
42
43 2012). Nevertheless, the direct impact of RF exposure on neurodevelopment remains
44
45 unknown and the mechanisms that may be involved are poorly understood, but its
46
47 adverse health effects cannot be ruled out (Wiedemann et al., 2011).
48
49

50
51 A possible effect of exposure to RF-EMF fields was first investigated among
52
53 Bavarian (Germany) children by Thomas *et al.* (2010), who found them to be
54
55 associated with conduct problems (Thomas et al., 2010). Subsequently, studies of the
56
57

1
2
3 Danish National Birth Cohort reported that both prenatal and postnatal exposures to
4 cell phone use were associated with behavioral problems in schoolchildren in a dose-
5 dependent manner (Divan et al., 2008; Divan et al., 2012; Feychting et al., 2011). This
6 association was not limited to precocious cell phone users (Divan et al., 2011). In
7 another large population-based study, however, prenatal cell phone or cordless phone
8 use was not associated with behavior problems in 5-year-old children (Guxens et al.,
9 2013). Moreover, no association was found between maternal cell phone during
10 pregnancy and motor or cognitive/language development in infants between 6 and 18
11 months of age (Wiedemann et al., 2011; Vrijheid et al., 2010).

12
13
14 Most researchers have analyzed these associations by considering self-reported cell
15 phone use by pregnant mothers or children as proxies of exposure. Only a few studies
16 have directly measured environmental or individual exposure, e.g., with spot
17 measurements or personal dosimeters, respectively (Heinrich et al., 2010; Thomas et
18 al., 2010). In the present study, direct measurements of environmental exposure were
19 conducted in the immediate surrounds of the children's dwellings.

20
21
22 A study in Egypt based on power density values provided by the National
23 Telecommunications Institute reported that adults living near mobile phone base
24 stations and exposed to higher EMF-NIR evidenced a significantly lower performance
25 in attention and short-term auditory memory (Abdel-Rassoul et al., 2007). Another
26 investigation in China found a poorer performance in computerized neurobehavioral
27 tests among children from primary schools closer to high voltage transmission (HVT)
28 lines (Huang et al., 2013). However, the authors of both studies concluded that further
29 research was required to establish a causal relationship between exposure to EMF-
30 NIR emitted by HVT lines or mobile phone base stations and neurobehavioral
31 dysfunction (Huang et al., 2013; Abdel-Rassoul et al., 2007).

1
2
3 The strengths of our study include the direct measurement of environmental exposure
4 to RF-EMF, rather than the use of proxy measures, and the analysis of its relationship
5 with cognitive and behavioral functioning in healthy school children, on which few
6 published data are available. In addition, the children belonged to a prospective birth
7 cohort that has been followed over ten years, yielding data on multiple covariates
8 since birth. Finally, the programming, measurement, and analysis were performed by
9 the same person (I.C.), reducing the potential variability in measurements and
10 improving the comparability of results. Furthermore, the evaluation of
11 neurodevelopment was performed by a single psychologist (R.P.-L.) blinded to
12 children RF exposure status, using a wide battery of tests. There is no consensus on
13 the most appropriate instruments for identifying cognitive and behavioral problems in
14 children. We used a comprehensive battery of neuropsychological tests and behavioral
15 assessments at the age of 9-11 years, a time window that allows a wide range of
16 cognitive and behavioral functions to be examined with sensitive and specific tests.
17 For example, the verbal expression/comprehension test used involves the capacity to
18 name different objects, assessing the vocabulary of the children, and the ability to
19 understand riddles and reasoning. We also calculated the IQ score (an index of
20 general intelligence of the individual), as the sum of verbal and abstract reasoning
21 scores (Kaufman, 1997), and the total scores for different behavioral, emotional, and
22 social functioning scales as a psychopathological measure (Donders, 1969). Social
23 competence is one of the most important predictors of long-term social and
24 psychological functioning and plays a significant role in determining emotional and
25 behavioral adjustment in childhood and adolescence (Ramos et al., 2013).
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

1
2
3 Study limitations include the relatively small sample size and the studied zones, which
4 do not fully represent the birth cohort study area, as well as its cross-sectional design.
5
6 Moreover, our study was focused on RF-EMF exposure in the immediate surrounds of
7 children dwellings, which might be an imperfect proxy of individual exposure. Our
8 population only comprised boys, because the INMA-Granada cohort from which they
9 derive was designed to assess the prevalence of cryptorchidism and hypospadias;
10 hence, these results cannot be extrapolated to girls, given the gender differences in
11 social and cultural factors and their relationship to psychological disorders. It should
12 also be taken into account that the effects on cognitive and behavioral abilities
13 observed may have been mediated by other socio-cultural, economic, or genetic
14 variables that were not controlled for in this study, such as breast feeding, paternal
15 psychological problems, or exposure to environmental contaminants, among others.
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31

32 **Conclusions**

33
34 Evidence to date on the effects of RF exposure on the central nervous system of
35 children and on their cognitive performance is inadequate to establish causal
36 relationships. Our results suggest that low levels of exposure to RF-EMFs may have a
37 negative impact on neurobehavioral functioning in children. Particularly, the children
38 with higher exposure to RF-EMFs consistently showed poorer social competence and
39 greater emotional and behavior problems, such as internalizing and externalizing
40 symptoms. Further research is warranted to clarify the potential risks and analyze the
41 effects of long-term exposure, as well as to investigate the mechanisms involved.
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53

54 **Competing interests**

1
2
3 The authors declare that there is no conflict of interest that could be perceived as
4
5 prejudicing the impartiality of the research reported.
6
7

8 9 10 **Acknowledgements**

11 The authors are grateful to all participating “INMA families” for their
12
13 cooperation as well as the editorial assistance provided by Richard Davies.
14
15
16

17
18 **Figure legend:** Association between Radiofrequency Electromagnetic Field [Root
19
20 Mean-Square Power Density ($S_{\text{RMS}} \mu\text{W}/\text{m}^2$)] exposure and neurobehavioral functions
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

References

- Abdel-Rassoul G, El-Fateh OA, Salem MA, Michael A, Farahat F, El-Batanouny M, Salem E. 2007. Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations. *Neurotoxicol* 28(2): 434-40.
- Achenbach TM, Rescorla LA. 2001. Manual for ASEBA school-age forms & profiles. Burlington, VT: University of Vermont, Research Center for Children, Youth, & Families.
- Bakker J, Paulides M, Neufeld E, Christ A, Kuster N, van Rhoon GC. 2011. Children and adults exposed to electromagnetic fields at the ICNIRP reference levels: theoretical assessment of the induced peak temperature increase. *Phys Med Biol* 56(15): 4967-89
- Benedet MJ, Alejandre MA, Pamos A. 2001. In TAVECI, Test de Aprendizaje Verbal España-Complutense, Infantil. Madrid, Spain: TEA Ediciones, S.A.
- Benton AL, Hamsher K. 1989. In Multilingual Aphasia Examination. 2^a ed. Iowa City: Department of Neurology and Psychology, University of Iowa.
- BioInitiative Working Group. 2012. BioInitiative Report: A Rationale for a Biological-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF). Available at <http://www.bioinitiative.org> [Last updated 05 October 2014]
- Calvente I, Dávila-Arias C, Ocón-Hernández O, Pérez-Lobato R, Ramos R, Artacho-Cordón F, Olea N, Núñez MI, Fernández MF. 2014. Characterization of indoor extremely low frequency and low frequency electromagnetic fields in the INMA-Granada cohort. *PLoS One* 9(9):e106666
- Calvente I, Fernandez MF, Villalba J, Olea N, Nuñez MI. 2010. Exposure to electromagnetic fields (non-ionizing radiation) and its relationship with childhood leukemia: a systematic review. *Sci Total Environ* 408: 3062-9.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

Conners CK. 1995. In *Conners' continuous performance test computer program: User's manual*. Toronto, ON: Multi-Health Systems.

Diamond A. *Executive Functions*. 2013. *Annu Rev Psychol* 64: 135-8.

Divan H A, Kheifets L, Olsen J. 2011. Prenatal cell phone use and developmental milestone delays among infants. *Scand J Work Environ Health* 37(4): 341-8.

Divan HA, Kheifets L, Obel C, Olsen J. 2012. Cell phone use and behavioural problems in young children. *J Epidemiol Commun H* 66(6): 524-9.

Divan HA, Kheifets L, Obel C, Olsen J. 2008. Prenatal and postnatal exposure to cell phone use and behavioral problems in children. *Epidemiol* 19(6): S94-S95.

Donders FC. On the speed of mental processes. 1969. *Acta Psychologica* 30: 412-31.

Feychting M. 2011. Mobile phones, radiofrequency fields, and health effects in children--epidemiological studies. *Prog Biophys Mol Biol* 107(3): 343-8.

Freire C, Lopez-Espinosa MJ, Fernández M, Molina-Molina JM, Prada R, Olea N. 2011. Prenatal exposure to organochlorine pesticides and TSH status in newborns from Southern Spain. *Sci Total Environ* 409(18): 3281-7.

Golden CJ, 5. 2005 In *Stroop, Test de Colores y Palabras*. 4^a ed. Madrid, Spain: TEA Ediciones.

Guxens M, Van Eijsden M, Vermeulen R, Loomans E, Vrijkotte TG, Komhout H, van Strien RT, Huss A. 2013. Maternal cell phone and cordless phone use during pregnancy and behaviour problems in 5-year-old children. *J Epidemiol Commun H* 67(5): 432-8.

Hareuveny R, Eliyahu I, Luria R, Meiran N, Margalio M. 2011. Cognitive effects of cellular phones: A possible role of non-radiofrequency radiation factors. *Bioelectromagnetics* 32(7): 585-8.

- 1
2
3 Heinrich S, Thomas S, Heumann C, von Kries R, Radon K. 2010. Association
4 between exposure to radiofrequency electromagnetic fields assessed by dosimetry and
5 acute symptoms in children and adolescents: a population based cross-sectional study.
6
7 Environ Health 9(1): 75.
8
9
10
11 Huang J, Tang T, Hu G, Zheng J, Wang Y, Wang Q, Su J, Zou Y, Peng X. 2013.
12 Association between Exposure to Electromagnetic Fields from High Voltage
13 Transmission Lines and Neurobehavioral Function in Children. PLoS One 8(7):
14 e67284
15
16
17
18
19
20
21 ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). 1998.
22 Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and
23 electromagnetic fields (Up to 300 GHz). Health Phys 74(4): 494-522.
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics). 1987. IEEE standard procedures for measurement of power frequency electric and magnetic fields from AC power lines. ANSI-IEEE Standard 644–1987.
- Israel M, Zaryabova V, Ivanova M. 2013. Electromagnetic field occupational exposure: Non-thermal vs. thermal effects. *Electromagn Biol Med* 32(2): 145-54.
- Jacobson JL, Jacobson SW. 2005. Methodological issues in research on developmental exposure to neurotoxic agents. *Neurotoxicol Teratol* 27: 395-406.
- Kaufman AS KN. 2005. In Kaufman Brief Intelligence Test (K.BIT) Manual. Spanish Adaptation: Cordero A, Calonge I. Madrid, Spain: TEA Ediciones, S.A.
- Kesari KK, Siddiqui MH, Meena R, Verma HN, Kumar S. 2013. Cell phone radiation exposure on brain and associated biological systems. *Indian J Exp Biol* 51(3): 187-200.
- Kheifets L, Repacholi M, Saunders R, van Deventer E. 2005. The sensitivity of children to electromagnetic fields. *Pediatrics* 116: e303–e313.

1
2
3 Li CY, Liu CC, Chang YH, Chou LP, Ko MC. 2012. A population-based case-control
4 study of radiofrequency exposure in relation to childhood neoplasm. *Sci Total*
5 *Environ* 435: 472-8.
6
7

8
9 Ramos R, Freire C, Julvez J, Fernández MF, García-Esteban R, Torrent M, Sunyer J,
10 Olea N. 2013. Association of ADHD symptoms and social competence with cognitive
11 status in preschoolers. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 22(3): 153-64.
12
13

14
15 Reitan RM. 1958. Validity of the Trail Making Test as an indicator of organic brain
16 damage. *Percept Mot Skills* 8(3): 271-6.
17
18

19
20 Repacholi M. 2012. Concern that "EMF" magnetic fields from power lines cause
21 cancer. *Sci Total Environ* 426: 454-8.
22
23

24
25 Rosenberg S. 2013. Cell Phones and Children: Follow the Precautionary Road. *J Spec*
26 *Pediatr Nurs* 39(2): 65-70.
27
28

29
30 Sansone RA, Sansone LA. 2013. Cell phones: the psychosocial risks. *Innov Clin*
31 *Neurosci* 10(1): 33-7.
32
33

34
35 Schüz J. 2005. Mobile phone use and exposures in children. *Bioelectromagnetics*
36 *Suppl* 7:S45-S50.
37
38

39
40 Sudan M, Kheifet L, Arah OA, Olsen J. 2013. On the association of cell phone
41 exposure with childhood behaviour. *J Epidemiol Commun H* 67(11): 979
42
43

44
45 Teepen JC, van Dijck JA. 2012. Impact of high electromagnetic field levels on
46 childhood leukemia incidence. *Int J Cancer* 131(4): 769-78.
47
48

49
50 Thomas S, Heinrich S, von Kries Rd, Radon K. 2010. Exposure to radio-frequency
51 electromagnetic fields and behavioural problems in Bavarian children and
52 adolescents. *Eur J Epidemiol* 25(2): 135-41.
53
54

55
56 Valič B, Kos B, Gajšek P. 2014. Typical exposure of children to EMF: Exposimetry
57 and Dosimetry. *Radiat Prot Dosim* [Epub ahead of print]
58
59
60

1
2
3 Vrijheid M, Martinez D, Forns J, Guxens M, Julvez J, Ferrer M, Sunyer J. 2010.
4 Prenatal exposure to cell phone use and neurodevelopment at 14 months. Epidemiol
5 21(2): 259-62.
6
7

8
9 Wechsler, D. 2007. In Escala de inteligencia de Wechsler para NIÑOS-IV (WISC-
10 IV). Madrid, Spain: TEA Ediciones, S.A.
11

12
13 WHO International EMF Project. Children's EMF Research Agenda. Radiofrequency
14 fields—epidemiological studies. Available from: [http://www.who.int/peh-
16 emf/research/children/en/index4.html](http://www.who.int/peh-
15 emf/research/children/en/index4.html) [Last update 14 October 2014]
17
18

19
20 Wiedemann, P, Schütz H. 2011. Children's health and RF EMF exposure. Views from
21 a risk assessment and risk communication perspective. Wien Med Wochenschr 161(9-
22 10): 226-32.
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

Abbreviations:

ADHD: Attention Deficit Hyperactivity Disorder

CBCL: Child Behavior Checklist

CPT: Continuous Performance Test

EMF-NIR: Non-Ionizing Radiation Electromagnetic Fields

FAS: Categorical Verbal Fluency Test

ICNIRP: International Commission on Non-Ionizing Radiation

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

IQ: Intelligence Quotient

K-BIT: Kaufman Brief Intelligence Test

OCD: Obsessive-Compulsive Disorder

OECD: Organization for Economic Co-operation and Development

P20: 20th percentile

P25: 25th percentile

P75: 75th percentile

P80: 80th percentile

PTSD: Post-Traumatic Stress Disorder

RF-EMF: Radiofrequency Electromagnetic Fields

S_{MAX} : Maximum Power Density

S_{RMS} : Root Mean-Square Power Density

STROOP: Stroop Color and Word Test

TAVECI: The Complutense-Spain Madrid Verbal Learning Test

TMT: Trail Making Test

WAIS-III: Weschler Adult Intelligence-Third Edition

WISC-IV: Wechsler Intelligence Scales for Children- fourth Edition

Table 1. Characteristics of the study population (n=119)

	Mean ± SD	Min	Median	p25	p75	Max
Children age (years)	9.89 ± 0.32	9.05	9.8	9.66	10.03	11.22
Children BMI (Kg/m ²)	18.74 ± 3.28	13	19	16	21	29
	n (%)					
Smoking during pregnancy						
No	89(75.21%)					
Yes	30(24.79%)					
Maternal schooling						
Up to primary	53(44.54%)					
Secondary studies	36(30.25%)					
University studies	30(25.21%)					
Place of residence						
Urban	52(43.7%)					
Semi-urban/rural	67(56.3%)					
Have mobile phone*						
Yes	116 (97.5%)					
No	3 (2.5%)					
Use mobile phone*						
Yes	10 (8.4%)					
No	109 (91.6%)					

BMI: Body Mass Index (Kg/m²); Mean: Arithmetic mean; SD: Standard Deviation; p: percentile; Min: Minimum; Max: Maximum. * Make reference to the children

Table 2. Distribution of children scores in neuropsychological tests by RF-EMF exposure levels (n=119)

	S _{RF} < 285.9 (μW/m ²)						S _{RF} ≥ 285.9 (μW/m ²)					
	Mean ± SD	Min	Median	p25	p75	Max	Mean ± SD	Min	Median	p25	p75	Max
Intelligence Quotient^a	109.42 ± 11.71	88.00	110.00	99.00	118.00	139.00	105.85 ± 11.52	77.00	105.00	97.25	112.75	138.00
Verbal expression and comprehension^a	52.03 ± 5.07	43.00	52.00	48.00	55.00	67.00	49.95 ± 5.15	40.00	49.50	46.00	53.00	64.00
Attention												
Impulsivity ^b	7.73 ± 8.15	0.00	6.00	3.00	10.00	51.00	10.74 ± 15.18	1.00	7.00	4.00	11.50	110.00
Attention Index ^a	0.65 ± 0.24	-0.15	0.72	0.59	0.80	1.00	0.64 ± 0.25	-0.46	0.70	0.54	0.81	0.92
Verbal memory^a												
Short-term recall	11.37 ± 1.96	8.00	11.00	10.00	13.00	15.00	11.12 ± 2.34	6.00	11.00	10.00	13.00	15.00
Long-term recall	11.95 ± 2.27	5.00	12.00	10.00	14.00	15.00	11.85 ± 2.43	4.00	12.00	11.00	13.00	15.00
Visual-motor coordination^b	28.29 ± 9.92	14.00	26.00	21.00	34.00	55.00	29.97 ± 10.66	14.00	27.50	22.00	37.50	63.00
Processing speed^a	99.73 ± 11.81	73.00	99.00	91.00	107.00	127.00	98.87 ± 12.80	64.00	102.00	88.75	107.00	130.00
Executive Functions												
Working memory ^a	17.17 ± 2.69	10.00	17.00	16.00	19.00	24.00	17.48 ± 2.59	11.00	18.00	15.00	20.00	23.00
Verbal fluency ^a	17.36 ± 3.78	8.00	17.00	15.00	20.00	28.00	16.95 ± 3.97	6.00	17.00	14.00	19.00	27.00
Impulsivity/inhibition												
Interference ^a	2.63 ± 5.41	-12.14	2.37	-0.75	5.57	20.83	2.21 ± 5.09	-11.31	2.56	-1.29	5.28	14.33
Hit rate ^a	0.99 ± 0.02	0.94	1.00	0.98	1.00	1.00	0.99 ± 0.02	0.90	1.00	0.99	1.00	1.00
False-alarm rate ^b	0.05 ± 0.06	0.00	0.03	0.01	0.09	0.32	0.05 ± 0.04	0.00	0.05	0.01	0.09	0.14
Flexibility ^b	54.57 ± 19.32	26.00	52.00	42.00	60.00	120.00	66.92 ± 45.41	24.00	55.00	44.00	82.50	360.00
Abstract reasoning ^a	31.15 ± 4.59	22.00	31.00	27.00	35.00	42.00	30.53 ± 4.55	18.00	31.00	27.00	33.75	40.00

* Direct scores are given for all tests except for the IQ score. ^aHigher score indicates better cognitive function. ^bHigher score indicates worse cognitive function.
 RF-EMFs: Radiofrequency Electromagnetic Fields are given in power density (S); RMS: Root Mean-Square; Mean: Arithmetic mean; SD: Standard Deviation; Min: Minimum; Max: Maximum; p: percentile

Table 3. Distribution of children's scores in behavioral tests by RF-EMF exposure levels (n=119)

	S _{RMS} < 285.9 (μW/m ²)						S _{RMS} ≥ 285.9 (μW/m ²)							
	Mean ± SD	Min	Median	p25	p75	Max	% borderline	Mean ± SD	Min	Median	p25	p75	Max	% borderline
Syndrome Scales (typical scores)														
Anxious/Depressed	55.97 ± 6.08	50.00	53.00	51.00	59.00	70.00	13.8	58.44 ± 7.18	50.00	57.00	51.00	62.00	78.00	20.4
Withdrawn/Depressed	56.26 ± 6.55	50.00	54.00	50.00	58.00	79.00	13.8	58.15 ± 7.29	50.00	58.00	50.00	66.00	76.00	27.1
Somatic complaints	56.57 ± 6.04	50.00	57.00	50.00	61.00	70.00	10.3	57.47 ± 6.49	50.00	57.00	53.00	61.00	80.00	13.6
Social problems	53.24 ± 3.45	50.00	51.00	51.00	56.00	65.00	1.7	55.10 ± 5.54	50.00	53.00	51.00	58.00	73.00	8.5
Thought problems	54.70 ± 5.65	50.00	51.00	51.00	58.00	71.00	6.9	56.00 ± 6.81	50.00	54.00	50.00	61.00	71.00	13.6
Attention problems	53.90 ± 4.76	50.00	52.00	50.00	57.50	67.00	3.4	55.83 ± 6.30	50.00	53.00	50.00	59.00	75.00	10.2
Rule-breaking	53.07 ± 4.39	50.00	51.00	50.00	53.00	71.00	3.4	55.07 ± 6.37	50.00	53.00	50.00	57.00	74.00	8.5
Aggressive behavior	54.47 ± 5.25	50.00	52.50	50.00	59.00	69.00	5.2	55.98 ± 5.98	50.00	55.00	51.00	59.00	70.00	10.2
Internalizing	55.48 ± 7.80	41.00	55.50	49.50	61.00	71.00	13.8	58.34 ± 8.26	34.00	58.00	52.00	65.00	76.00	27.1
Externalizing	50.91 ± 8.27	33.00	50.00	46.00	58.00	71.00	5.1	52.53 ± 10.51	33.00	54.00	48.00	60.00	73.00	11.9
Total problems	51.98 ± 7.96	34.00	50.00	46.00	58.25	71.00	8.6	55.20 ± 9.06	36.00	54.00	49.00	62.00	73.00	20.3
DSM-Oriented Scales														
Affective problems	55.64 ± 5.71	50.00	52.00	51.50	60.00	75.00	6.9	57.24 ± 6.87	50.00	56.00	52.00	63.00	72.00	18.6
Anxiety problems	57.34 ± 7.07	50.00	55.00	51.00	60.00	75.00	22.4	59.53 ± 7.88	50.00	60.00	51.00	68.00	75.00	37.3
Somatic problems	55.97 ± 5.85	50.00	57.00	50.00	61.00	68.00	12.1	55.61 ± 6.82	50.00	57.00	50.00	61.00	83.00	13.6
ADHD problems	53.36 ± 5.25	50.00	51.00	50.00	56.00	69.00	6.9	54.98 ± 6.26	50.00	51.00	50.00	60.00	75.00	10.2
Oppositional-Defiant	55.02 ± 4.95	50.00	52.00	51.75	58.00	70.00	6.9	55.98 ± 5.29	50.00	55.00	52.00	58.00	70.00	10.2
Conduct problems	53.19 ± 4.58	50.00	51.00	50.00	54.00	67.00	5.2	54.80 ± 5.88	50.00	54.00	50.00	57.00	75.00	6.8
Obsessive compulsive disorder	53.40 ± 4.95	50.00	51.00	50.00	55.00	73.00	3.4	55.78 ± 7.37	50.00	51.00	50.00	60.00	82.00	8.5
Posttraumatic stress disorder	55.53 ± 6.05	50.00	54.00	50.00	59.00	72.00	12.1	58.76 ± 7.02	50.00	59.00	51.00	64.00	78.00	18.0
Competences														
School competence	52.10 ± 4.85	40.00	55.00	48.00	55.00	55.00	1.7	50.08 ± 6.93	27.00	53.00	48.00	55.00	55.00	3.4
Social competence	46.02 ± 7.79	29.00	45.00	41.00	51.00	64.00	5.3	45.21 ± 8.35	29.00	45.50	39.00	51.00	64.00	5.2

RF-EMFs: Radiofrequency Electromagnetic Fields are given as power density (S); RMS: Root Mean-Square; Mean: arithmetic mean; SD: Standard Deviation; Min: Minimum; Max: Maximum; p: percentile.

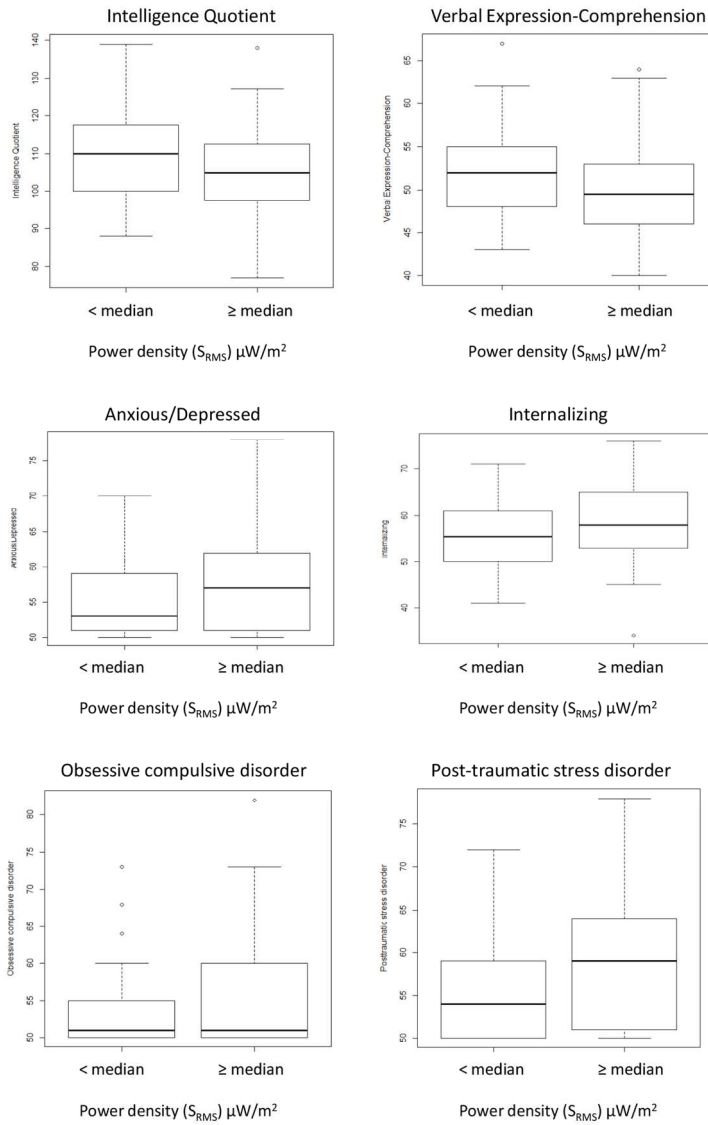
DSM: Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders; ADHD: Attention Deficit Hyperactivity Disorder

Table 4. Association between RF-EMF exposure levels and cognitive development in children from INMA-Granada cohort (n=119)

	$S_{RMS} \geq 285.9$ ($\mu W/m^2$)						$S_{MAX} \geq 2759.68$ ($\mu W/m^2$)					
	Crude model			Adjusted model			Crude model			Adjusted model		
	β	SE	p	β	SE	p	β	SE	p	β	SE	p
Intelligence Quotient^a	-7.83	4.03	0.05	-7.19	3.74	0.06	-11.03	3.96	<0.01	-8.49	3.77	0.03
Verbal expression and comprehension^a	-2.08	0.94	0.03	-1.91	0.88	0.03	-2.76	0.92	<0.01	-2.34	0.88	0.01
Attention												
Impulsivity ^b	3.22	2.38	0.18	3.22	2.38	0.18	2.95	2.30	0.20	2.86	2.42	0.24
Attention Index ^a	-0.01	0.05	0.82	-0.01	0.05	0.80	-0.02	0.05	0.63	-0.02	0.05	0.74
Verbal memory^a												
Short-term recall	-0.26	0.40	0.52	-0.35	0.41	0.38	-0.45	0.39	0.26	-0.50	0.41	0.22
Long-term recall	-0.10	0.43	0.82	-0.16	0.44	0.72	-0.54	0.43	0.21	-0.52	0.45	0.25
Visual-motor coordination^b	1.68	1.89	0.38	1.45	1.90	0.45	1.92	1.89	0.31	1.18	1.93	0.54
Processing speed^a	-0.68	2.30	0.77	-0.68	2.30	0.77	-2.97	2.24	0.19	-2.75	2.32	0.24
Executive functions												
Working memory ^a	0.29	0.47	0.54	0.29	0.47	0.54	0.02	0.49	0.96	0.23	0.48	0.63
Verbal fluency ^a	-0.48	0.74	0.51	-0.48	0.74	0.51	-0.23	0.71	0.75	-0.16	0.75	0.84
Impulsivity/inhibition												
Interference ^a	-0.53	0.99	0.60	-0.53	0.99	0.59	-0.41	0.96	0.67	-0.58	1.01	0.57
Hit rate ^a	<0.01	<0.01	0.56	<0.01	<0.01	0.56	<-0.01	<0.01	0.82	<0.01	<0.01	0.95
False-alarm rate ^b	<0.01	<0.01	0.65	<0.01	0.01	0.65	0.01	0.01	0.15	0.01	0.01	0.15
Flexibility ^b	12.35	6.42	0.06	11.42	6.63	0.09	12.61	6.41	0.05	10.70	6.73	0.12
Abstract reasoning ^a	-0.59	0.81	0.47	-0.59	0.81	0.47	-1.43	0.83	0.09	-1.06	0.82	0.20

* Direct scores were used for all tests. ^a Higher score indicates better cognitive function. ^b Higher score indicates worse cognitive function.
 β : Linear regression coefficient; SE: Standard Error; RF-EMFs: Radiofrequency Electromagnetic Fields are given as power density (S); RMS: Root Mean-Square; MAX: Maximum. Adjusted for child's place of residence, smoking during pregnancy and maternal schooling.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60



130x192mm (300 x 300 DPI)

4.3.2. Asociación entre exposición a RNI y leucemia infantil:

Exposure to electromagnetic fields (non-ionizing radiation) and its relationship with childhood leukemia: A systematic review

El artículo *Exposure to electromagnetic fields (non-ionizing radiation) and its relationship with childhood leukemia: A systematic review*, se encuentra dentro del apartado de resultados aunque no es fruto de los mismos. Sin embargo, fue el germen que ha permitido generar un procedimiento para valorar la exposición a RNI en población general y, en consecuencia, ha sido crucial para el desarrollo de este Trabajo de Tesis Doctoral.



Contents lists available at [ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com)

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv



Review

Exposure to electromagnetic fields (non-ionizing radiation) and its relationship with childhood leukemia: A systematic review

I. Calvente ^{a,b}, M.F. Fernandez ^{a,b}, J. Villalba ^b, N. Olea ^{a,b}, M.I. Nuñez ^{b,*}

^a Laboratory of Medical Investigations, San Cecilio University Hospital, CIBER de Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP), Spain

^b Department of Radiology, University of Granada, Granada, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 16 November 2009
 Received in revised form 17 March 2010
 Accepted 24 March 2010
 Available online 7 May 2010

Keywords:

Childhood leukemia
 Non-ionizing radiation

ABSTRACT

Childhood exposure to physical contamination, including non-ionizing radiation, has been implicated in numerous diseases, raising concerns about the widespread and increasing sources of exposure to this type of radiation. The primary objective of this review was to analyze the current state of knowledge on the association between environmental exposure to non-ionizing radiation and the risk of childhood leukemia. Scientific publications between 1979 and 2008 that include examination of this association have been reviewed using the MEDLINE/PubMed database. Studies to date have not convincingly confirmed or ruled out an association between non-ionizing radiation and the risk of childhood leukemia. Discrepancies among the conclusions of the studies may also be influenced by confounding factors, selection bias, and misclassification. Childhood defects can result from genetic or epigenetic damage and from effects on the embryo or fetus, which may both be related to environmental exposure of the parent before conception or during the pregnancy. It is therefore critical for researchers to define *a priori* the type and “window” of exposure to be assessed. Methodological problems to be solved include the proper diagnostic classification of individuals and the estimated exposure to non-ionizing radiation, which may act through various mechanisms of action. There appears to be an urgent need to reconsider exposure limits for low frequency and static magnetic fields, based on combined experimental and epidemiological research into the relationship between exposure to non-ionizing radiation and adverse human health effects.

© 2010 Elsevier B.V. All rights reserved.

Contents

1. Introduction	3062
2. Mechanisms	3063
3. Methods	3064
4. Results	3064
4.1. Non-ionizing radiation: low and extremely low-frequency electromagnetic fields	3064
4.1.1. First period (1979–2000)	3064
4.1.2. Second period (2001–2008)	3064
4.2. Non-ionizing radiation: radio frequency electromagnetic fields	3066
5. Discussion	3067
6. Possible future actions	3068
Acknowledgments	3068
References	3068

Abbreviations: AML, acute myeloid leukemia; ALL, acute lymphoid leukemia; EMR, electromagnetic radiation; ELF-EMR, extremely low-frequency electromagnetic radiation; ICNIRP, International Council of Non-Ionizing Radiation Protection; NIR, non-ionizing radiation; LF-EMR, low-frequency electromagnetic radiation; RF, radio frequencies.

* Corresponding author. Department of Radiology, University of Granada, 18071-Granada, Spain. Tel.: +34 958 24 2077; fax: +34 958 249953.

E-mail address: isabeln@ugr.es (M.I. Nuñez).

1. Introduction

Humans have been constantly exposed to electromagnetic radiation, including sunlight, cosmic rays, and terrestrial radiations. However, a substantial increase in exposure, especially to low-frequency electromagnetic radiation (EMR), started in the early

20th century with the generation of artificial electromagnetic fields and continued with the development of power stations, radio, radar, television, computers, mobile phones, microwave ovens, and numerous devices used in medicine and industry. These technological advances have aroused concerns about the potential health risks associated with unprecedented levels of EMR exposure.

The amount of energy deposited by EMR and the form of its absorption is determined by the frequency and type of incident radiation and by the nature of the tissue that absorbs it. According to its effects on the organism, EMR can be divided between ionizing radiation (including high-frequency radiation such as gamma rays and X-rays) and non-ionizing radiation (NIR; low to very low frequency). Ionizing radiation causes biological effects by directly or indirectly damaging the DNA molecule; the effects of this type of radiation are not addressed in the present review.

Exposure to the multiple sources of NIR (Table 1), including residential exposure to high-voltage power lines, transformers, and domestic electrical installations, varies in duration and according to the distance from the source. Exposure is usually to low-frequency (LF-EMR) or extremely low-frequency (ELF-EMR) radiation and is continuous and rising among populations in the industrialized world. Besides LF-EMR and ELF-EMR radiation, individuals are increasingly exposed to radio frequencies (RF) from television (TV) towers, radio stations, mobile phone/wi-fi systems, and personal computers. Table 1 summarizes the different types, frequency ranges, and sources of NIR. Nevertheless, the average magnetic flux density is generally considered to be below the maximum exposure limits established by different organizations such as the International Council of Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) or the Spanish Experts' Committee of Electromagnetic Fields and Public Health in our setting (2001, 2003).

In 1998, guidelines on reference values, exposure limits, and restrictions were issued by the ICNIRP and other with the aim of protecting citizens against the possible harmful effects of acute exposure to this type of radiation (Table 2). The exposure limit for the general public is currently 50 Hz at 100 μ T and higher frequencies (Table 2) (ICNIRP, 1998). These limits had previously been established by the IEEE (Institute of Electric and Electronics Engineers, Inc, 1992), also based on protection from immediate short-term effects. Although there is experimental evidence of biological responses at non-thermal NIR levels, it is not considered sufficiently robust or relevant to establish their potential impact on health (Kundi et al., 2009).

Among the few studies on magnetic flux density (magnetic flux density mapping), some show that the established limits were exceeded in a number of areas of Eastern Europe and North America (Kheifetz et al., 2006; Maslanyj et al., 2007; Straume et al., 2008). In Spain, exposure to EMR has been measured in schools in the cities of Oviedo and Barcelona and in the region of Extremadura (Tardón et al., 2002; Paniagua et al., 2002), and magnetic flux density has been mapped in Extremadura (Paniagua et al., 2004).

Children are considered more vulnerable than adults to environmental exposure and deserve special research attention (Fernández et al., 2007; Ramón et al., 2005). Childhood exposure to physical contamination, including NIR, has been implicated in numerous diseases, raising concerns about their widespread and increasing use of mobile phones and other sources of NIR. The first authors to report a possible link between leukemia and environmental factors were Ager et al. (1965). Since then, a significant increase in the incidence of childhood leukemia has been reported in Europe and the United States, identifying clusters of cases associated with potential environmental etiological components (Draper et al., 2005; McNally and Parker, 2006). A study in 2001 reported that the incidence of leukemia among 2 to 4-year-olds was higher in industrialized countries than in developing countries, especially for the common subtype of acute lymphoblastic leukemia (ALL) (Milham and Ossiander, 2001). They investigated the advance of electrification between 1920 and 1960 and detected a peak in childhood leukemia incidence rates in 1930 in all states that had introduced electricity in >75% of residences. By 1950, an elevated incidence was recorded in all states but was more pronounced in those with a higher percentage of households connected to mains electricity. According to the authors, the association of leukemia with urbanization, modernization, and industrialization may be explained by the increase in electrification.

The annual incidence of childhood leukemia was estimated to be 4/100,000 by the WHO and 5/100,000 by the ICNIRP, in 2003. In our setting, 107 new cases (under 15 years old) were recorded in the Cancer Registry of Granada province (Spain) between 1985 and 2004, representing a mean annual incidence of 3.25/100,000 children, lower than in any other Spanish cancer registry. Nevertheless, according to the estimated cumulative rate (0.5%) and if this trend continues, 1 out of every 2000 children living in Granada will develop leukemia before the age of 15 years (WHO: www.who.int/emf).

The primary objective of this review was to analyze the current state of knowledge on the association between environmental exposure to NIR and the risk of childhood leukemia.

Table 1

Frequencies and sources of non-ionizing radiation.

Frequency	Type of radiation	Sources
0 Hz–300 kHz	Low frequency to extremely low frequency (LF–ELF) electromagnetic radiation	Electrical fields of devices, conventional electrical network, video monitors, sections of AM radio
3 kHz–300 MHz	Radio frequencies (RF)	Sections of AM radio, FM radio, medical short-wave, nuclear magnetic resonance (NMR)
300 MHz–300 GHz	Microwave (MW)	Domestic microwave devices, mobile telephones, microwave for medical physical therapy, radar and other microwave communications
300 GHz–780 nm	Infrared (IR)	Solar light, heat and laser therapy devices
780 nm–400 nm	Visible light	Solar light, phototherapy, laser
400 nm–100 nm	Ultraviolet (UV)	Solar light, fluorescent tubes, food/air sterilization, radiotherapy, etc.

Hz: Hertz (kHz: kilohertz = 10^3 Hz; MHz: Megahertz = 10^6 Hz; GHz: Gigahertz = 10^9 Hz). Ultraviolet (UV) within the range 280–185 nm is considered as ionizing radiation.

2. Mechanisms

Our working hypothesis was that NIR may be an environmental risk factor for developing childhood leukemia. The greatest obstacle to

Table 2

Protection limits for exposure to electrical, magnetic, and electromagnetic fields.

Frequency range	Field intensity E (V/m)	Field B (μ T)	Power density (W/m ²)
0–1 Hz	–	4×10^4	–
1–8 Hz	10,000	$4 \times 10^4 / f^2$	–
8–25 Hz	10,000	$5000 / f$	–
0.025–0.8 kHz	$250 / f$	$5 / f$	–
0.8–3 kHz	$250 / f$	6.25	–
3–150 kHz	87	6.25	–
0.15–1 MHz	87	$0.92 / f$	–
1–10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0.92 / f$	–
10–400 MHz	28	0.09	2
400–2000 MHz	$1.375 \times f^{1/2}$	$0.0046 \times f^{1/2}$	$f / 200$
2–300 GHz	61	0.2	10

f : frequencies as indicated in the column of frequency range.

testing this hypothesis is the absence of a consensus on the effects of LF-EMR or ELF-EMR on the organism at organ, tissue, cell, or molecular level (Ruiz-Gómez et al., 2009).

Koifman (1993) suggested that EMR might be carcinogenic, and this proposition was subsequently supported by the findings of the “UK Childhood Cancer Study Investigators” (UKCCS, 1999). However, the International Agency for Research on Cancer (IARC) only began to consider LF and ELF electromagnetic fields as possible carcinogens (category 2B) after publication of the pooled analysis by Ahlbom et al. (2000) and Greenland et al. (2000). No classification of RF electromagnetic fields has been proposed (Schüz and Ahlbom, 2008).

Research has especially focused on the extremely low frequencies used in electrical power lines (50–60 Hz) (Carrubba and Marino, 2008; Coulton et al., 2004; Girgert et al., 2005; IARC and Working Group, 2002), and on radiofrequencies (RF: 3 kHz to 300 MHz) and microwaves (MW: 300 MHz to 3 GHz) typically used for cell phone transmissions (Valentini et al., 2007). The thermal effects of EMR via direct energy transfer are well established, while possible non-thermal effects are controversial (Carrubba and Marino, 2008; Coulton et al., 2004; de Pomerai et al., 2003; del Vecchio et al., 2009; Diem et al., 2005; Girgert et al., 2005). In fact, microwaves have been reported to exert non-thermal effects in biological systems, at least partially arising from alterations in the conformation of cellular proteins (de Pomerai et al., 2003).

It has also been suggested that ELF-EMR influences proliferation and DNA damage in both normal and tumor cells through the action of free radical species, with no significant temperature difference between culture media of exposed and unexposed cells (Wolf et al., 2005). Other studies revealed an increase in DNA single-strand breaks in cells of rats exposed to 2.45 GHz (Paulraj and Behari, 2006). However, it was also reported that oxidative DNA damage does not significantly contribute to the DNA fragmentation observed in human fibroblasts after ELF-EMR exposure (Focke et al., 2010). It was recently demonstrated that the DNA molecule can be adversely affected by intermittent exposure to ELF-EMR, which may explain the relationship between LF-EMR and childhood leukemia and would support the classification of EMR as a potential genotoxin (Ivancsits et al., 2002). In this context, Binhi (2008) reported that magnetic nanoparticles found in some organisms played a role in increasing the concentration of free radicals within cells, which may explain the genotoxic action exerted by LF-EMR on the DNA molecule of hematopoietic stem cells.

There have been recent reports of other types of EMR exposure, especially through contact currents or voltages, e.g., from the voltage between water pipes and earth. Contact currents can also result from induction caused by magnetic fields from nearby heavily loaded power lines. This form of exposure is more likely in residences with high magnetic fields, in which contact current from metallic fixtures during the bathing of children may lead to elevated bone-marrow doses of induced currents (Kavet and Zaffanella, 2002; Brain et al., 2003). Unfortunately, there are few data on the role of contact voltages, and further research is required in this area.

Various *in vitro* studies and animal experiments found that simultaneous exposure to ELF radiation enhanced the effects of physical or chemical carcinogens, showing positive associations with a non-linear dose–response curve for energy fields between 1 and 3 mT (Juutilainen et al., 2006).

In considering the relationship with childhood leukemia, the timing of exposure is an important issue, as is the history of exposure, including occupational exposure of the parents of children, especially of the mothers during pregnancy. Some authors have linked exposure to NIR with the risk of abortion or a moderate increase in the risk of ALL (Lee et al., 2002; Li et al., 2002; Infante-Rivard and Deadman, 2003). There have also been reports of overexposed fetuses in women receiving EMR doses within the established limits (Wu et al., 2007; Cech et al., 2007; Leitgeb and Cech, 2008).

3. Methods

We reviewed the scientific publications between 1979 and 2008 that include examination of the association between human exposure to NIR (LF-EMR, ELF-ERM, and/or RF) and childhood leukemia. The MEDLINE/PubMed database was first searched for papers written in English or Spanish, using the key words electromagnetic fields and childhood leukemia. References cited in these papers were also examined for any additional publications. Studies were then selected according to the following criteria: 1) the type of design and the study population are reported; 2) the type and timing of exposure are defined *a priori*, and 3) the statistical methods are described.

Issues of major interest were the methods (direct or indirect) used to measure exposure and data on the variables influencing the exposure of parents. Direct assessments of EMR exposure included spot measurements of the strength of electromagnetic fields (magnetic flux density) at 24 and 48 h and at 1 week.

4. Results

Selected studies were classified according to the type of NIR (LF-EMR, ELF-ERM or RF) as summarized below.

4.1. Non-ionizing radiation: low and extremely low-frequency electromagnetic fields

Table 3 lists studies on the association between LF/ELF NIR and childhood leukemia. They are divided between two time periods: 1979–2000 and 2001–2008, because the meta-analyses by Ahlbom et al. (2000) and by Greenland et al. (2000) represented a turning point in exposure assessment and results.

4.1.1. First period (1979–2000)

Before 2000, exposure to ELF radiation was estimated according to the distance from normal-to-high-voltage overhead power lines, using the wire code method. This method offers an indirect measurement of residential exposure to magnetic fields produced by electrical currents as a function of the distance from the residence to the electric power line, also taking into account the characteristics (e.g., wire-size) and location of the line.

We highlight the epidemiological study by Wertheimer and Leeper (1979) with a case–control design. It included patients with childhood leukemia diagnosed between 1976 and 1977 and living in Colorado (USA) and compared them with controls from 1950 to 1973. Children highly exposed to ELF radiation were found to have a two-fold higher risk of developing leukemia versus children with lower exposure (OR 2.28; 95% CI 1.34–3.91). This study was the first to propose and use the wire code approach, which was later considered to introduce a bias that invalidated results to some degree (Jones et al., 1993; Savitz and Poole, 2001; Schüz, 2007).

Greenland et al. (2000) analyzed 15 available studies and described a higher overall risk of leukemia with an OR of 1.65 (95% CI 1.15–2.36) in children exposed to magnetic fields above 0.3 μ T in comparison to children exposed to fields <0.1 μ T. The pooled analysis by Ahlbom et al. (2000) considered the results of 9 studies, involving a total of 3203 children with leukemia and ten thousand controls, and calculated a higher risk (RR 2.0; 95% CI 1.27–3.13) for children exposed to $\geq 0.4 \mu$ T radiation versus those exposed to <0.1 μ T. Therefore, both pooled analyses described a similar increase in risk with higher levels of magnetic field.

4.1.2. Second period (2001–2008)

2001 saw the first publication of studies using a direct method to estimate exposure to EMR. It is based on spot measurements in rooms, especially bedrooms, determining mean exposure values for 24 h,

Table 3
Childhood leukemia epidemiologic studies: low and extremely low-frequency electromagnetic fields.

Authors	Country, study period, design	Exposure assessment	Exposure category	Outcome [95% CI]
Wertheimer and Leeper (1979)	USA (Colorado) 1950–1973 Case–control: 344 cancer deaths and controls from birth registry	Wire codes	LCC ^a (birth address) HCC	OR: 2.28 [1.34–3.91]
Ahlbom et al. (2000)	Pooled analyses of 9 studies	24/48-hour magnetic field measurements or calculated magnetic fields	<0.1 µT 0.1–0.2 µT 0.2–0.4 µT ≥0.4 µT	RR: 1.08 [0.89–1.31] RR: 1.11 [0.84–1.47] RR: 2.00 [1.27–3.13]
Greenland et al. (2000)	Meta-analyses with 15 studies	Wire code, 24/48-hour magnetic field measurements or calculated magnetic fields	≤0.1 µT 0.1–0.2 µT 0.2–0.3 µT >0.3 µT	OR: 1.00 [0.81–1.22] OR: 1.13 [0.92–1.39] OR: 1.65 [1.15–2.36]
Feychting et al. (2000)	Sweden Children born between 1976–1977, and 1981–1982 Cohort of 235,635 children	Parental occupational exposure before conception	Father occupational exposure ≥ 0.3 µT Mother occupational exposure ≥ 0.3 µT Parental occupational exposure ≥ 0.3 µT	RR: 2.0 [1.1–3.5] RR: 1.2 [0.5–2.4] RR: 4.7 [1.2–18.2]
Schüz et al. (2001)	West Germany 1993(90)–1997(94) Case–control: 514 cases from cancer registry and 1301 controls from population registry	24-h measurements in child's bedroom, living room and perimeter measurements	<0.1 µT (MD 24 h) ^a 0.1–0.2 µT 0.2–0.4 µT ≥0.4 µT <0.1 µT (MD night-time) ^a 0.1–0.2 µT 0.2–0.4 µT ≥0.4 µT	OR: 1.15 [0.73–1.81] OR: 1.16 [0.43–3.11] OR: 5.81 [0.78–43.2] OR: 1.42 [0.90–2.23] OR: 2.53 [0.86–7.46] OR: 5.53 [1.15–26.6] RR: 1.80 [1.20–2.07]
Li et al. (2002)	USA (San Francisco) Prospective cohort of pregnant women: 969 cases	24-hour personal exposure and miscarriage	<1.6 µT ≥1.6 µT ≥1.6 µT (miscarriages – 10 weeks of gestation)	RR: 3.1 [1.3–7.7]
Infante-Rivard and Deadman (2003)	Canada (Québec) 1980–1993 Case (ALL)–control	Cumulative maternal occupational exposure throughout pregnancy Three measurements: cumulative, average and maximum levels	≥0.4 µT Only working women All studied women	OR: 2.2 [1.2–4.2] ^b OR: 2.3 [1.3–4.0] ^b OR: 2.3 [1.2–4.3] ^c OR: 2.3 [1.3–4.0] ^c
Draper et al. (2005)	England and Wales 1962–1995 Case–control: 29,081 cases and 29,081 controls from registries	Distance of residence to the nearest overhead power line	≥600 m (from power line) ^a 200–600 m <200 m	RR: 1.22 [1.01–1.47] RR: 1.68 [1.12–2.52]
Kabuto et al. (2006)	Japan (metropolitan areas) 1999–2001 Case–control: 321 cases from several registries and 634 controls from residential registry	Measurement of 7-day measurements in child's bedroom, Spot measurements inside and outside the house	(ALL + AML) <0.1 µT (1 week TWA) ^a 0.1–0.2 µT 0.2–0.4 µT ≥0.4 µT <0.1 µT (1 week night-time) ^a 0.1–0.2 µT 0.2–0.4 µT ≥0.4 µT (ALL) <0.1 µT (1 week TWA) ^a 0.1–0.2 µT 0.2–0.4 µT ≥0.4 µT	OR: 0.93 [0.51–1.71] OR: 1.08 [0.51–2.31] OR: 2.77 [0.80–9.57] OR: 0.97 [0.52–1.79] OR: 1.08 [0.47–2.47] OR: 2.87 [0.84–9.88] OR: 0.87 [0.45–1.69] OR: 1.03 [0.43–2.50] OR: 4.67 [1.15–19.0]
Feizi and Arabi (2007)	Iran Case–control: 60 cases and 59 controls	Distance of residence to high-voltage overhead power lines (≤500 m) Intensities of magnetic fields calculated by mean intensity of electrical current and other line characteristics	>0.45 µT 0.6 µT 0.35 µT	OR: 8.67 [1.74–58.40] OR: 3.60 [1.11–12.39]
Mejia-Arangure et al. (2007)	Mexico (Mexico-City) 1995–2003 Case–control Children with Down's syndrome and acute leukemia	Spot measurements at front door; wire coding.	<0.1 µT (spot) ^a 0.1–0.4 µT 0.4–0.6 µT ≥0.6 µT Low according to Kaune-Savitz ^a Medium High	OR: 0.94 [0.37–2.4] OR: 0.88 [0.15–5.1] OR: 3.70 [1.05–13] OR: 5.8 [0.92–37] OR: 4.1 [0.66–25]

AML: acute myeloid leukemia, ALL: acute lymphoblastic leukemia, HCC: high-current code, LCC: low-current code, MD: median, OR: odds-ratio, RR: relative risk, TWA: time-weighted average.

^a Reference category.

^b Adjusted (child age and sex).

^c Adjusted: child age and sex, and maternal age.

48 h, and 1 week, while also considering the distance from high-voltage power lines. Account also began to be taken of maternal exposure during pregnancy and the occupational exposure of the parents. However, these improved measurement methods yielded similar outcomes and conclusions to those obtained in the first period (1979–2000).

Schüz et al. (2001) and Kabuto et al. (2006) conducted studies of exposure to NIR for 24 h and one week, respectively, using spot measurements of magnetic fields. No statistically significant associations with childhood leukemia were obtained. However, when exposure exceeded $0.4\mu\text{T}$, the risk was estimated to be five-fold higher (OR 5.81; 95% CI 0.78–43.2) by Schüz et al. (2001) and more than two-fold higher (OR 2.77; 95% CI 0.80–9.57) by Kabuto et al. (2006), using $0.1\mu\text{T}$ as reference category. Kabuto et al. also found a statistically significant risk (OR 4.7; 95% CI 1.15–19) for ALL.

One of the largest investigations into magnetic fields and childhood cancer was conducted by Draper et al. (2005) in England and Wales. In their epidemiological case–control study, the distance from the residence to high-voltage power lines was related to the relative risk of childhood leukemia, finding a significant risk for distances of 200–600 m (RR 1.22; 95% CI 1.01–1.47) and for distances less than 200 m (RR 1.68; 95% CI 1.12–2.52). Feizi and Arabi used the same approach in a residential area in northwest Iran, comparing between residences less and more than 500 m from high-voltage power lines ($>4.5\mu\text{T}$) and obtaining an OR of 3.6 for the former (95% CI 1.11–12.39) (Feizi and Arabi, 2007). The authors concluded that the presence of high-voltage overhead power lines within 500 m of residential areas should be considered a risk factor for acute childhood leukemia. Mejia-Arangure et al. (2007) examined the effect of exposure to EMR in children with Down's syndrome and diagnosed with acute leukemia. They found a higher risk of leukemia (OR 3.7; 95% CI 1.05–13) for magnetic fields $\geq 0.6\mu\text{T}$.

Li et al. (2002) studied 969 cases of childhood leukemia in San Francisco, where they collected information on reproductive health. They studied women at ≤ 10 weeks of gestation and found no risk of miscarriage in those exposed to $<1.6\mu\text{T}$ but a high risk (RR 1.8; 95% CI 1.2–2.07) in those exposed to $>1.6\mu\text{T}$. The association was stronger for women with a history of previous miscarriage or sub-fertility (RR 3.1; 95% CI 1.3–7.7).

Infante-Rivard and Deadman (2003) investigated the association between childhood leukemia and cumulative exposure to NIR during pregnancy in an epidemiological case–control study of 491 children (0–9 years) diagnosed with leukemia in Quebec between 1980 and 1993. Estimation of maternal exposure during pregnancy took account of: a) the cumulative exposure in μT -days, b) mean exposure, and c) maximum exposure. The results suggest that children of mothers exposed to electromagnetic fields $\geq 0.4\mu\text{T}$ during pregnancy had an increased risk of leukemia (OR 2.2; 95% CI 1.2–4.2). Results were similar (OR 2.3; 95% CI 1.2–4.3) when potential confounding variables were included in the model (age and sex of children and age of mothers). Other studies have also reported an association between residential exposure to $>0.4\mu\text{T}$ NIR and childhood leukemia (Ahlbom et al., 2000; Feychting et al., 2000).

A cohort study conducted in Sweden by Feychting et al. (2000) showed an increased risk of leukemia in 10-year-old children whose parents had been exposed to $\geq 0.3\mu\text{T}$ (RR 4.7; 95% CI 1.2–18.2), although this increase only reached significance in the boys (RR 2.2; 95% CI 1.0–4.5). Occupational exposure studies have in general suggested that children of mothers exposed during pregnancy to high levels of electromagnetic fields ($\geq 0.4\mu\text{T}$) have a moderately increased risk of ALL (Feychting et al., 2000; Infante-Rivard and Deadman, 2003; Pearce et al., 2007).

No study of this type has yet been carried out in Spain. However, exposure to ELF-EMR in Spanish schools was assessed by Tardón et al. (2002) in the cities of Oviedo and Barcelona and by Paniagua et al. (2002)

in the region of Extremadura. Both groups measured 24-h exposure levels (in classrooms, playground, etc.) and determined the distance from power lines. Mean exposure levels were similar in both cities ($0.016\mu\text{T}$ for Barcelona and $0.015\mu\text{T}$ for Oviedo), with higher maximum exposure levels in Barcelona ($0.057\mu\text{T}$) than in Oviedo ($0.017\mu\text{T}$). Values never exceeded $0.3\mu\text{T}$ in Oviedo but were much higher in three sites in Barcelona ($0.62\mu\text{T}$, $0.49\mu\text{T}$, and $0.43\mu\text{T}$). With regard to sources of exposure, no transmission lines were located within the study area in four of the schools selected, whereas lines ran along the walls of classrooms in two other schools and were underground (at depth of 50 cm) in others. Paniagua et al. (2002) found generally low values in classrooms, offices, and leisure areas, but reported a mean value of $1.17\mu\text{T}$ and maximum value of $37\mu\text{T}$ in laboratories, which may be attributable to the presence of computers. Similar findings were described by Tardón et al. (2002). EMR levels found in the laboratories were similar to values estimated for professionally exposed workers (Merchant et al., 1994). These authors did not measure the daily total exposure and were therefore unable to estimate the proportion of exposure received by children during school hours. The authors concluded that proximity to power lines did not appear to be the main source of exposure to EMR and that the distribution of power transmission lines, underground cables, and other sources (e.g., transformers and electrical equipment) in the school may have significantly contributed to the children's exposure.

4.2. Non-ionizing radiation: radio frequency electromagnetic fields

Very few publications have investigated the effects on human health of exposure to NIR in the range of radio frequencies and microwaves, and most of these epidemiological studies had an ecological design, comparing leukemia incidence rates in different populations using aggregate data on exposure and disease, not individual data (Table 4).

In 2002, Michelozzi et al. analyzed the incidence of leukemia in the Vatican (Rome, Italy) between 1987 and 1999 and its relation to the Radio Vatican transmitter (Michelozzi et al., 2002). According to the 1991 census, 49,656 people lived within 10 km of the transmitter. The risk of childhood leukemia was higher for children living within 6 km (standardized incidence rate, SMR 2.2; 95% CI 1.0–4.1), observing a significant decline in risk with increasing distance ($p = 0.036$). The authors also reported an association between survival and the distance from the transmitter. However, the results of this study were limited by the small number of cases included ($n = 8$) and the absence of other exposure data.

Hocking and Gordon (2003) studied the incidence of childhood leukemia as a function of the distance from TV transmitters, finding an increased risk of leukemia in children living within a radius of less than 4 km compared with those living in a radius of 4 to 12 km. The mortality rate ratio between the inner and outer ring was 2.1 (95% CI 1.1–4.0), very similar to the findings reported by Michelozzi.

A case–control study in South Korea (Ha et al., 2007) examined exposure to amplitude modulated (AM) radio frequency from 31 towers and 49 antennas, transmitting with a power ≥ 20 kW and operating 24 h/day. The study included 1928 cases of leukemia diagnosed between 1993 and 1999 and 3082 controls. The estimated cancer risk was adjusted for socioeconomic status, area of residence, and population density. The risk of leukemia was higher in communities with low population density or lower economic status, but the differences were not statistically significant. The risk was significantly greater for children living within 2 km of AM source in comparison to those residing at distances >20 km (OR: 2.15; 95% CI 1.00–4.67). However, they did not find an increased risk of leukemia with shorter distance from the source, a decrease in risk with increasing inverted quadratic distance, or the linear dose–response relationship suggested by Michelozzi et al. (2002). When the analysis

Table 4
Radio frequency electromagnetic fields studies.

Authors	Country, study period, design	Exposure assessment	Exposure category	Outcome [95% CI]			
Michelozzi et al. (2002)	Italy (Rome/Vatican) 1987–1999 Ecologic: 8 cases out of 49,656 inhabitants	Measurements of all transmissions (5–600) kW Cumulative areas around the radio station.	RF				
			Distances (0–2) km	SMR: 6.1 [0.40–27.5]			
			Distances (0–4) km	SMR: 2.9 [0.7–7.6]			
			Distances (0–6) km	SMR: 2.2 [1.0–4.1]			
			Distances (0–8) km	SMR: 1.5 [0.7–2.7]			
Hocking and Gordon (2003)	Australia (Sydney) Ecologic: 123ALL cases	Measurements of RF (TV towers): In an inner ring (radius of 4 km) of 3 municipalities surrounding TV towers, compared with outer ring (radius between 4–12 km) of 6 municipalities surrounding TV towers	AMF				
			Mortality ratio inner ring compared with outer ring.	RR: 2.1 [1.1–4.0]			
			Ha et al. (2007)	South Korea 1993–1999 Case–control: 1928 cases and 3082 controls from the national medical insurance data system	31 towers of ≥ 20 kW power, operating 24 h/day	AMF	
						Distance 20 km	
						Distance ≤ 2 km	
All leukemia	OR: 2.15 [1.00–4.67]						
Merzenich et al. (2008)	West Germany 2005–2007 Case–control: 1959 cases from the German childhood cancer registry, and 5848 controls	High-power radio and TV broadcast towers, 1 AM and 8 FM/TV transmitters	Lymphotic leukemia (continuous)	OR: 1.60 [0.69–3.72]			
			Lymphotic leukemia (categorical)				
			Second quartile	OR: 1.39 [1.04–1.86]			
			Third quartile	OR: 1.59 [1.19–2.11]			
			Distances (10–15) km				
			ALL				
			Distances (0–<2) km	OR: 1.31 [0.80–2.15]			
			Distances (2–6) km	OR: 0.82 [0.66–1.03]			
			Distances (6–10) km	OR: 0.76 [0.63–0.91]			
			AML				
			Distances (0–<2) km	OR: 0.19 [0.02–1.47]			
			Distances (2–6) km	OR: 0.75 [0.45–1.24]			
			Distances (6–10) km	OR: 1.00 [0.68–1.47]			
(ALL + AML)							
Distances (0–<2) km	OR: 1.04 [0.65–1.67]						
Distances (2–6) km	OR: 0.81 [0.66–0.99]						
Distances (6–10) km	OR: 0.79 [0.67–0.93]						

AMF: frequency modulated amplitude; AML: acute myeloid leukemia; ALL: acute lymphoblastic leukemia; SMR: standardized mortality ratio; RF: radio frequency.

was conducted separately for ALL and acute myeloid leukemia (AML), the total exposure to RF showed only a significant association with ALL ($p = 0.06$) but not with AML. Children were classified according to the exposure received, and those receiving a higher level of exposure had an increased risk of ALL, with an OR of 1.39 (95% CI 1.04–1.86) for the second quartile and of 1.59 (95% CI 1.19–2.11) for the third quartile in comparison to the first quartile.

Between 2005 and 2007, Merzenich et al. performed a case–control study in Germany, including 1959 cases (diagnosed between 1984 and 2003) and 5848 matched controls. The most frequent diagnosis among the cases was ALL (81.0%) (Merzenich et al., 2008). They investigated the distribution of RF (dB [microvolts/m]) from all radio/TV stations a year before diagnosis and the distance between the residence of study subjects and the nearest station. They compared individuals residing ≤ 2 km distant and at 30 km from a radio/TV station and found that the distance was an important determinant of exposure to RF EMR, with a considerable variation in exposure from 85 dB to >120 dB (microvolts/m) at intermediate distances (20 km). However, the authors found no significant difference in the risk for any type of leukemia as a function of the distance from either AM or FM/TV transmitters.

5. Discussion

Most of the studies reviewed here found an association between exposure to EMR and the risk of childhood leukemia, although statistical significance was not always reached. Taking into account exposure values of ≥ 0.3 μ T, the risk of cancer is significant and greater than 1 in the majority of datasets analyzed in our review (Table 3), despite the wide interval ranges in some of them. In fact, half ($n = 20$) of these datasets show statistically significant increases and none yields a statistically significant decrease. Hence, according to this epidemiological evidence, there is an increased risk of leukemia in

children exposed to low electromagnetic fields of ≥ 0.3 μ T. However, the authors that detected an association generally attributed it to confounding factors, potential biases, misclassifications of exposure, or simple chance. For this reason, no definitive conclusions can be drawn at this point in time.

Given the uncertainty on this issue, it seems appropriate to clarify some key aspects of the research to date. Different methods have been used to estimate exposure. Some authors measured exposure indirectly, by using the original wire code method developed by Wertheimer and Leeper (1979) or a modification (Leeper et al., 1991; Savitz and Kaune, 1993). Their results have not significantly differed from those obtained by direct methods, e.g., 24-h spot measurements (Thomas et al., 1999; Angelillo and Villari, 1999).

Numerous researchers have claimed that indirect measurements are susceptible to error and are not valid for the quantification of exposure to NIR (Jones et al., 1993; Savitz and Poole, 2001). Besides, the data used in many of the studies are from registers and censuses or are approximations derived from epidemiological questionnaires that are not always designed to establish the timing and duration of exposure or to collect data on potentially confounding variables (e.g., place of residence, occupation, and living habits). The use of questionnaires often leaves researchers at the mercy of the quality and validity of the questions and faces them with problems of legibility or absence of annotations. These drawbacks limit the possibility of obtaining reliable information and can produce misclassifications of exposure (Delgado Rodríguez and Palma Pérez, 2006). Variability in study populations and in epidemiological design may also contribute to the disparity in results to date (Delgado Rodríguez and Palma Pérez, 2006).

Hence, discrepancies among the conclusions of the studies in this review may also be influenced by confounding factors, selection bias, and misclassification (ICNIRP, 2001; Wartenberg, 2001; Greenland, 2003; Kheifets and Shimkhada, 2005; Kundi, 2007; Kheifets and

Oksuzyan, 2008; Schüz and Ahlbom, 2008). It is difficult to identify confounding factors when knowledge of the etiology of the disease is incomplete, as in the case of childhood leukemia. Speculative hypotheses are usually proposed to explain away observations of an association between exposure to magnetic fields and childhood leukemia (Kheifets and Shimkhada, 2005). The fact that we live in a complex EMR environment with a multiplicity of exposures makes it especially complicated to interpret population studies on EMR. We are now exposed to all types of electrical pollution from various sources and at myriad frequencies, confounding our ability to assess the contribution of a single determinant. This adds to the value of research performed before the current ubiquitous electrical excess.

Misclassification of exposure may mask association with the disease or understate its magnitude (ICNIRP, 2001; Greenland and Kheifets, 2006). However, it is unlikely that only one design flaw has a consistent effect across studies and represents the sole explanation for the alleged association (Wartenberg, 2001; Kheifets and Oksuzyan, 2008; Schüz and Ahlbom, 2008). Selection bias would be another factor to consider in the interpretation of these results. Most of the data suggesting an increased risk of childhood leukemia are usually based on relatively small numbers of exposed children, and some social levels have been underrepresented in the reviewed studies.

Investigations into the damage produced during the first years of life should consider exposure before and during pregnancy. Birth defects can result from genetic or epigenetic damage as well as from effects on the embryo or fetus, and both may be related to environmental exposure of the parent before conception or during the pregnancy (Wu et al., 2007; Cech et al., 2007; Leitgeb and Cech, 2008). It is therefore critical for researchers to define *a priori* the type and “window” of exposure to be assessed. For example, maternal exposure to NIR during organogenesis has been proposed as a cause of defects observed in early life (Feychting et al., 2000; Lee et al., 2002; Li et al., 2002; Infante-Rivard and Deadman, 2003; Pearce et al., 2007). It has also been suggested that exposure of the father may play a role in some congenital defects through epigenetic or genetic damage to germ cells (Jensen et al., 2004).

According to the WHO Experts' Committee of Electromagnetic Fields and Public Health (WHO: www.who.int/emf), between 1% and 4% of children in the world are exposed to magnetic fields above 0.4 μT. Current exposure limits for the general public are based on known thermal effects, in the range of 100 μT range at 50 Hz and higher frequencies (Table 2) (ICNIRP, 1998). Moreover, current safety levels are based on short-term or immediate effects, and cancers and other diseases can have a long latency period. However, the Spanish “Declaration of Alcalá” (2002) called for safety levels to be reviewed in the light of growing evidence of biological effects at lower levels that are not associated with an increase in temperature (Havas, 2002). The majority of the evidence comes from *in vitro* laboratory and animal studies, and is of very limited use for determining health risk (Ruiz-Gomez and Martinez-Morillo, 2009). Nevertheless, epidemiological evidence to date and the severity of the potential harm, especially to children, would argue in favor of application of the precautionary principle. Several reports have recommended use of the precautionary principle for these exposures [Kundi et al., 2009; Herberman, 2008; International Commission for Electromagnetic Safety (ICEMS) 2008; Committee on Non-Ionizing Radiation Protection 2008; Sage et al. 2007]. It is essential to achieve an international standardization of regulatory levels, supporting the adoption of preventive measures to reduce exposures and facilitating comparisons among countries.

Studies to date have not convincingly confirmed or ruled out an association between NIR and the risk of childhood leukemia. Methodological problems to be solved include the proper diagnostic classification of individuals and the estimated exposure to non-ionizing radiation, which may act through various mechanisms of action. There appears to be an urgent need to reconsider exposure limits for low frequency and static magnetic fields, based on sound

epidemiological research into the relationship between exposure to NIR and adverse human health effects. In the meantime, it would be advisable to adopt a precautionary approach to NIR (RF, MW), limiting body exposure whenever possible and feasible. Further research on the effects of this radiation is required to improve the basis and reliability of the safety standards.

In summary, the epidemiological evidence reviewed in this article reveals a consistent pattern of increased leukemia incidence in children exposed to low electromagnetic fields. This increase is pronounced in children exposed to fields greater than 0.3 μT but can also be observed in weaker fields. However, all of the studies in this area are affected by various confounding variables that make it difficult to conclusively establish a causal relationship at this juncture.

6. Possible future actions

1) Combined laboratory and epidemiological research is warranted to analyze DNA damage in exposed individuals and their offspring as a function of their exposure level, e.g., using COMET or micronucleus assays to study lymphocytes from these populations.

2) It would be useful to establish exposure profiles for different child populations by considering the timing of exposure, particularly during special windows of susceptibility (e.g. pregnancy) region, and the occupational exposure of parents. It would also be of interest to analyze the contribution of different sources to total NIR exposure and to examine differences in exposure for different days of the week, among other variables. Personal dosimeters have been recommended for the estimation of the exposure of populations.

3) It is important to investigate adverse effects to a lower level of exposure than is classically used for risk estimations ($\geq 0.3 \mu\text{T}$), comparing between groups with low and high exposure to NIR.

4) It is desirable to consider exposure to electromagnetic fields as a whole, simultaneously measuring electrical and magnetic fields. Most of the studies in the present review solely investigate magnetic fields, which may lead to an underestimation of exposure levels.

Acknowledgments

The authors are grateful to Richard Davies for editorial assistance. This research was supported by grants from the Spanish Ministry of Health (FIS PI080728), and the Spanish Ministry of Science and Innovation (Ramon y Cajal Program – for MFFC).

References

- Ager EA, Schuman LM, Wallace HM, Rosenfield AB, Gullen WH. An epidemiological study of childhood leukemia. *J Chronic Dis* 1965;18:113–32.
- Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, et al. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer* 2000;83:692–8.
- Angelillo IF, Villari P. Residential exposure to electromagnetic fields and childhood leukaemia: a meta-analysis. *Bull World Health Organ* 1999;77(11):906–15.
- Binhi V. Do naturally occurring magnetic nanoparticles in the human body mediate increased risk of childhood leukaemia with EMF exposure? *Int J Radiat Biol* 2008;84(7):569–79.
- Brain JD, Kavet R, McCormick DL, Poole C, Silverman LB, Smith TJ, et al. Childhood leukemia: electric and magnetic fields as possible risk factors. *Environ Health Perspect* 2003;111(7):962–70.
- Carrubba S, Marino AA. The effects of low-frequency environmental-strength electromagnetic fields on brain electrical activity: a critical review of the literature. *Electromagn Biol Med* 2008;27:83–101.
- Cech R, Leitgeb N, Padiaditis M. Fetal exposure to low frequency electric and magnetic fields. *Phys Med Biol* 2007;52:879–88.
- Coulton LA, Harris PA, Barker AT, Pockley AG. Effect of 50 Hz electromagnetic fields on the induction of heat-shock protein gene expression in human leukocytes. *Radiat Res* 2004;161:430–4.
- Declaración de Alcalá. Contaminación electromagnética y salud. Alcalá de Henares, 2002.
- de Pomerai DI, Smith B, Dawe A, North K, Smith T, Archer DB, et al. Microwave radiation can alter protein conformation without bulk heating. *FEBS Lett* 2003;543:93–7.
- del Vecchio G, Giuliani A, Fernandez M, Mesirca P, Bersani F, Pinto R, et al. Continuous exposure to 900 MHz GSM-modulated EMF alters morphological maturation of neural cells. *Neurosci Lett* 2009;455:173–7.

- Delgado Rodríguez M, Palma Pérez S. Aportaciones de la revisión sistemática y del metaanálisis a la salud pública. *Rev Esp Salud Publica* 2006;80:483–9.
- Diem E, Schwarz C, Adlkofer F, Jahn O, Rudiger H. Non-thermal DANN breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells *in vitro*. *Mutat Res* 2005;583:178–83.
- Draper G, Vincent T, Kroll ME, Swanson J. Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. *Br Med J* 2005;330:1290–4.
- Experts' Committee of Electromagnetic Fields and Public Health in our setting (2001 and 2003). Ministry of Health. Spain
- Feizi AA, Arabi MA. Acute childhood leukemias and exposure to magnetic fields generated by high voltage overhead power lines: a risk factor in Iran. *Asian Pac J Cancer Prev* 2007;8(1):69–72.
- Fernández MF, Olmos B, Granada A, López-Espinosa MJ, Molina-Molina JM, Fernández JM, et al. Human exposure to endocrine disrupting chemicals and prenatal risk factors for cryptorchidism and hypospadias: a nested case-control study. *Environ Health Perspect* 2007;115(Suppl 1):8–14.
- Feychting M, Floderus B, Ahlbom A. Parental occupational exposure to magnetic fields and childhood cancer (Sweden). *Cancer Causes Control* 2000;11:151–6.
- Focke F, Schuermann D, Kuster N, Schar P. DNA fragmentation in human fibroblasts under extremely low frequency electromagnetic field exposure. *Mutat Res* 2010;683(1–2):74–83.
- Girgert R, Schimming H, Korner W, Grundker C, Hanf V. Induction of tamoxifene resistance in breast cancer by ELF electromagnetic fields. *Biochem Biophys Res Commun* 2005;336:1144–9.
- Greenland S, Kheifets L. Leukemia attributable to residential magnetic fields: results from analyses allowing for study biases. *Risk Anal* 2006;26(2):471–82.
- Greenland S. The impact of prior distributions for uncontrolled confounding and response bias: a case study of the relation of wire codes and magnetic fields to childhood leukemia. *J Am Stat Assoc* 2003;98:47–54.
- Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsch MA. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Childhood Leukemia—EMF Study Group. Epidemiology* 2000;11:624–34.
- Ha M, Im H, Lee M, Kim BC, Gimm YM, Pack JK. Radio-frequency radiation exposure from AM radio transmitters and childhood leukemia and brain cancer. *Am J Epidemiol* 2007;166:270–9.
- Havas M. Intensity of electric and magnetic fields from power lines within the business district of 60 Ontario communities. *Sci Total Environ* 2002;298(1–3):183–206.
- Herberman RB. Memorandum: Important Precautionary Advice Regarding Cell Phone Use, 2008. Available: http://www.post-gazette.com/downloads/20080722upci_cellphone_memo.pdf.
- Hocking B, Gordon I. Decreased survival for childhood leukemia in proximity to television towers. *Arch Environ Health* 2003;58(9):560–4.
- IARC and Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non ionizing radiation, Part 1: static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Lyon: IARC Press; 2002.
- ICNIRP (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection). Review of the epidemiologic literature on EMF and health; 2001.
- ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys* 1998;74:494–522.
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Inc. Section 4.2 of "IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz," ANSI/IEEE C95.1-1992. New York, NY 10017.
- Infante-Rivard C, Deadman JE. Maternal occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields during pregnancy and childhood leukemia. *Epidemiology* 2003;14:437–41.
- Ivancsits S, Diem E, Pilger A, Rüdiger HW, Oswald J. Induction of DNA strand breaks by intermittent exposure to extremely-low-frequency electromagnetic fields in human diploid fibroblasts. *Mutat Res* 2002;519:1–13.
- Jensen M, Leffers H, Petersen JH, Nyboe Andersen A, Jørgensen N, Carlsen E, et al. Frequent polymorphism of the mitochondrial DNA polymerase gamma gene (POLG) in patients with normal spermograms and unexplained subfertility. *Hum Reprod* 2004;19:65–70.
- Jones TL, Shih CH, Thurston DH, Ware BJ, Cole P. Selection bias from differential residential mobility as an explanation for associations of wire codes with childhood cancer. *J Clin Epidemiol* 1993;46(6):545–8.
- Juutilainen J, Kumlin T, Naarala J. Do extremely low frequency magnetic fields enhance the effects of environmental carcinogens? A meta-analysis of experimental studies. *Int J Radiat Biol* 2006;82:1–12.
- Kabuto M, Nitta H, Yamamoto S, Yamaguchi N, Akiba S, Honda Y, et al. Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: a case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan. *Int J Cancer* 2006;119:643–50.
- Kavet R, Zaffanella LE. Contact voltage measured in residences: implications to the association between magnetic fields and childhood leukemia. *Bioelectromagnetics* 2002;23:464–74.
- Kheifets L, Oksuzyan S. Exposure assessment and other challenges in nonionizing radiation studies of childhood leukaemia. *Radiat Prot Dosim* 2008;132(2):139–47.
- Kheifets L, Affi AA, Shimkhada R. Public health impact of extremely low-frequency electromagnetic fields. *Environ Health Perspect* 2006;114:1532–7.
- Kheifets L, Shimkhada R. Childhood leukemia and EMF: review of the epidemiologic evidence. *Bioelectromagnetics* 2005;7:S51–9.
- Koifman S. Electromagnetic fields: a cancer promoter? *Med Hypotheses* 1993;41:23–7.
- Kundi M, Hardell L, Sage C, Sobel E. Electromagnetic fields and the precautionary principle. *Environ Health Perspect* 2009;117(11):A484–5.
- Kundi M. Evidence for childhood cancer (leukemia). Prepared for the BioInitiative Working Group. 2007. www.bioinitiative.org/report/docs/section_10.pdf.
- Lee GM, Neutra RR, Hristova L, Yost M, Hiatt RA. A nested case-control study of residential and personal magnetic field measures and miscarriages. *Epidemiology* 2002;13(1):21–31.
- Leeper E, Wertheimer N, Savitz DA, Barnes FA, Wachtel H. Modification of the 1979 Denver wire code for different wire or plumbing types. *Bioelectromagnetics* 1991;12:314–8.
- Leitgeb N, Cech R. Dosimetric assessment of simultaneous exposure to ELF electric and magnetic fields. *IEEE Trans Biomed Eng* 2008;55:671–4. 2Pt 1.
- Li DK, Odouli R, Wi S, Janevic T, Golditch I, Bracken DT, et al. A population-based prospective cohort study of personal exposure to magnetic fields during pregnancy and the risk of miscarriage. *Epidemiology* 2002;13(1):9–20.
- Maslany MP, Mee TJ, Renew DC, Simpson J, Ansell P, Allen SG, et al. Investigation of the sources of residential power frequency magnetic field exposure in the UK Childhood Cancer Study. *J Radiol Prot* 2007;27:41–58.
- McNally RJ, Parker L. Environmental factors and childhood acute leukemias and lymphomas. *Leuk Lymphoma* 2006;47(4):583–98.
- Mejia-Arangure JM, Fajardo-Gutierrez A, Perez-Saldivar ML, Gorodezky C, Martinez-Avalos A, Romero-Guzman L, et al. Magnetic fields and acute leukemia in children with Down syndrome. *Epidemiology* 2007;18:158–61.
- Merchant CJ, Renew DC, Swanson J. Occupational exposures to power-frequency magnetic fields in the electricity supply industry. *J Radiol Prot* 1994;14(2):155–64.
- Merzenich H, Schmiedel S, Bennack S, Brüggemeyer H, Philipp J, Blettner M, et al. Childhood leukemia in relation to radio frequency electromagnetic fields in the vicinity of television and radio broadcast transmitters. *Am J Epidemiol* 2008;168(10):1169–78.
- Michelozzi P, Capon A, Kirchmayer U, Forastiere F, Biggeri A, Barca A, et al. Adult and childhood leukemia near a high-power radio station in Rome, Italy. *Am J Epidemiol* 2002;155:1096–103.
- Milham S, Osslander EM. Historical evidence that residential electrification caused the emergence of the childhood leukemia peak. *Med Hypotheses* 2001;56:290–5.
- Paulraj R, Behari J. Single strand DNA breaks in rat brain cells exposed to microwave radiation. *Mutat Res* 2006;596(1–2):76–80.
- Paniagua JM, Jimenez A, Rufo M, Antolin A. Exposure assessment of ELF magnetic fields in urban environments in Extremadura (Spain). *Bioelectromagnetics* 2004;25:58–62.
- Paniagua JM, Jiménez A, Rufo M. Exposición a campos magnéticos en el ambiente educativo. *Rev Esp Fis* 2002;16(4):40–3.
- Pearce MS, Hammal DM, Tevfik D, Richard JQ, McNally Parker L. Paternal occupational exposure to electro-magnetic fields as a risk factor for cancer in children and young adults: a case-control study from the north of England. *Pediatr Blood Cancer* 2007;49:280–6.
- Ramón R, Ballester F, Rebagliato M, Ribas N, Torrent M, Fernández M, et al. Red INMA. The environment and childhood research network ("INMA" network): study protocol. *Rev Esp Salud Publica*. 2005;79(2):203–20.
- Ruiz-Gómez MJ, Martínez M, Morillo. Electromagnetic fields (14) and the induction of DNA strand breaks. *Electromagn Biol Med* 2009;28(2):201–14 Review.
- Sage C, Carpenter D, BioInitiative Working Group. BioInitiative Report: A Rationale for a Biological-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF), 2007. Available: <http://www.bioinitiative.org>.
- Savitz DA, Kaune WT. Childhood cancer in relation to a modified residential wire code. *Environ Health Perspect* 1993;101:76–80.
- Savitz DA, Poole C. Do studies of wire code and childhood leukemia point towards or away from magnetic fields as the causal agent? *Bioelectromagnetics* 2001;5:569–85.
- Schüz J, Ahlbom A. Exposure to electromagnetic fields and the risk of childhood leukaemia: a review. *Radiat Prot Dosim* 2008;1–10.
- Schüz J. Implications from epidemiologic studies on magnetic fields and the risk of childhood leukemia on protection guidelines. *Health Phys* 2007;92:642–8.
- Schüz J, Grigat JP, Brinkmann K, Michaelis J. Residential magnetic fields as a risk factor for acute childhood leukemia: results from a German population-based case-control study. *Int J Cancer* 2001;91:728–35.
- Straume A, Johnsson A, Oftedal G. ELF-magnetic flux densities measured in a city environment in summer and winter. *Bioelectromagnetics* 2008;29:20–8.
- Tardón A, Velarde H, Rodriguez P, Moreno S, Raton M, Muñoz J, et al. Exposure to extremely low frequency magnetic fields among primary school children in Spain. *J Epidemiol Community Health* 2002;56:432–3.
- Thomas DC, Bowman JD, Jiang L, Jiang F, Peters JM. Residential magnetic fields predicted from wiring configurations: II. Relationships to childhood leukemia. *Bioelectromagnetics* 1999;20:414–22.
- UKCCS (UK Childhood Cancer Study Investigators). Exposure to power-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer. *Lancet* 1999;354:1925–31.
- Valentini E, Curcio G, Moroni F, Ferrara M, De Gennaro L, Bertini M. Neurophysiological effects of mobile phone electromagnetic fields on humans: a comprehensive review. *Bioelectromagnetics* 2007;28:415–32.
- Wartenberg D. The potential impact of bias in studies of residential exposure to magnetic fields and childhood leukemia. *Bioelectromagnetics* 2001;5:S32–47.
- Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 1979;109:273–84.
- WHO (World Health Organization). www.who.int/emf.
- Wolf FI, Torsello A, Tedesco B, Fasanella S, Boninsegna A, D'Ascenzo M, Grassi C, Azzena GB, Cittadini A. 50-Hz extremely low frequency electromagnetic fields enhance cell proliferation and DNA damage: possible involvement of a redox mechanism. *Biochim Biophys Acta* 2005 Mar 22;1743(1–2):120–9.
- Wu D, Qiang R, Chen J, Seidman S, Witters D, Kainz W. Possible overexposure of pregnant women to emissions from a walk through metal detector. *Phys Med Biol* 2007;52:5735–48.

5. Discusión

5. Discusión

Este trabajo de Tesis Doctoral ha permitido caracterizar el grado de exposición a campos electromagnéticos de radiación no ionizante en población infantil de la provincia de Granada, perteneciente a la cohorte prospectiva de nacimiento INMA-Granada, así como analizar posibles efectos a corto plazo, derivados de esta exposición, en la salud de estos niños.

La importancia de conocer los niveles ambientales de exposición a bajas y altas frecuencias se originó tras revisar y analizar el estado del conocimiento sobre asociación entre exposición medioambiental a RNI y el riesgo de leucemia infantil. Las discrepancias encontradas entre los diferentes estudios ponían de manifiesto tanto problemas metodológicos en la medida de la exposición, como la existencia de diferentes sesgos indicando, en cualquier caso, la necesidad de caracterizar los niveles de CEM-RNI en poblaciones susceptibles, reflexionar sobre los límites de referencia establecidos e incluso replantear su validez (Calvente et al., 2010).

La medida de la exposición a CEM-RNI es uno de los grandes desafíos a los que se enfrentan los investigadores del área. Los CEM-RNI de fuentes artificiales se han convertido en omnipresentes en el entorno cotidiano, ya que resultan de la generación y transmisión de la energía eléctrica, del funcionamiento de equipos eléctricos, electrónicos, de telecomunicaciones, así como de actividades industriales. Establecer en este contexto de ubicuidad y complejidad los niveles de exposición a los que la población general está expuesta, es fundamental para realizar una buena evaluación de riesgo y poder así determinar si esta exposición es un factor de riesgo de enfermedad.

En este trabajo de Tesis Doctoral se ha establecido un protocolo de medida, compatible con la normativa vigente (ICNIRP, 2001; WHO, 2007), en el rango de frecuencias menores a las del espectro radioeléctrico, concretamente frecuencias < 9 kHz.

5.1. Caracterización de la exposición a CEM-RNI

Según la literatura científica, la evaluación de la exposición a CEM-RNI, se ha realizado siguiendo diferentes enfoques, que incluyen desde las *medidas directas* de la exposición [por ejemplo, medidas puntuales, medidas de larga duración o mediante la utilización de dispositivos de exposición individualizada -dosímetros personales- en periodos concretos (Armstrong et al., 2001; Vulević et al., 2011; Alonso et al., 2012; Urbinello et al., 2014 a y b)], a las *medidas indirectas* [como el sistema de código de cables, a partir de las características de las fuentes de emisión y/o la distancia a las mismas (Korpinen et al., 2014; Zhao et al., 2014; Swanson, 2013), o mediante evaluaciones de exposición ocupacional (Úbeda et al., 2011; Shah et al., 2014)].

El protocolo propuesto en este trabajo de Tesis Doctoral requirió, en primer lugar, elaborar un cuestionario epidemiológico específico con el que recoger, de la manera más detallada posible, toda la información necesaria que permitiera realizar la estimación indirecta de la exposición, en el interior y exterior de las viviendas de los participantes. El cuestionario diseñado *ad hoc* incluía todos los ítems necesarios para la caracterización de las principales fuentes de emisión, recogiendo además los patrones de actividad-tiempo de estas fuentes y de todos los miembros de la familia. La medida directa de la exposición, a campos eléctrico y magnético -de larga duración- y a campo electromagnético de RF -puntuales-, completaron el protocolo establecido.

5.1.1. Interior de las viviendas (frecuencias bajas -LF- y extremadamente bajas -ELF-)

Los valores medios de exposición, registrados en las 123 casas analizadas, se encontraron por debajo de los niveles de referencia establecidos por la normativa vigente (ICNIRP, 1998; ICNIRP, 2010), aunque se observó una gran variabilidad. Así, el 78,6% de las medidas de (ELF-LF)-EF que se realizaron durante el día, se situaron por debajo del límite de cuantificación (10 V/m), lo que, probablemente, es atribuible a la facilidad con la que este campo es apantallable. Por el contrario, el 87% de las medidas de (ELF-LF)-MF, realizadas tanto en periodo diurno como nocturno, estuvieron por encima del límite (100 nT). Al comparar los valores de inducción magnética durante el día y la noche se observó que la media aritmética de los valores diurnos fué 1,6 veces mayor que la registrada durante la noche, lo que concuerda con los pocos estudios publicados que han comparado también los niveles de exposición durante estos dos periodos de tiempo (Röösli et al., 2011; Valiê et al., 2014; Foliart et al., 2002).

Los resultados obtenidos en este trabajo se encontraban también dentro del rango de valores publicados en otros países europeos, concretamente entre 0,025-0,07 μ T para (ELF-LF)-MF (WHO, 2007). No obstante, las diferencias en las condiciones para estimar la exposición, el diseño del estudio, las estrategias de muestreo, la localización, altura y orientación de las sondas, los rangos de frecuencia seleccionados, la absorción y la reflexión de los obstáculos (Neubauer et al., 2010) dificulta la comparación de los resultados entre los diferentes estudios.

Junto a la caracterización de los niveles de exposición a CEM-RNI, en este trabajo se han identificado algunos de los posibles factores predictores relacionados, como por ejemplo el área de residencia, el tipo vivienda, o la antigüedad de la misma, entre otros. En el análisis conjunto de la exposición y de las características de las viviendas incluidas hemos encontrado, que los niños que viven en pisos, tienen niveles de exposición entre 1,07 y 1,43 más elevados que los que viven en casas ya sean adosadas o viviendas independientes. De la misma manera, los niños que viven en zonas más urbanizadas tienen valores entre 1,02 y 2,01 más elevados que los que residen en áreas menos urbanizadas; lo que se corresponde con lo descrito por otros autores (Tomitsch et al., 2010,

Brix et al., 2001; Foliart et al., 2002). El presente trabajo de Tesis Doctoral muestra también diferencias cuando se comparan las medidas registradas en las distintas estaciones del año. Así, los valores obtenidos durante el periodo primavera-verano fueron relativamente más bajos que los registrados durante el otoño-invierno, coincidiendo con lo publicado por Straume y colaboradores (Straume et al., 2008). Estos resultados pueden considerarse como una de las principales fortalezas del estudio, dada la escasez de publicaciones sobre la relación entre diferentes parámetros, como las características particulares de las viviendas, el tiempo/uso de los dispositivos que generan los campos, o su multiplicidad, y los valores de exposición cuantificados.

5.1.2. Exterior de las viviendas (radio frecuencias -RF-)

En este trabajo de Tesis Doctoral también se describen los niveles de CEM-RNI obtenidos mediante medidas puntuales de exposición medioambiental a campos electromagnéticos de radiofrecuencia, en los alrededores de las viviendas de las familias pertenecientes a la cohorte INMA-Granada. Todos los valores se situaron por debajo de los niveles de referencias establecidos, tanto nacionales (Real Decreto 1066/2001) como internacionales (ICNIRP, 1998 y 2010), y dentro del rango de valores descritos en otros países europeos (0,08 V/m- 1,8 V/m) (Gajšek, et al., 2013). El 42,3% de las medidas realizadas se encontraron por encima del límite cuantificación (200 mV/m) para campo eléctrico y el 30% por encima de la media aritmética $[(799 \pm 0,14) 10^5] \mu\text{W}/\text{m}^2$ para la densidad de potencia.

Al igual que las medidas de campo eléctrico y magnético de larga duración, las medidas puntuales de exposición a RF también mostraron una gran variabilidad. La alta heterogeneidad espacial encontrada entre las distintas zonas, así como dentro de la misma área, ha sido previamente descrita por otros investigadores. En general, la mayoría de los estudios que analizan niveles de exposición a RF en el ambiente exterior, observan que los valores evaluados no superan los límites de referencia aunque si establecen diferencias significativas entre áreas, al igual que, dentro de la misma zona (Urbinello et al., 2014a). Urbinello y colaboradores describen valores de exposición más bajos en las áreas residenciales del exterior de Basilea, con promedios de 0,09 V/m frente al valor medio de 0,63 V/m en áreas comerciales de Ámsterdam (Urbinello et al., 2014b). Estos mismos autores establecen que tanto el momento del día y como el día de la semana en el que se recogieron los datos tenían relativamente poco impacto en los valores obtenidos, aunque indicaban que la estacionalidad si era un factor a tener en cuenta (Urbinello et al., 2014a).

Además de lo descrito anteriormente, en este trabajo se han encontrado diferencias en los niveles de exposición en relación a la estación del año en la que se realizaron las medidas. Así, los valores hallados durante el otoño-invierno fueron relativamente más altos que los de primavera-verano, al igual que ocurrió para las bajas y extremadamente bajas frecuencias (ELF-LF).

Otros determinantes de exposición como son la superficie de la zona establecida (km²) y su número de habitantes, se relacionaron también con los niveles de exposición cuantificados; de manera que en áreas de mayor superficie, que solían coincidir con la de más población, fueron más altos que los encontrados en las zonas de menor superficie y menos pobladas, coincidiendo con lo descrito por otros autores (Esterberg et al., 2013; Rufo et al., 2011).

Los niveles de exposición a RF se relacionan también con el número, las características y la proximidad de las diferentes fuentes generadoras, entre las que se encuentran las antenas de telefonía móvil, wifi y radio, entre otras. Además de estos factores, la absorción y la reflexión de edificios y de otros obstáculos presentes en el área, -lo que a su vez está relacionado con la frecuencia y el ángulo de incidencia de la onda-, así como con el material, espesor y revestimiento del obstáculo (Bürgi et al., 2010) influyen también en los valores registrados. Por esta razón, antes de proceder a la medida directa de los niveles de exposición en el exterior de las viviendas, se realizó un exhaustivo trabajo de campo.

Las medidas directas de la exposición a CEM-RNI son un instrumento imprescindible a la hora de evaluar el riesgo de exposición, independientemente de que existan modelos que puedan predecirla, ya que la situación real siempre va a diferir de lo propuesto por un modelo teórico; además, las medidas directas son necesarias para comprobar los resultados obtenidos por algoritmos matemáticos, y pueden ser imprescindibles cuando no exista la posibilidad de disponer de toda la información relativa a las fuentes que los generan y/o a las características de la zona (Escobar et al., 2010). Es importante resaltar que los métodos de medición van, en la mayoría de las ocasiones, a influir en la medida del campo, por eso es importante especificar los métodos utilizados, entre otras cosas para posibilitar que el estudio pueda ser corroborado o comparar los resultados obtenidos con otros estudios (Korpinen et al., 2014). Los datos de las mediciones directas proporcionan, no obstante, una visión de la situación en un momento concreto en el tiempo. Los sistemas de comunicación, de transmisión, evolucionan, actuando en función de la demanda (Escobar et al., 2010), lo que a su vez va a determinar los valores de exposición generados.

5.2. Relación de la exposición a CEM-RNI y efectos adversos en la salud infantil

5.2.1. Efectos en funciones cognitivas y de comportamiento

Los niños son más vulnerables que los adultos frente a la exposición a CEM-RNI (Kheifets et al., 2005; Huang et al., 2013). Las propiedades bioeléctricas específicas de su sistema nervioso hace que esta población sea más susceptible a los efectos de estas y otras exposiciones

medioambientales (Huang et al., 2013). Además, sus características cerebrales particulares podrían favorecer la absorción de mayor radiación (BioInitiative Working Group, 2012).

Los trastornos neuroconductuales son cada vez más frecuentes en los niños, sin embargo su etiología aun no es conocida (Aldad et al., 2012; Wiedemann et al., 2011). Son muy pocos los estudios que han investigado las consecuencias de la exposición a CEM-RNI en niños, específicamente en relación con sus efectos en funciones cognitivas y de comportamiento. La mayoría de las investigaciones hasta ahora realizadas se han centrado en exposiciones derivadas del uso del móvil, generalmente obtenidas mediante medidas indirectas, con información derivada de cuestionarios epidemiológicos. Sin embargo, son escasos los estudios que han planteado esta hipótesis utilizando para ello medidas directas de la exposición.

Nuestros resultados indican que valores de exposición medioambientales a RF, por debajo de los niveles de referencia establecidos (ICNIRP, 1998), podrían relacionarse con un incremento de alteraciones en determinadas funciones cognitivas y problemas de comportamiento. Independientemente de que la totalidad de los valores cuantificados en este trabajo de Tesis Doctoral, se situaron por debajo de los niveles de referencia establecidos, en nuestra población de estudio, los niños expuestos a niveles más altos ($S_{RMS} \geq 285,9 \mu W/m^2$) tenían peor expresión y comprensión verbal y más problemas emocionales y de comportamiento (incluyendo problemas internalizantes -especialmente rasgos de ansiedad/depresión- y externalizantes, así como problemas sociales, rasgos obsesivos/compulsivos, además de mayor predisposición de desarrollar estrés postraumático) que los niños menos expuestos ($S_{RMS} < 285,9 \mu W/m^2$). Los resultados fueron similares si en lugar de considerar la densidad de potencia (S_{RMS}), consideramos los valores máximos de esta variable (S_{MAX}); encontrando menores puntuaciones en cociente intelectual y en competencia social, además de un mayor riesgo de síntomas de trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH) y de problemas sociales y conductuales en los más expuestos ($S_{MAX} \geq 2759,68 \mu W/m^2$). La prevalencia de problemas de comportamiento fue también mayor en este grupo.

En este sentido, otros estudios que utilizaron dosímetros personales para cuantificar la exposición, coinciden con nuestros resultados y describen posibles modificaciones de conducta en niños expuestos a CEM-RNI, en el rango de frecuencias utilizadas por la telefonía móvil (Thomas et al., 2010). Distintos trabajos en una cohorte Danesa de nacimiento relacionan también exposiciones tempranas (prenatales y postnatales) a CEM-RF con problemas de comportamiento dosis-dependiente (Divan et al., 2008 y 2012; Feychting et al., 2011). Otros autores también han encontrado asociación entre este tipo de exposición y una mayor prevalencia de TDAH (Aldad et al., 2012). Sin embargo, no todos los estudios establecen este tipo de asociación. Así, Guxens y colaboradores no encuentran relación entre uso del móvil durante el embarazo y problemas de comportamiento en los hijos, evaluados a los 5 años de edad (Guxens et al., 2013). Tampoco se

relacionó el uso del móvil durante el embarazo con problemas motores o cognitivos (desarrollo de lenguaje) cuando los niños se evaluaron a edades más tempranas, 6-18 meses (Wiedemann et al., 2011; Vrijheid et al., 2010).

La evidencia científica hasta la fecha, por tanto, no permite establecer una relación causal entre exposición a RF y desarrollo cognitivo durante la infancia. Es imprudente, además atribuir alteraciones del neurodesarrollo a una única causa. Estas alteraciones, como la gran mayoría de las patologías, son la consecuencia de un conglomerado de factores que se producen básicamente a tres niveles: biológico (alteraciones bioquímicas, metabólicas, e incluso anatómicas), psicológico (aprendizaje, vivencias), y también social (ambiente, cultura). Un ejemplo, en este sentido, es el estudio longitudinal en el que participaron 2422 niños coreanos, de 27 colegios de primaria, cuyo desarrollo neuroconductual fue examinado a lo largo de dos años. Los investigadores querían establecer la relación entre el uso del teléfono móvil y los síntomas de TDAH, estudiando si la co-exposición a plomo ejercía alguna modificación del efecto observado (Byun et al., 2013). Los resultados encontrados por estos autores sugieren que la exposición simultánea a un neurotóxico y a RF incrementa el riesgo de presentar síntomas de TDAH (Byun et al., 2013).

En resumen, los resultados de nuestro estudio indican que bajos niveles de exposición a RF podrían estar asociados con funciones cognitivas y de conducta inadecuadas en niños evaluados a los 9-10 años. A fin de cuantificar la importancia de estos hallazgos para el desarrollo mental y conductual en el niño, se deberían realizar más estudios longitudinales que evalúen el impacto en el funcionamiento neuroconductual a largo plazo y que establezcan los efectos de los actuales valores de referencia a CEM-RF.

5.2.2. Leucemia infantil: Una revisión de la literatura científica

La relación entre exposición a CEM-RNI y leucemia infantil ha sido motivo de estudio durante las últimas décadas (Karipidis, 2014; Calvente et al., 2010). Un reciente metaanálisis con un total de 11699 casos y 13194 controles, ha estratificado la exposición con distintos puntos de corte, estableciendo un mayor riesgo de enfermedad para aquellos niños expuestos a niveles de intensidad de campo magnético $\geq 0,4 \mu\text{T}$, cuando se comparan con los expuestos a los niveles de referencia establecidos ($< 0,1 \mu\text{T}$), tanto para el total de leucemia, OR = 1,57; 95% CI = 1,03-2,40, como para la leucemia linfocítica aguda, OR= 2,43; 95% CI = 1,30-4,55. Cuando se considera un nivel de exposición menor (como punto de corte $< 0,2 \mu\text{T}$, los sujetos expuestos a valores superiores ($\geq 0,2 \mu\text{T}$) también tienen un mayor riesgo de leucemia (OR = 1,31, 95% CI = 1,06-1,61) respecto a los menos expuesto (Zhao et al., 2014). Esta evidencia epidemiológica, de incremento del riesgo de leucemia en población infantil expuesta a valores por encima de $0,2 \mu\text{T}$ de campo magnético de RNI, no permite establecer, sin embargo, una relación causal entre exposición

y enfermedad, ya que aún no se han establecido los mecanismos de acción implicados, además del hecho de que no todos los estudios realizados encuentran asociaciones positivas (SCENIHR, 2013; BioInitiative Working Group, 2012).

Con respecto a la relación entre exposición a CEM-RF y leucemia infantil, hay falta de pruebas y escasez de estudios bien diseñados tratando de verificar esta hipótesis. Hasta la fecha, se han realizado tres estudios de casos-controles, uno de ellos de clúster y cuatro estudios ecológicos, con resultados variables (Teepen et al., 2012; Ha et al., 2007; MasKarinec et al., 1994; Merzenich et al., 2008; Cooper et al., 2001; Dolk et al., 1997; Mckenzine et al., 1998; Michelozzi et al., 2002).

Las discrepancias encontradas entre los diferentes estudios publicados podrían deberse, en muchas ocasiones, a factores de confusión, sesgos de selección y errores de clasificación, además de diferentes criterios de inclusión, tamaño de muestra, diversos puntos de corte, o diferencias en los métodos de evaluación de la exposición, entre otros (Calvente et al., 2010; Zhao et al., 2014). Además, de que la etiología de la leucemia infantil es, en gran parte desconocida, no debemos olvidar que esta patología es probablemente multifactorial, y que la exposición a CEM-RNI puede ser una de las exposiciones ambientales involucradas (Teepen et al., 2012).

Distintos informes sobre campos electromagnéticos y salud pública, publicados entre 2001 y 2003, recogen el dato de que menos del 1% de los niños europeos están expuestos a niveles residenciales por encima de los 0,4 μ T (Comité de Expertos, 2001 y 2003); exposición para la que el estudio de Ahlbom y colaboradores infiere el doble de riesgo de leucemia infantil, (riesgo relativo 2.00 (1.27-3.13), valor de $P = 0.002$) del todo improbable atribuible al azar según estos investigadores (Ahlbom et al., 2000). Nuestros resultados indican que durante el día, el 3,42% de los niños, estudiados en este trabajo, están expuestos a valores de exposición por encima de 0,4 μ T, y aproximadamente el 10% (9,4%) por encima de 0,3 μ T. Durante la noche, este porcentaje disminuye aunque aún el 2,4 % de la población de estudio se encuentra por encima de los 0,3 μ T y ninguno supera los 0,4 μ T.

Es evidente que el avance de la tecnología es global y que los niveles de exposición, así como la proporción de niños expuestos a valores críticos han aumentado en los últimos años, lo que nos lleva a pensar que aunque inicialmente el porcentaje de riesgo de leucemia, atribuible a la población infantil, sea según los expertos inferior al 1%, estos datos podrían sufrir cambios.

En la provincia de Granada, de acuerdo a los datos del Registro del Cáncer de Granada (RCG), la leucemia infantil representa alrededor de una tercera parte de todos los tumores infantiles diagnosticados en esta población (132 casos; una tasa de 32,9 por millón de habitantes), seguida de los tumores del sistema nervioso central (104 casos; tasa 2,9 por millón de habitantes) y de los linfomas (82 casos; tasa 20,4 por millón de habitantes) (RCG, 2013). En España los tumores más frecuentes en población infantil siguen un patrón similar: leucemias 30%; tumores de sistema

nervioso central 22% y linfomas 13% (RETI-SEHOP, 2014). Dentro de los países europeos, España ocupa el tercer lugar en incidencia de leucemias después de Alemania y Reino Unido. La primera, con respecto a la incidencia de linfomas y nuevamente la tercera en tumores del sistema nervioso central, tras Francia y Reino Unido (RETI-SEHOP, 2014).

Aunque existe una falta de consenso en relación a las normas de seguridad apropiadas para CEM-RNI (Carpenter, 2013), este trabajo de Tesis Doctoral se ha basado en los criterios establecidos por la Comisión Internacional de Protección de Radiación No Ionizante (ICNIRP) (ICNIRP, 1998 y 2010) y los implantados a nivel nacional (Real Decreto 1066/2001), que son una adaptación de las guías internacionales propuestas por la ICNIRP. Algunos expertos declaran, no obstante, la necesidad de una legislación más completa para nuestro país en materia de radioprotección ante exposición ambiental a CEM: *“Es conveniente una regulación para exposiciones del público a CEM de frecuencias distintas de las de radiocomunicación. Particularmente, urge legislar sobre exposiciones residenciales a frecuencias bajas, incluyendo la frecuencia industrial, así como la de fundar un Comité Científico Nacional de Expertos en protección ante RNI que actúe como referente nacional e interlocutor internacional”* (Úbeda, 2005). En este sentido, la Asociación Médica Austriaca ha desarrollado una guía para el diagnóstico diferencial y el tratamiento potencial de problemas de salud relacionados con la contaminación electromagnética estableciendo niveles muy por debajo de los que aconseja ICNIRP (Austrian Medical Association, 2012). Está latente, sin embargo, la preocupación que puede suponer la influencia de conflictos de intereses, prejuicios de los investigadores, organizaciones de financiación, la interpretación de los resultados de la investigación y la integridad general del proceso, para el ajuste de las normas, de una manera consistente con la objetividad de la ciencia (Carpenter, 2013).

Las singularidades presentadas en este trabajo de Tesis Doctoral hacen que sea innovador al tratar de caracterizar el grado de exposición a campos electromagnéticos de radiación no ionizante en población infantil de la provincia de Granada, investigar cómo afectan diferentes parámetros a los niveles de exposición y analizar posibles efectos en la salud de los niños, derivados de esta exposición. Nuestros resultados facilitarán poder disponer de herramientas de educación ambiental para lograr la disminución de la exposición, como ya han puesto en evidencia otros estudios (Tomisch et al., 2010; Oliveras, 2008).

Los resultados derivados de este trabajo de Tesis Doctoral, junto con la preocupación pública y la evidencia epidemiológica de efectos adversos en la salud, nos permiten manifestar, coincidiendo con otros autores, la necesidad de encontrar nuevas maneras de utilizar la tecnología contemporánea con mayor seguridad y de aprender a equilibrar los riesgos de la exposición frente a los beneficios de la tecnología (Carpenter, 2013). Sugerimos, además, la conveniencia de disminuir

los niveles de exposición, especialmente en población infantil, aplicando el principio de precaución con medidas como las siguientes:

- Frente a CEM-RF: i) promover el uso de teléfonos móviles con el menor SAR, ii) aumentar el número de antenas de forma que se reduzca la potencia de emisión (CCARS, 2011), iii) desconectar los aparatos eléctricos cuando no estén en uso, iv) reordenar las estaciones base de telefonía DECT y las estaciones WLAN en interior de las casas, v) desconectar los móviles y no cargar la batería en el dormitorio mientras se duerme.
- Frente a ELF-LF: i) reorganizar o quitar de las zonas de mayor permanencia de la casa (dormitorios), lámparas, despertadores, así como desconectar interruptores innecesarios, entre otras.

6. Conclusiones

6. Conclusiones

Tras el análisis de los resultados presentados en este trabajo de Tesis Doctoral y su discusión a la luz de la información disponible en la literatura científica, se enuncian las siguientes conclusiones:

1. El protocolo de medida de CEM-RNI establecido, compatible con la normativa vigente, en el rango de frecuencias menores a las del espectro radioeléctrico, ha permitido caracterizar el grado de exposición en población infantil de la provincia de Granada, perteneciente a la cohorte prospectiva de nacimiento INMA-Granada. El protocolo incluye, por un lado un cuestionario epidemiológico específico con los ítems necesarios para realizar la estimación indirecta de la exposición, en el interior y exterior de las viviendas de los participantes, con información de las principales fuentes de emisión junto con los patrones de actividad-tiempo de estas fuentes y de todos los miembros de la familia, y por otro, la medida directa de la exposición, a campos eléctrico y magnético -de larga duración- y a campo electromagnético de RF –puntuales–.
2. Los valores de exposición en el interior de las viviendas analizadas, aun estando por debajo de los límites de referencia establecidos, han presentado una gran variabilidad, permitiendo clasificar a la población de estudio según su grado de exposición. Durante el día, el 78,6% de las medidas de (ELF-LF)-EF se situaron por debajo del límite de cuantificación (10 V/m), mientras que el 87% de las medidas de (ELF-LF)-MF, realizadas tanto en periodo diurno como nocturno, se encontraron por encima del límite (100 nT). Los valores diurnos de inducción magnética fueron 1,6 veces mayores que los registrados durante la noche.
3. Se han identificado algunos de los factores predictores relacionados con la exposición en el interior de las viviendas; concretamente área de residencia, tipo y antigüedad de la vivienda y estación del año. Así, los niños que viven en pisos tienen niveles de exposición entre 1,07 y 1,43 más elevados que los que viven en casas; aquellos que viven en zonas más urbanizadas presentan valores entre 1,02 y 2,01 superiores a los que residen en áreas menos urbanizadas para E y B respectivamente. Durante el periodo primavera-verano la exposición es menor que la registrada durante el otoño-invierno.
4. Los valores de exposición en el exterior de las viviendas también se situaron por debajo de los límites de referencia establecidos, con el 42,3% de las medidas por encima del límite de cuantificación (200 mV/m) para campo eléctrico y el 30% por encima de la media aritmética para la densidad de potencia. Nuestros resultados indican que entre los determinantes de esta exposición

se encuentran las características de la zona de residencia, el número de habitantes, así como el número, características y proximidad a las diferentes fuentes generadoras, además de la estación del año en la que fueron registradas las medidas.

5. Aunque los niveles de exposición medioambientales se encuentran por debajo de los niveles de referencia establecidos, nuestros resultados indican que los niños más expuestos presentaron peor expresión y comprensión verbal y más problemas emocionales y de comportamiento (incluyendo problemas internalizantes - especialmente rasgos de ansiedad/depresión- y externalizantes, así como problemas sociales, rasgos obsesivos/compulsivos, además de mayor predisposición para desarrollar estrés postraumático) que los menos expuestos.

6. En nuestra población de estudio, el 3,42% de los niños están expuestos a valores de exposición por encima de $0,4 \mu\text{T}$, y aproximadamente el 10% (9,4%) por encima de $0,3 \mu\text{T}$ durante el día. Durante la noche, este porcentaje disminuye aunque aún el 2,4% de la población de estudio se encuentra por encima de los $0,3 \mu\text{T}$. Considerando que la evidencia epidemiológica sugiere que valores de campo magnético superiores a $0,2 \mu\text{T}$ se relaciona con un mayor riesgo de desarrollar leucemia, la proporción de niños expuestos a valores críticos en esta población es preocupante.

7. El análisis de los resultados de este Trabajo de tesis Doctoral permite considerar la necesidad de aplicar el principio de precaución en orden a reducir la exposición a CEM-RNI a grupos de población de especial susceptibilidad y a adoptar medidas protectoras ante la sospechas de riesgo. Además, es necesario la divulgación de los conocimientos científicos y el impulso de programas de salud pública, para que la sociedad disponga de herramientas de educación ambiental que sirvan para lograr la disminución de dicha exposición. Todo lo anterior ayudará a encontrar nuevas maneras de utilizar la tecnología contemporánea con mayor seguridad, aprendiendo a equilibrar los riesgos de la exposición frente a los beneficios de la tecnología.

7. Bibliografía

7. Bibliografía

- Aguilar Gutiérrez Miguel. Bioelectromagnetismo: campos eléctricos y magnéticos: seres vivos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2001.
- Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, et al. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer*. 2000;83:692-8.
- Aldad TS, Gan G, Gao XB, Taylor HS. Fetal radiofrequency radiation exposure from 800-1900 Mhz-Rated cellular telephones affects neurodevelopment and behavior in Mice. *Sci Rep*. 2012;2:312.
- Amaya E, Gil F, Freire C, Olmedo P, Fernández-Rodríguez M, Fernández MF, Olea N. Placental concentrations of heavy metals in a mother-child cohort. *Environ Res*. 2013;120:63-70.
- Armstrong BG, Deadman J, McBride ML. The determinants of Canadian children's personal exposures to magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 2001;22(3):161-9.
- Artacho-Cordón F, Salinas-Asensio MM, Calvente I, Ríos-Arrabal S, León J, Román-Marinetto E, et al. Could radiotherapy effectiveness be enhanced by electromagnetic field treatment? *Int J Mol Sci*. 2013; 14:14974-95.
- Austrian Medical Association, 2012. Guideline of the Austrian Medical Association for the diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses (EMF syndrome). Available: <http://www.magdahavas.com/wordpress/wpcontent/uploads/2012/06/Austrian-EMF-Guidelines-2012.pdf>.
- Ayanda OS, Baba AA, Ayanda OT. Use of mobile phones and cancer risk. *Asian Pac J Cancer Prev*. 2012; 13:403-6.
- Aydin D, Feychting M, Schüz J, Rösli, M. Childhood brain tumours and use of mobile phones: comparison of a case-control study with incidence data. *Environ Health*. 2012; 11:35.
- Azah C, Amoako JK, Fletcher JJ. Levels of electric field strength within the immediate vicinity of FM radio stations in Accra, Ghana. *Radiat Prot Dosimetry*. 2013; 156:395-400.
- Beekhuizen J, Kromhout H, Bürgi A, Huss A, Vermeulen R. What input data are needed to accurately model electromagnetic fields from mobile phone base stations? *J Expos Sci Environ Epidemiol*. 2014; 25(1):53-7
- Berkowitz GS, Wolff MS, Matte T, Susser E, Landrigan PJ. The rationale for a national prospective cohort study of environmental exposure and childhood development. *Environ Res*. 2001; 85(2):59-68.
- BioInitiative Working Group (2012). BioInitiative Report: A Rationale for a Biological-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF). Available: <http://www.bioinitiative.org>.
- Bolte JF, Eikelboom T. Personal radiofrequency electromagnetic field measurements in the Netherlands: exposure level and variability for everyday activities, times of day and types of area. *Environ Int*. 2012; 48:133-42.
- Braun-Fahrländer C, Rösli M. The QUALIFEX Team Classification of personal exposure to radio frequency electromagnetic fields (RF-EMF) for epidemiological research: Evaluation of different exposure assessment methods. *Environ Int*. 2010; 36:714-20

- Bürge A, Frei P, Theis G, Mohler E, Braun-Fahrlander C, Fröhlich J, et al. A model for radiofrequency electromagnetic field predictions at outdoor and indoor locations in the context of epidemiological research. *Bioelectromagnetics* 2010;31:226-36.
- Bunch KJ, Keegan TJ, Swanson J, Vincent TJ, Murphy MF. Residential distance at birth from overhead high-voltage power lines: childhood cancer risk in Britain 1962-2008. *Br J Cancer* 2014;110(5):1402-8
- Calvente I, Dávila-Arias C, Ocón-Hernández O, Pérez-Lobato R, Ramos R, Artacho-Cordón F, et al. Characterization of indoor extremely low frequency and low frequency electromagnetic fields in the INMA-Granada cohort. *PloS One* 2014; 9(9):e106666.
- Calvente I, Fernández MF, Pérez-Lobato R, Dávila-Arias C, Ocón O, Ramos R, et al. Outdoor characterization of radio frequency electromagnetic fields in a Spanish birth cohort. *Environl Res.* 2015 [Epub ahead of print]
- Calvente I, Fernandez MF, Villalba J, Olea N, Nuñez MI. Exposure to electromagnetic fields (non-ionizing radiation) and its relationship with childhood leukemia: a systematic review. *Sci Total Environ.* 2010; 408:3062-9.
- Casas L, Fernández MF, Llop S, Guxens M, Ballester F, Olea N, et al; INMA Project. Urinary concentrations of phthalates and phenols in a population of Spanish pregnant women and children. *Environ Int.* 2011;37(5):858-66.
- CENELEC, Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0 Hz–300 GHz). European Standard EN 50413:2008. European Committee for Electrotechnical Standardization 2008.
- Cohen Hubal EA, Moya J, Selevan SG. A lifestage approach to assessing children's exposure. *Birth Defects Res B Dev Reprod Toxicol.* 2008; 83(6):522-9.
- Comité de Expertos de Campos Electromagnéticos y Salud Pública 2001 y 2003. Ministerio de Salud. España.
- Cooper D, Hemming K, Saunders P. Re: “Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. I. Sutton Coldfield transmitter; II. All high power transmitters”. *Am J Epidemiol* 2001;153:202-4.
- de Vocht F, Burstyn I, Cherrie JW. Time trends (1998-2007) in brain cancer incidence rates in relation to mobile phone use in England. *Bioelectromagnetics* 2011; 32:334-9.
- Dolk H, Elliott P, Shaddick G, Walls P, Thakrar B. Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. II. All high power transmitters. *Am J Epidemiol* 1997;145:10-7.
- Eisberg RM. *Fundamentos de la Física Moderna*, México, Limusa 1983
- Escobar Ordoñez A, Cadavid Ramírez H, Aponte Mayor G. Caracterización de campos electromagnéticos de alta frecuencia en ambientes urbanos. *Revista de Ingeniería. Bogotá.* 2010; pp 40-6.
- Estenberg J, Augustsson T. Extensive frequency selective measurements of radiofrequency fields in outdoor environments performed with a novel mobile monitoring system. *Bioelectromagnetics* 2013;35(3): 227-30.

- Fernandez MF, Olmos B, Granada A, López-Espinosa MJ, Molina-Molina JM, Fernandez JM, et al. Human exposure to endocrine-disrupting chemicals and prenatal risk factors for cryptorchidism and hypospadias: a nested case-control study. *Environ Health Perspect*. 2007;115(Suppl 1):8-14.
- Fernandez MF, Parera J, Arrebola JP, Marina LS, Vrijheid M, Llop S, et al. Levels of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins, dibenzofurans and dioxin-like polychlorinated biphenyls in placentas from the Spanish INMA birth cohort study. *Sci Total Environ*. 2012;441:49-56.
- Ferrís i Tortajada J, Ortega García JA, Aliaga Vera J, Ortí Martín A, Garcia i Castell J. Introducción: el niño y el medio ambiente. *An Esp Pediatr* 2002; 56(Supl 6): 353-9
- Ferrís i Tortajada J, Ortega Garcia JA, Soldin OP, Navarro Camba EA, García i Castell j, Fuster Soler JL. Efectos en la salud pediátrica de la radiación electromagnética de frecuencias extremadamente bajas. *Rev Esp Pediatr* 2010;66(3):151-61
- Foster KR. Mechanisms of interaction of extremely low frequency electric fields and biological systems *Radiation Protection Dosimetry* 2003; 106 (4):301-10
- Foster KR, Moulder JE. Wi-Fi and Health: Review of Current Status of Research. *Health Physics*. 2013; 105:561-75.
- Fragopoulou A, Grigoriev Y, Johansson O, Margaritis LH, Morgan L, Richter E, et al. Scientific panel on electromagnetic field health risks: consensus points, recommendations, and rationales. *Rev Environ Health*. 2010;25(4):307-17
- Frei P, Mohler E, Bürgi A, Fröhlich J, Neubauer G, Braun-Fahrländer C, et al; QUALIFEX Team. Classification of personal exposure to radio frequency electromagnetic fields (RF-EMF) for epidemiological research: Evaluation of different exposure assessment methods. *Environ Int*. 2010a;36(7):714-20
- Freire C, Abril A, Fernández MF, Ramos R, Estarlich M, Manrique A, et al. Urinary 1-hydroxypyrene and PAH exposure in 4-year-old Spanish children. *Sci Total Environ*. 2009;407(5):1562-9.
- Freire C, Amaya E, Fernández MF, González-Galarzo MC, Ramos R, Molina-Molina JM, et al. Relationship between occupational social class and exposure to organochlorine pesticides during pregnancy. *Chemosphere* 2011;83(6):831-8.
- Freire C, Lopez-Espinosa MJ, Fernández M, Molina-Molina JM, Prada R, Olea N. Prenatal exposure to organochlorine pesticides and TSH status in newborns from Southern Spain. *Sci Total Environ*. 2011;409(18):3281-7.
- Freire C, Ramos R, Amaya E, Fernández MF, Santiago-Fernández P, Lopez-Espinosa MJ, et al. Newborn TSH concentration and its association with cognitive development in healthy boys. *Eur J Endocrinol*. 2010;163(6):901-9.
- Freire C, Ramos R, Puertas R, Lopez-Espinosa MJ, Julvez J, Aguilera I, et al. Association of traffic-related air pollution with cognitive development in children. *J Epidemiol Community Health*. 2010a;64(3):223-8.
- Freire C, Ramos R, Lopez-Espinosa MJ, Díez S, Vioque J, Ballester F, et al. Hair mercury levels, fish consumption, and cognitive development in preschool children from Granada, Spain. *Environ Res*. 2010b; 110(1):96-104.
- Freire C, Soler R, Fernández MF, Villanueva CM, Grimalt JO, Olea N. [Trihalomethane levels in drinking water in the province of Granada [Spain]]. *Gac Sanit*. 2008;22(6):520-6.

- Gajšek P, Ravazzani P, Wiart J, Grellier J, Samaras T, Thuróczy G. Electromagnetic field exposure assessment in Europe radiofrequency fields (10 MHz-6 GHz). *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2013;25(1):37-44
- Gil-Loyzaga PE. Efectos de las ondas y los campos electromagnéticos sobre la salud: una línea de investigación en pleno desarrollo. Libro *Ondas electromagnéticas y salud*. www.ondasysalud.com
- Grupo de trabajo de Campos electromagnéticos. Sistema Nacional de Salud. Metodología para la gestión de crisis ante posibles agrupaciones de casos relacionados con campos electromagnéticos. 2008 (Congreso Interterritorial del Sistema Nacional de Salud). <https://www.msssi.gob.es/organizacion/consejoInterterri/docs/actividadCisns08.pdf>
http://www.osakidetza.euskadi.net/contenidos/informacion/cem_salud/es_cem/adjuntos/cem.pdf
- Guxens M, Ballester F, Espada M, Fernández MF, Grimalt JO, Ibarluzea J, et al; INMA Project. Cohort Profile: the INMA-Infancia y Medio Ambiente--(Environment and Childhood) Project. *Int J Epidemiol*. 2012;41(4):930-40.
- Ha M, Im H, Lee M, Kim HJ, Kim BC, Gimm YM, et al. Radio-frequency radiation exposure from AM radio transmitters and childhood leukemia and brain cancer. *Am J Epidemiol* 2007;166:270-9.
- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Pooled analysis of case-control studies on malignant brain tumours and the use of mobile and cordless phones including living and deceased subjects. *Int J Oncol*. 2011;38:1465-74.
- Hareuveny R, Eliyahu I, Luria R, Meiran N, Margalioth M. Cognitive effects of cellular phones: A possible role of non-radiofrequency radiation factors. *Bioelectromagnetics* 2011;32:585-8.
- Heinrich S, Thomas S, Heumann C, von Kries R, Radon K. Association between exposure to radiofrequency electromagnetic fields assessed by dosimetry and acute symptoms in children and adolescents: a population based cross-sectional study. *Environ Health*. 2010;9:75.
- Hettmansperger T, McKean J. *Robust nonparametric Statistical Methodology* 1998.
- Hidelbrando L, Torres JI. Efectos de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes en sistemas biológicos. *Rev Med Risaralda* 2006;12(2):44-54
- Huang J, Tang T, Hu G, Zheng J, Wang Y, Wang Q, et al. Association between exposure to electromagnetic fields from high voltage transmission lines and neurobehavioral function in children. *PloS One*. 2013;8:e67284.
- IARC. International Agency for Research on Cancer. Non-ionizing Radiation. Part 1: Static and Extremely Low-Frequency Electric and Magnetic Fields. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer; 2002:80
- IARC. International Agency for Research on Cancer classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans. Lyon: World Health Organization 2011.
- IARC MONOGRAPHS-102. Radiofrequency electromagnetic fields.2013
- ICNIRP Statement on the “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic Fields (up to 300 GHz)”. *Health Phys*. 2009; 97(3):257-8.

- ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* 1998; 74:494-522.
- IEEE, CD. ANSI-IEEE Standard 644–1987. IEEE standard procedures for measurement of power frequency electric and magnetic fields from AC power lines. Power Engineering. Institute of Electrical Electronics and Engineering 1987.
- INE Instituto Nacional de Estadística. <http://www.ine.es>
- INTERPHONE, SG. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Int J Epidemiol.* 2010; 39:675-94.
- Jeffers D. Comment on ‘Residential distance at birth from overhead high-voltage powerlines: childhood cancer risk in Britain 1962-2008. *British Journal of Cancer* 2014; 111: 2199-00.
- Jiménez-Díaz I, Vela-Soria F, Zafra-Gómez A, Navalón A, Ballesteros O, Navea N, et al. A new liquid chromatography-tandem mass spectrometry method for determination of parabens in human placental tissue samples. *Talanta* 2011;84(3):702-9.
- Jiménez-Díaz I, Zafra-Gómez A, Ballesteros O, Navea N, Navalón A, Fernández MF, et al. Determination of Bisphenol A and its chlorinated derivatives in placental tissue samples by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci.* 2010;878(32):3363-9.
- Joseph W, Verloock L, Goeminne F, Vermeeren G, Martens L. In situ LTE exposure of the general public: Characterization and extrapolation. *Bioelectromagnetics* 2012; 33:466-75.
- Juutilainen J, Höytö A, Kumlin T, Naarala J. Review of possible modulation-dependent biological effects of radiofrequency fields. *Bioelectromagnetics* 2011; 32:511-34.
- Karipidis Ken K. Survey of residential power-frequency magnetic fields in Melbourne, Australia. *Radiat Prot Dosimetry.* 2014 Apr 30. [Epub ahead of print]
- Kesari KK, Siddiqui MH, Meena R, Verma HN, Kumar S. Cell phone radiation exposure on brain and associated biological systems. *Indian J Exp Biol.* 2013; 51:187-200.
- Kheifets L, Ahlbom A, Crespi CM, Draper G, Hagihara J, Lowenthal RM, et al. Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer* 2010;103(7):1128-35
- Kheifets L, Repacholi M, Saunders R, van Deventer E. The sensitivity of children to electromagnetic fields. *Pediatrics* 2005; 116(2):e303-e313
- Korpinen L, Kuisti H, Tarao H, Pääkkönen R, Elovaara J. Comparison of electric field exposure measurement methods under power lines. *Radiat Prot Dosimetry.* 2014;158(2):221-3.
- Lahham A, Hammash A. Outdoor radiofrequency radiation levels in the West Bank-Palestine. *Radiat Prot Dosimetry.* 2012;149(4):399-402.
- Lauer O, Neubauer G, Rössli M, Riederer M, Frei P, Mohler E, et al. Measurement setup and protocol for characterizing and testing radio frequency personal exposure meters. *Bioelectromagnetics.* 2012; 33:75-85.
- Li CY, Liu CC, Chang YH, Chou LP, Ko MC. A population-based case-control study of radiofrequency exposure in relation to childhood neoplasm. *Sci Total Environ.* 2002; 435-436:472-8.

- Loos N, Thuróczy G, Ghosn R, Brenet-Dufour V, Liabeuf S, Selmaoui B, et al. Is the effect of mobile phone radiofrequency waves on human skin perfusion non-thermal? *Microcirculation* 2013;20(7):629-36.
- Lopez-Espinosa MJ, Granada A, Carreno J, Salvatierra M, Olea-Serrano F, Olea N. Organochlorine pesticides in placentas from Southern Spain and some related factors. *Placenta*. 2007; 28(7):631-8.
- Maskarinec G, Cooper J, Swygert L. Investigation of increased incidence in childhood leukemia near radio towers in Hawaii: preliminary observations. *J Environ Pathol Toxicol Oncol* 1994;13:33-7.
- McKenzie DR, Yin Y, Morrell S. Childhood incidence of acute lymphoblastic leukaemia and exposure to broadcast radiation in Sydney—a second look. *Aust N Z J Public Health* 1998;22:360-7.
- Merzenich H, Schmiedel S, Bennack S, Bruggemeyer H, Philipp J, Blettner M, et al. Childhood leukemia in relation to radio frequency electromagnetic fields in the vicinity of TV and radio broadcast transmitters. *Am J Epidemiol* 2008;168:1169-78.
- Michelozzi P, Capon A, Kirchmayer U, Forastiere F, Biggeri A, Barca A, et al. Adult and childhood leukemia near a high-power radio station in Rome, Italy. *Am J Epidemiol* 2002;155:1096-103.
- Movvahedi MM, Tavakkoli-Golpayegani A, Mortazavi SA, Haghani M, Razi Z, Shojaie-Fard MB, et al. Does exposure to GSM 900 MHz mobile phone radiation affect short-term memory of elementary school students? *J Pediatr Neurosci*. 2014;9(2):121-4.
- Neskovic N, Koprivica M, Neskovic A, Paunovic G. Improving the efficiency of measurement procedures for assessing human exposure in the vicinity of mobile phone (GSM/DCS/UMTS) base stations. *Radiat Prot Dosimetry*.2012; 149:238-44.
- Neubauer G, Cecil S, Giczi W, Petric B, Preiner P, Fröhlich J, Rössli M. The association between exposure determined by radiofrequency personal exposimeters and human exposure: a simulation study. *Bioelectromagnetics*. 2010; 31:535-45.
- Oliveras Sevilla JM. Prevención de riesgos producidos por electrosmog. *Técnica Industrial* 2008; 276:46-52.
- Orden CTE/23/2002, de 11 de enero por la que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones para operadores de servicios de radiocomunicaciones.
- Otto M, von Mühlendahl KE. Electromagnetic fields (EMF): do they play a role in children's environmental health (CEH)? *Int J Hyg Environ Health*. 2007;210(5):635-44.
- Panagopoulos DJ, Margaritis LH. Theoretical considerations for the biological effects of electromagnetic fields. In: Stavroulakis P, ed. *Biological effects of electromagnetic fields*; 2003.Springer.pp:5-33.
- Pedersen C, Raaschou-Nielsen O, Rod NH, Frei P, Poulsen AH, Johansen C, et al. Distance from residence to power line and risk of childhood leukemia: a population-based case-control study in Denmark. *Cancer Causes Control* 2014;25(2):171-7.
- Perera FP, Rauh V, Tsai WY, Kinney P, Camann D, Barr D, et al. Effects of transplacental exposure to environmental pollutants on birth outcomes in a multiethnic population. *Environ Health Perspect*. 2003;111(2):201-5.

- Peyman A. Dielectric properties of tissues; variation with age and their relevance in exposure of children to electromagnetic fields; state of knowledge. *Prog Biophys Mol Biol.* 2011;107(3):434-8
- Puertas R, Lopez-Espinosa MJ, Cruz F, Ramos R, Freire C, Pérez-García M, et al. Prenatal exposure to mirex impairs neurodevelopment at age of 4 years. *Neurotoxicology.* 2010;31(1):154-60.
- Ramón R, Ballester F, Rebagliato M, Ribas N, Torrent M, Fernández M, et al. La red de investigación-Infancia y Medio Ambiente-(Red INMA): protocolo de estudio. *Rev Esp Salud Pública* 2005;79:203-20.
- Ramos R, Freire C, Julvez J, Fernández MF, García-Esteban R, Torrent M, et al. Association of ADHD symptoms and social competence with cognitive status in preschoolers. *Eur Child Adolesc Psychiatry.* 2013;22(3):153-64.
- RCG Registro de Cáncer de Granada. Cáncer en la provincia de Granada Escuela Andaluza de Salud Pública. 2013. <http://cancergranada.org/es/ciberesp.cfm>
- Real Decreto 1066/2001 (28 Septiembre), Reglamento que establece condiciones de protección de dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisores radioeléctricos. B.O.E. nº. 234, 29 septiembre 2001.
- 1999/519/EC. Recomendación del consejo de la Unión Europea, publicada el 12 de julio de 1999, sobre la limitación de exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 a 300GHz).
http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/NivelesExposicion/ActuacionesUE/Recomendacion_Consejo_europeo_12_julio_1999.pdf
- RETI-SEHOP Registro Español de Tumores Infantiles. Cáncer infantil en España.
<http://www.uv.es/rnti/cifrasCancer.html>.
- Ribas-Fitó N, Ramón R, Ballester F, Grimalt J, Marco A, Olea N, et al. Child health and the environment: the INMA Spanish Study. *Paediatr Perinat Epidemiol.* 2006; 20(5):403-10.
- Rufo MM, Paniagua JM, Jiménez A, Antolín A. Exposure to high-frequency electromagnetic fields (100 KHz-2 GHz) in Extremadura (Spain). *Health Physics.* 2011;101:739-45.
- Sadetzki S, Langer CE, Bruchim R, Kundi M, Merletti F, Vermeulen R, et al. The MOBI-Kids Study Protocol: Challenges in Assessing Childhood and Adolescent Exposure to Electromagnetic Fields from Wireless Telecommunication Technologies and Possible Association with Brain Tumor Risk. *Front Public Health.* 2014 Sep 23;2:124.
- Sansone RA, Sansone LA. Cell phones: the psychosocial risks. *Innov Clin Neurosci.* 2013;10(1):33-7.
- Saunders RD, Jefferys JG. A neurobiological basis for ELF guidelines. *Health Physics.* 2007;92:596-603.
- Shah SG, Farrow A. Systematic literature review of adverse Reproductive outcomes associated with physiotherapists' occupational exposures to non-ionising radiation. *J Occup Health* 2014; 22;56(5):323-31.
- Söderqvist F, Carlberg M, Hansson Mild K, Hardell L. Childhood brain tumour risk and its association with wireless phones: a commentary. *Environ Health.* 2011;10:106.

- Straume A, Johnsson A, Oftedal G. ELF-magnetic flux densities measured in a city environment in summer and winter. *Bioelectromagnetics*. 2008;29:20-8.
- Swanson J. Residential mobility of populations near UK power lines and implications for childhood leukaemia. *J Radiol Prot*. 2013;33(3):N9-14.
- Teepen JC, van Dijk JA. Impact of high electromagnetic field levels on childhood leukemia incidence. *Int J Cancer* 2012, 131(4):769-78.
- Tell RA, Kavet R, Mezei G. Characterization of radiofrequency field emissions from smart meters. *J Expos Sci Environ Epidemiol*. 2013; 23:549-53.
- Thomas S, Heinrich S, von Kries R, Radon K. Exposure to radio-frequency electromagnetic fields and behavioural problems in Bavarian children and adolescents. *Eur J Epidemiol*.2010; 25:135-41.
- Tomitsch J, Dechant E. Trends in residential exposure to electromagnetic fields from 2006 to 2009. *Radiat Prot Dosimetry*. 2012;149:384-91.
- Tomitsch J, Dechant E, Frank W. Survey of electromagnetic field exposure in bedrooms of residences in lower Austria. *Bioelectromagnetics* 2010; 31:200-8.
- Trošić I, Pavičić I, Marjanović AM, Bušljeta I. Non-thermal biomarkers of exposure to radiofrequency/microwave radiation.2012; 63(Suppl 1):67-73
- Úbeda A, Martínez MA, Cid MA, Chacón L, Trillo MA, Leal J. Assessment of occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields in hospital personnel. *Bioelectromagnetics* 2011;32(5):378-87
- Úbeda A. Campos electromagnéticos y salud, Resumen Ejecutivo.2005. www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/camposElectromagneticosSalud.pdf
- Urbanello D, Joseph W, Huss A, Verloock L, Beekhuizen J, Vermeulen R, Martens L, Rössli M. Radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure levels in different European outdoor urban environments in comparison with regulatory limits. *Environ Int* 2014a;68:49-54
- Urbanello D, Huss A, Beekhuizen J, Vermeulen R, Rössli M. Use of portable exposure meters for comparing mobile phone base station radiation in different types of areas in the cities of Basel and Amsterdam. *Sci Total Environ* 2014b;468-469:1028-33.
- Valič B, Gajšek P. Typical exposure of children to EMF: Exposimetry and dosimetry. *Radiat Prot Dosimetry*. 2014 Apr 10. [Epub ahead of print]
- Vecchia P. The approach of ICNIRP to protection of children. *Bioelectromagnetics*. 2005;26:S157-S160.
- Vela-Soria F, Jiménez-Díaz I, Rodríguez-Gómez R, Zafra-Gómez A, Ballesteros O, Navalón A, et al. Determination of benzophenones in human placental tissue samples by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Talanta* 2011; 85(4):1848-55.
- Viel, J-F, Tiv M, Moissonnier M, Cardis E, Hours M. Variability of radiofrequency exposure across days of the week: a population-based study. *Environ Res*. 2011;111:510-3.
- Vijayalaxmi, Scarfi MR. International and national expert group evaluations: biological/health effects of radiofrequency fields. *Int J Environ Res Public Health*. 2014;11(9):9376-408.

- Vilahur N, Fernández MF, Bustamante M, Ramos R, Forns J, Ballester F, et al. In utero exposure to mixtures of xenoestrogens and child neuropsychological development. *Environ Res.* 2014a;134C:98-104.
- Vilahur N, Bustamante M, Byun HM, Fernandez MF, Santa Marina L, Basterrechea M, et al. Prenatal exposure to mixtures of xenoestrogens and repetitive element DNA methylation changes in human placenta. *Environ Int.* 2014b;71:81-7.
- Vulević B, Osmokrović P. Survey of ELF magnetic field levels in households near overhead power lines in Serbia. *Radiat Prot Dosimetry.* 2011;145(4):385-8.
- Wartenberg D. Residential EMF exposure and childhood leukemia: meta-analysis and population attributable risk. *Bioelectromagnetics.* 2001;Suppl 5:S86-104..
- WHO. World Health Organization. Regional Office for Europe. Children's health and environment: A review of evidence. Environmental issue report N° 29. 2002.
- WHO. World Health Organization. What are electromagnetic fields? 2006. <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/>
- WHO. World Health Organization. Assessment conclusions and suggestions of WHO's international EMF project. 2007. pp:58-59.
- Wiedemann P, Schütz H. Children's health and RF EMF exposure. Views from a risk assessment and risk communication perspective. *Wien Med Wochenschr* 2011; 161:226-32.
- Zhao L, Liu X, Wang C, Yan K, Lin X, Li S, et al. Magnetic fields exposure and childhood leukemia risk: a meta-analysis based on 11,699 cases and 13,194 controls. *Leuk Res.* 2014;38(3):269-74

8. Anexos

A continuación se incluyen la relación de la documentación empleada en el seguimiento, desde las cartas enviadas a las familias de la cohorte INMA-Granada, modelos de los consentimientos y cuestionarios empleados para la recogida de datos de los niños y progenitores, participantes en el estudio.

Contenido

1. Cartas a las familias 2009 y 2010	177
2. Consentimiento informado general	179
3. Consentimiento informado de RNI	181
4. Cuestionario general 9-10 años	187
5. Cuestionario de salud general 9-10 años	193
6. Antropometría y desarrollo sexual	195
7. Cuestionario de RNI	197
8. Test Breve de Inteligencia de Kaufman (K-BIT)	205
9. Continuos Performance test (CPT)	209
10. Test de Aprendizaje Verbal España-Complutense Infantil (TAVECI)	211
11. Trail Making Test-A	213
12. Subtest de Claves y Búsqueda de Símbolos del WISC-IV	215
13. Subtest de Letras y Números del WISC-IV	221
14. Test de fluidez verbal categórica (FAS)	223
15. Test de Colores y Palabras de Stroop	225
16. Tarea Go/no-go	229
17. Trail Making Test-B	231
18. Cuestionario Infantil de Comportamiento (CBCL/6-18)	233
19. Cuestionario de síntomas de criterios diagnósticos de TDAH (TDAH-DSM-IV)	237
20. Subtest de Semejanzas y Vocabulario del WAIS-III	239
21. Cuestionario Frecuencia Alimentaria (CFA)	243



Granada, diciembre de 2009

Queridas familias,

En el año 2000 comenzó en el Hospital Universitario San Cecilio de Granada un estudio sobre la salud y el medio ambiente, conocido como **Infancia y Medio Ambiente** (Red INMA). Bajo el lema “*Preparemos el futuro: ambientes saludables para nuestros niños*”, nos proponíamos estudiar la calidad del aire que respiran nuestros niños y niñas, del agua que beben, conocer su dieta y evaluar cómo crecen y se desarrollan en ambientes saludables. Actualmente la Red INMA está formada por más 5.000 niños y niñas de distintas áreas geográficas de España, y vuestro hijo es un miembro de esta red en Granada.

Hemos acudido a vosotros en varias ocasiones: cuando vinisteis al Hospital a propósito del nacimiento de vuestro hijo y de manera generosa nos disteis vuestro consentimiento para participar en este estudio, contestando a unas preguntas sobre el embarazo, el parto, etc... Volvimos a contactar cuando vuestro hijo cumplió 4 años, y acudisteis de nuevo al Hospital donde se realizó una prueba psicológica, un examen pediátrico y contestasteis a varios cuestionarios relacionados con su entorno ambiental y su salud. Os agradecemos enormemente la participación e interés que prestasteis durante aquellas visitas. Gracias a vuestra generosidad nuestra tarea investigadora es posible.

Actualmente, seguimos trabajando en la Red INMA y para completar la información necesaria para alcanzar los objetivos del estudio, requerimos nuevamente de vuestra colaboración. Por ello, nos dirigimos a vosotros para informaros que en las próximas semanas os llamaremos por teléfono para invitaros a venir una tarde al Hospital. Vuestro hijo cumple 9 años y es el momento de llevar a cabo una nueva visita para poder así realizar un seguimiento directo y continuo. Por supuesto, se hará un informe completo de la visita, el cual se os remitirá con los comentarios de los especialistas.

Agradecemos sinceramente vuestra colaboración y no quisiéramos perder el contacto con vuestros hijos, ya que estamos empeñados en que el legado ambiental que dejemos a las generaciones futuras sea el mejor posible. Os recordamos que en la web <http://www.proyectoinma.org> podéis obtener toda la información acerca de lo que acontece en la Red Infancia y Medio Ambiente.

Aprovechamos las fechas para felicitaros la Navidad y deseáros todo lo mejor para el año que se avecina.

Un abrazo,

Dr. Nicolás Olea
Coordinador INMA en Granada
Teléfonos de contacto: 958 023139 y 958 240758



Granada, enero de 2010

Queridas familias,

En el año 2000 comenzó en el Hospital Universitario San Cecilio de Granada un estudio sobre la salud y el medio ambiente, conocido como Infancia y Medio Ambiente (Red INMA). Bajo el lema “Preparemos el futuro: ambientes saludables para nuestros niños”, nos proponíamos estudiar la calidad del aire que respiran nuestros niños y niñas, del agua que beben, conocer su dieta y evaluar cómo crecen y se desarrollan en ambientes saludables. Actualmente la Red INMA está formada por más 5.000 niños y niñas de distintas áreas geográficas de España, y vuestro hijo es un miembro de esta red en Granada.

Hemos acudido a vosotros en varias ocasiones: cuando vinisteis al Hospital a propósito del nacimiento de vuestro hijo y de manera generosa nos disteis vuestro consentimiento para participar en este estudio, contestando a unas preguntas sobre el embarazo, el parto, etc... Volvimos a contactar cuando vuestro hijo cumplió 4 años, y acudisteis de nuevo al Hospital donde se realizó una prueba psicológica, un examen pediátrico y contestasteis a varios cuestionarios relacionados con su entorno ambiental y su salud. Os agradecemos enormemente la participación e interés que prestasteis durante aquellas visitas. Gracias a vuestra generosidad nuestra tarea investigadora es posible.

Actualmente, seguimos trabajando en la Red INMA y para completar la información necesaria para alcanzar los objetivos del estudio, requerimos nuevamente de vuestra colaboración. Por ello, nos dirigimos a vosotros para informaros que en las próximas semanas os llamaremos por teléfono para invitaros a venir una tarde al Hospital. Vuestro hijo cumple 9-10 años y es el momento de llevar a cabo una nueva visita para poder así realizar un seguimiento directo y continuo. Por supuesto, se hará un informe completo de la visita, el cual se os remitirá con los comentarios de los especialistas.

Agradecemos sinceramente vuestra colaboración y no quisiéramos perder el contacto con vuestros hijos, ya que estamos empeñados en que el legado ambiental que dejemos a las generaciones futuras sea el mejor posible. Os recordamos que en la web <http://www.proyectoinma.org> podéis obtener toda la información acerca de lo que acontece en la Red Infancia y Medio Ambiente.

Un abrazo,

Dr. Nicolás Olea
Coordinador INMA en Granada
Teléfonos de contacto: 958 023139 y 958 240758

CONSENTIMIENTO INFORMADO

D/D^a _____ con
DNI _____ como padre/madre/tutor del niño:

Autorizo libre y voluntariamente a los responsables del Proyecto de Investigación **INFANCIA Y MEDIOAMBIENTE "INMA"** y doy mi consentimiento para la utilización de la información obtenida a partir del cuestionario contestado y de la información necesaria de la historia clínica, y accedo a la recogida y utilización con fines de investigación de las muestras biológicas (orina) _____

- He comprendido previamente la información que se me ha dado y he podido preguntar dudas sobre la misma.

- He sido informado de que los datos de mi hijo serán manejados de acuerdo a las bases reguladoras de la ley protectora de bases de datos (Ley Orgánica 15/99 de 13 de diciembre de Protección de Datos de Carácter Personal; Ley 1/1996 de 15 de enero de Protección Jurídica del Menor y Ley 41/2002 de 14 de noviembre reguladora de la autonomía del paciente y de derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica).

- Comprendo que tengo derecho a revocar mi consentimiento en cualquier momento sin que ello afecte negativamente a la futura atención médica que requiera mi hijo.

En Granada, a ___ de _____ de 20__

Fdo,

(Padre/madre/tutor)

Estudio INMA: Infancia y Medio Ambiente

Investigador principal: Nicolás Olea
Hospital Universitario San Cecilio

Aceptación voluntaria para participar en el estudio de la medida de radiación no ionizante en el interior de su vivienda

(Copia Padres)

Cómo usted ya conoce, el proyecto de investigación que lleva por título “INMA (Infancia y Medio Ambiente): Exposiciones pre y postnatales a contaminantes ambientales, dieta, crecimiento fetal y desarrollo neuro-inmuno-endocrinológico” se realiza para estudiar el impacto de los contaminantes ambientales sobre la salud de los niños.

Para poder ampliar el conocimiento sobre los efectos de la contaminación sobre la salud, es necesario conocer, el papel de la radiación no ionizante en la predisposición a ciertas enfermedades.

Si usted acepta participar en esta parte del proyecto, se realizarían próximamente medidas de radiación no ionizante en el interior de su vivienda. El procedimiento a seguir es el siguiente: Se coloca en la habitación donde el niño pasa más tiempo y sobre una superficie firme no metálica, dos aparatos autónomos que miden la radiación no ionizante, con dos sondas respectivamente y permanece en ese lugar de 24h como máximo. Este aparato no necesita de ningún tipo de conexión a red eléctrica y es inocuo. Tendremos que pasar por su casa a colocar los aparatos y a recogerlos finalizada la medición.

Toda la información relacionada con este estudio será anónima de forma que será imposible relacionarla con su hijo/a. Solo investigadores relacionados con el estudio tendrán acceso a los datos, que serán tratados de forma confidencial según la legislación vigente (Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de protección de datos de carácter personal). Los resultados del estudio pueden ser publicados en revistas científicas.

Recordatorio: Factura de la luz; diagrama de barras del consumo de un año por meses

Estudio INMA: Infancia y Medio Ambiente



Investigador principal: Nicolás Olea
Hospital Universitario San Cecilio

Aceptación voluntaria para participar en el estudio de la medida de radiación no ionizante en el interior de su vivienda

(Copia Padres)

Yo, (nombre y apellidos),

- He leído la información que se me ha entregado.
- He podido hacer preguntas sobre esta parte del estudio.
- He recibido suficiente información sobre esta parte del estudio.
- He hablado con **el responsable**, quien me ha aclarado las dudas.
- He sido informado que los resultados de esta parte del estudio serán anonimizados de modo que será imposible relacionarlos con mi hijo/a.
- Comprendo que la participación de mi hijo/a es voluntaria.
- Comprendo que el estudio está diseñado para incrementar los conocimientos médicos.

Presto libremente mi conformidad para que se realicen medidas de radiación no ionizante en el interior de mi vivienda.

Nombre y apellidos.....
DNI:
Firma
Lugar y fecha:, a ____ de de 201__

Firma del responsable

Nombre y apellidos.....



Estudio INMA: Infancia y Medio Ambiente

Investigador principal: Nicolás Olea
Hospital Universitario San Cecilio

Aceptación voluntaria para participar en el estudio de la medida de radiación no ionizante en el interior de su vivienda

(Copia INMA)

Cómo usted ya conoce, el proyecto de investigación que lleva por título “INMA (Infancia y Medio Ambiente): Exposiciones pre y postnatales a contaminantes ambientales, dieta, crecimiento fetal y desarrollo neuro-inmuno-endocrinológico” se realiza para estudiar el impacto de los contaminantes ambientales sobre la salud de los niños.

Para poder ampliar el conocimiento sobre los efectos de la contaminación sobre la salud, es necesario conocer, el papel de la radiación no ionizante en la predisposición a ciertas enfermedades.

Si usted acepta participar en esta parte del proyecto, se realizarían próximamente medidas de radiación no ionizante en el interior de su vivienda. El procedimiento a seguir es el siguiente: Se coloca en la habitación donde el niño pasa más tiempo y sobre una superficie firme no metálica, dos aparatos autónomos que miden la radiación no ionizante, con dos sondas respectivamente y permanece en ese lugar de 24h como máximo. Este aparato no necesita de ningún tipo de conexión a red eléctrica y es inocuo. Tendremos que pasar por su casa a colocar los aparatos y a recogerlos finalizada la medición.

Toda la información relacionada con este estudio será anónima de forma que será imposible relacionarla con su hijo/a. Solo investigadores relacionados con el estudio tendrán acceso a los datos, que serán tratados de forma confidencial según la legislación vigente (Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de protección de datos de carácter personal). Los resultados del estudio pueden ser publicados en revistas científicas.



Estudio INMA: Infancia y Medio Ambiente

Investigador principal: Nicolás Olea
Hospital Universitario San Cecilio

Aceptación voluntaria para participar en el estudio de la medida de radiación no ionizante en el interior de su vivienda

(Copia INMA)

Yo, (nombre y apellidos),

- He leído la información que se me ha entregado.
- He podido hacer preguntas sobre esta parte del estudio.
- He recibido suficiente información sobre esta parte del estudio.
- He hablado con **el responsable**, quien me ha aclarado las dudas.
- He sido informado que los resultados de esta parte del estudio serán anonimizados de modo que será imposible relacionarlos con mi hijo/a.
- Comprendo que la participación de mi hijo/a es voluntaria.
- Comprendo que el estudio está diseñado para incrementar los conocimientos médicos.

Presto libremente mi conformidad para que se realicen medidas de radiación no ionizante en el interior de mi vivienda.

Nombre y apellidos.....
DNI:
Firma
Lugar y fecha:, a ____ de de 201__

Firma del responsable

Nombre y apellidos.....

8.1 Cuestionarios

CUESTIONARIO GENERAL 9 AÑOS

a) Nº HISTORIA CLINICA NIÑO: _____

b) IDNUM NIÑO:

c) FECHA CUESTIONARIO: ___/___/___

d) ENTREVISTADOR: _____ e) ENTREVISTADO: _____

INFORMACIÓN A LAS FAMILIAS

¿Recuerda en qué consiste el estudio INMA? ¿Recuerda si la entrevistaron tras el parto?

1. Sí
2. No

¿Se siente suficientemente informada acerca del estudio?

1. Sí
2. No

En caso de haber participado en el seguimiento de los 4 años, ¿Ha recibido el resultado de la evaluación psicológica que se hizo a su hijo en la última visita?

1. Sí
2. No

¿Querría obtener algún otro tipo de información o resultado del estudio?

.....
.....

CAMBIO DOMICILIO Y COLEGIO

DOMICILIO ACTUAL		
D1a. Dirección actual:		
Calle	Nº	Puerta
Municipio/ Urbanización /Barrio		C.P.
Teléfono casa:	Teléfono trabajo:	
Teléfono móvil:		
Nº Teléfono de posibles contactos (amigos, familiares)		
Parentesco:	Teléfono:	Móvil:

D1b. ¿Cómo describiría su vivienda?

1. Una vivienda unifamiliar separada de otras casas
2. Una vivienda unifamiliar junto a una o más casas (casa de pueblo, adosado...)
3. Un piso (finca)
4. Otros (por favor, especifique).....

D1c. ¿Ha cambiado de domicilio desde que nació su hijo?

1. Sí → Fecha cambio: ___/___/___
2. No

COLEGIO

D2. Nombre del colegio:.....

Dirección:

Calle..... nº.....

Municipio (urbanización).....

CP:.....

D3. ¿Cómo acude el niño habitualmente al colegio? *La opción más frecuente*

1. Caminando
2. En coche o taxi
3. Autobús
5. En bicicleta
6. Motocicleta o ciclomotor

D4. ¿Cuánto tiempo tarda?..... (minutos)

HISTORIAL LABORAL MADRE

LM1. ¿A qué grupo pertenece su formación o nivel de estudios?

1. Sin estudios
2. Estudios primarios
3. Estudios medios (Bachillerato)
4. Formación profesional. Especificar:.....
5. Estudios superiores (diplomada o licenciada superior). Especificar:.....

LM2. ¿Ha habido alguna modificación en su situación laboral y/o puesto de trabajo en los últimos años?

1. Sí
2. No

LM3. ¿Cuál es su situación laboral actual?

1. Trabajadora. Especificar ocupación exacta:.....
2. Parada
3. Estudiante
4. Baja laboral, por:
5. Ama de casa
6. Otras (especificar):

LM4. *(Sólo si no está trabajando actualmente)* ¿Cuánto tiempo lleva en esta situación?

.....

LM5. En relación a su trabajo actual y/o trabajos anteriores realizados desde el último cuestionario, podría indicarnos.... *(Empezar por trabajo actual o último y continuar hacia atrás si ha habido otros trabajos previos hasta cubrir el periodo desde el último contacto con la madre)*

Periodo de contrato	Actividad empresa	Puesto de trabajo	Tareas
Desde..... /			
Hasta..... /			
Desde..... /			
Hasta..... /			
Desde..... /			
Hasta..... /			

HISTORIAL LABORAL PADRE

LP1. ¿A qué grupo pertenece su formación o nivel de estudios?

1. Sin estudios

2. Estudios primarios
3. Estudios medios (Bachillerato)
4. Formación profesional. Especificar:.....
5. Estudios superiores (diplomada o licenciada superior). Especificar:.....

LP2. Desde el último cuestionario, ¿Ha habido alguna modificación respecto a la situación laboral y/o puesto de trabajo (incluyendo tareas y exposiciones) del padre?

1. Sí
2. No

LP3. ¿Cuál es la situación laboral actual del padre?

1. Trabajador. Especificar ocupación exacta:.....
2. Parado
3. Estudiante
4. Baja laboral, por:
5. Otras (especificar):

LP4. (Sólo si no está trabajando actualmente) ¿Ha trabajado alguna vez desde el último cuestionario?

1. Sí
2. No

LP5. En relación con su trabajo actual y/o trabajos anteriores realizados desde el último cuestionario, podría indicarnos.... (Empezar por trabajo actual o último y continuar hacia atrás si ha habido otros trabajos previos hasta cubrir el periodo desde que la mujer fue encuestada por última vez)

Periodo de contrato	Actividad empresa	Puesto de trabajo	Tareas
Desde..... /			
Hasta..... /			
Desde..... /			
Hasta..... /			
Desde..... /			
Hasta..... /			

SITUACIÓN FAMILIAR

F1. ¿Está casada/convive con su pareja?

1. Sí
2. No → F1a. ¿Con quién vive?

F2. ¿Ha cambiado su estado civil o situación de pareja desde que nació su hijo?

1. Sí → F2a. ¿Hace cuánto tiempo?
2. No

LACTANCIA

Nota: **LACTANCIA MATERNA**, uso exclusivo de leche materna durante al menos una semana completa de vida del recién nacido; **LACTANCIA MIXTA** empleo simultáneo de lactancia materna y artificial durante al menos una semana completa. **LACTANCIA ARTIFICIAL EXCLUSIVA** el empleo únicamente de lactancia artificial desde el nacimiento, incluyendo la lactancia materna (junto con biberón o no) durante 6 ó menos días.

LAC1. Al nacer su hijo, ¿le dio el pecho exclusivamente?

1. No
2. Sí → LAC1a. ¿Durante cuánto tiempo? _____ semanas _____ meses

LAC2. ¿Realizó lactancia mixta?

1. No
2. Sí → LAC2a. ¿Desde qué edad del niño? _____ semanas _____ meses

LAC2b. ¿Durante cuánto tiempo? _____ semanas _____ meses

LAC3. ¿Realizó lactancia artificial exclusiva?

1. No
2. Sí → LAC3a. ¿Desde qué edad del niño? _____ semanas _____ meses

LAC3b. ¿Durante cuánto tiempo? _____ semanas _____ meses

TABACO

T1. ¿Fumó durante el embarazo de su hijo?

1. No
2. Sí → T1a. ¿En qué trimestre/semana del embarazo?

T1b. ¿Qué cantidad fumaba (al día)?

T2. ¿Fumaba alguien de los que convivían y/o trabajaban con ud. durante el embarazo?

1. No
2. Sí

T3. ¿Fuma alguien de los que conviven con el niño/a?

1. No
2. Sí

T3.a. ¿Qué cantidad fuma/n actualmente (al día)? (referido al promedio de los últimos 12 meses) En casa se refiere dentro de la casa (la terraza, un patio interior, un jardín, etc., se considera fuera de la casa)

	Sí	No	T3a1. Total cig./día	T3a2. Cig./día en casa	T3a3. ¿Fuma en casa en presencia del niño/a?
Madre	1	2	_ _ _	_ _ _	1. sí, a menudo 2. sí, ocasionalmente 3. casi nunca 4. nunca
Padre	1	2	_ _ _	_ _ _	1. sí, a menudo 2. sí, ocasionalmente 3. casi nunca 4. nunca
Otro:	1	2	_ _ _	_ _ _	1. sí, a menudo 2. sí, ocasionalmente 3. casi nunca 4. nunca

T4. ¿Acude el niño/a a otros lugares donde se fume?

1. Sí

2. No

T4a. ¿Dónde?

- a. Otras casas.....1. Sí 2. No
- b. Bares/restaurantes.....1. Sí 2. No
- d. Otro:.....1. Sí 2. No Especificar.....

T4b. Con qué frecuencia:

- 1. menos de una vez por semana
- 2. 1-3 veces por semana
- 3. Más de 3 veces por semana

OBSERVACIONES:

ENCUESTA DE SALUD GENERAL 9-10 AÑOS

¡Error! Vínculo no válido.

a. Padre:

- P1. Edad:
- P2. Talla (cm):
- P3. Peso (kg):
- P4. IMC:
- P5. Enfermedades:

Datos padres (P-M):

- Sedentario: sentado casi siempre, sin práctica de actividad física o deportes.
- Poco activo: actividades sentadas, escasa actividad física/deportes.
- Moderadamente activo: poco tiempo sentado, ligera AF/deportes
- Bastante activo: casi siempre de pie/moviéndose, intensa AF o deportes a diario
- Muy activo: siempre de pie/moviéndose, intensa AF o deportes a diario.
- No sabe/ no contesta

b. Madre:

- M1. Edad:
- M2. Talla (cm)
- M3. Peso (kg):
- M4. IMC:
- M5. Paridad (fórmula obstétrica: nº total emb/abortos/partos/ hijos nacidos vivos/hijos vivos ahora):
- M6. Enfermedades:

M7. Actividad física-sedentarismo:

- Sedentaria: sentado casi siempre, sin práctica de actividad física o deportes.
- Poco activa: actividades sentadas, escasa actividad física/deportes.
- Moderadamente activa: poco tiempo sentado, ligera AF/deportes
- Bastante activa: casi siempre de pie/moviéndose, intensa AF o deportes a diario
- Muy activa: siempre de pie/moviéndose, intensa AF o deportes a diario.
- No sabe/ no contesta

Datos niño (N):

N1. Comparado con otros niños/as de su edad, ¿cómo podría decir que es la salud del niño/a?

- Excelente
- Buena
- Regular
- Mala
- NS/NC

N2. ¿Tiene su hijo alguna enfermedad aguda o crónica? Sí/No; ¿Cuál (si no entra en categorías N3)?

N3. ¿El médico ha diagnosticado que el niño/a ha sufrido alguna vez?

- **N3a. Patología neurológica:**
 - Sí. Especificar:
 - No
 - NS/NC
- **N3b. Patología respiratoria:**
 - Sí. Especificar: Bronquitis, neumonía, otitis, sinusitis, asma, rinitis alérgica, tos ferina...
 - No
 - NS/NC
- **N3c. Patología sistema endocrino:**
 - Sí. Especificar: diabetes, hipo/hipertiroidismo, obesidad/sobrepeso, otros:
 - No
 - NS/NC
- **N3d. Patología digestiva:**
 - Sí. Especificar: diarrea, estreñimiento,...
 - No
 - NS/NC
- **N3e. Lesión en la piel:**
 - Sí. Especificar: dermatitis atópica, eczemas, psoriasis...
 - No
 - NS/NC
- **N3f. Patología cardiaca:**
 - Sí. Especificar:
 - No
 - NS/NC
- **N3g. Patología uro-genital:**
 - Sí. Especificar:
 - No
 - NS/NC
- **N3h. Sistema músculo-esquelético:**
 - Sí. Especificar:
 - No
 - NS/NC
- **N3i. Cirugía:**
 - Sí. Especificar:
 - No
 - NS/NC

N4. ¿Tiene su hijo alergia a algún medicamento o alimento?

- Sí. Especificar:
- No
- NS/NC

ANTROPOMETRÍA 9-10 AÑOS

a) Nº HISTORIA CLINICA NIÑO: _____
b) IDNUM NIÑO: <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
c) FECHA CUESTIONARIO: ___/___/___
d) ENTREVISTADOR: _____ e) ENTREVISTADO: _____

ANT 1. MEDIDAS ANTROPOMETRÍA	Talla (cm)	Peso (kg)	IMC
------------------------------	------------	-----------	-----

ANT 1a. PLIEGUES (mm) ¹ (x0.2)	Medida
Bicipital	
Tricipital	
Subescapular	
Suprailíaco	

¹Medidas en hemicuerpo izquierdo

ANT 1b. PERÍMETROS (cm)	Medida
Craneal	
Torácico	
Cintura	
Cadera	
Braquial	

ANT 2. IMPEDANCIOMETRÍA

- Hora última comida:
- Hora orina:
- Hora medida impedanciometría:

ANT 3. EXPLORACIÓN TIROIDEA

Tamaño tiroideo	Clasificación por grados	
	OMS 1960	OMS 1994
No palpable	0	0
Lóbulos palpables ≤ falange terminal pulgar	0	1
Lóbulos palpables ≥ falange terminal pulgar	1A	1
Visible con el cuello extendido	1B	1
Visible con la cabeza en posición normal	2	2
Visible desde la distancia	3	2

SEX. DESARROLLO SEXUAL

SEX1. Localización y tamaño testicular:

- **SEX 1a. Descenso testicular:** normal / incompleto
- **SEX 1b. Tamaño testicular:**

SEX2. Distancia anogenital-AGD y distancia anoescrotal-ASD:

- **SEX 2a. ASD (cm):**

SEX3. Estadíos de Tanner

a. Estadio 1

- **G1** (pene, escroto y testículos infantiles, del mismo tamaño y forma que en la infancia).
- **P1** (ligera vellosoidad infantil).

b. Estadio 2

- **G2** (agrandamiento escroto y testículos, piel escrotal más roja, delgada y arrugada. Pene no agrandado o levemente).
- **P1** (vello escaso, lacio y ligeramente pigmentado, arraigado al pene).

c. Estadio 3

- **G3** (agrandamiento pene, fundamentalmente longitud).
- **P3** (vello rizado, escasamente desarrollado pero oscuro, pigmentado y arraigado al pene).

Observaciones:

IDNUM: _____ FECHA: __/__/201__ AUTORIZACIÓN MEDIDAS SI NO

DATOS PERSONALES

MADRE: _____

PADRE _____

HIJO: _____ Nacimiento: _____

Nº Tel. Móvil: _____ Nº TLF:958 _____ OTROS: _____

E-MAIL : _____

RESIDENCIA _____

ÚNICA DIRECCIÓN _____

PERIODO DE HABITABILIDAD _____

SISTEMA ANTIRROBO TIEMPO CON SISTEMA ANTIRROBO _____ sótano _____ encimera granito _____

ALREDEDORES/ENTORNO

ANTENAS DE RADIODIFUSIÓN, Nº Y DISTANCIA _____

ANTENAS DE ESTACIÓN BASE DE TELEFONÍA MOVIL, Nº Y DISTANCIA _____

ESTACIONES Y SUBESTACIONES GENERADORAS DE ELECTRICIDAD, Nº Y DISTANCIA _____

LINEAS DE BAJA, MEDIA YA ALTA TENSIÓN, DISTANCIA _____

OTRA RESIDENCIA _____

OTRA RESIDENCIA DIRECCIÓN

PERIODO DE HABITABILIDAD

SISTEMA ANTIRROBO TIEMPO CON SISTEMA ANTIRROBO

NOTAS

ALREDEDORES/ENTORNO ESTIVAL

ANTENAS DE RADIODIFUSIÓN, Nº Y DISTANCIA

ANTENAS DE ESTACIÓN BASE DE TELEFONÍA MOVIL, Nº Y DISTANCIA

ESTACIONES Y SUBESTACIONES GENERADORAS DE ELECTRICIDAD Nº Y DISTANCIA

ESTACIONES Y SUBESTACIONES GENERADORAS DE ELECTRICIDAD, DISTANCIA A CASA

LINEAS DE BAJA ,MEDIA Y ALTA TENSIÓN, DISTANCIA

ACTIVIDADES/HORARIO

SUJETO	HORA	ACTIVIDAD

TRABAJO/EXPOSICIÓN OCUPACIONAL:

PADRE: OCUPACIÓN _____ TIEMPO _____ LUGAR _____

NOTAS _____

MADRE: OCUPACIÓN _____ TIEMPO _____ LUGAR _____

TRABAJÓ DURANTE EMBARAZO NO SI OCUPACIÓN _____

NOTAS _____

MÉDICAS (SISTEMA DE RESONANCIA MAGNÉTICA,CORRIENTES, ETC):

PADRE: NO SI N° FECHA APROXIMADA _____

MADRE NO SI ANTES EMBARAZO DURANTE EMBARAZO N° FECHA APROXIMADA _____

HIJO NO SI N° FECHA _____

COLEGIO:

NOMBRE : _____

DIRECCIÓN: _____

CARACTERÍSTICAS ENTORNO _____

CAMBIO DE COLEGIO: NO SI FECHA _____

NOTAS: _____

IDNUM:

TELÉFONOS	CANTIDAD	MARCA	TIEMPO	HORAS/DIA	HORAS/ SEMANA	CONSUMO /MES	
FIJOS INALÁMBRICOS							
							NIÑO
							MADRE
MÓVILES							
							PADRE
OTROS USOS DEL MÓVIL							
							NIÑO
							MADRE
LUGAR DONDE LLEVA MÓVIL							
							NIÑO
							MADRE
LUGAR DEJA EL MÓVIL (CASA)							
							PADRE
OBSERVACIONES: Carga:						nº total de móviles:	
conectado:							

IDNUM _____ SUJETO[NIÑO(N), MADRE(M), PADRE(P)] **EXPOSICIÓN A APARATOS ELÉCTRICOS**

APARATO	TAMAÑO	APAGAR STANBY	HABITACIÓN	TIEMPO(DIA LECTIVO)			TIEMPO (DIA NO LECTIVO)			TIEMPO A LA SEMANA									
				N	M	P	N	M	P	N	M	P							
TV																			
TV																			
TV																			
CONSOLAS:																			
Will																			
PSP																			
PS_																			
XBOX																			
NINTENDO DS																			
MP3_																			
PC_FIJO																			
PC_PORTÁTIL																			

Escribir si o no, para especificar si se disponen de estos aparatos. En caso de sí, expresar el número siempre que se haga uso de ellos.

Instalación Wifi _____ **Radiadores** _____ monitores TV en coches _____
 Secadora _____ Equipos de música _____ **Consolas: XBOX, Ps2,3,4, ,psp mp3,...**
Microondas _____ **Televisión** _____ **Ordenadores Portátiles** _____
 Mantas eléctricas _____ **Ordenadores (pc)** _____ Otros (especificar) _____
 Placas eléctricas _____ **Estufas eléctricas** _____

Notas: verano/vacaciones(tv,consolas)

IDNUM	
Dispositivos implantados(niño): No/si ¿Cuál	
Uso de secadores de pelo desde el nacimiento: tiempo	
Uso mantas eléctricas:	
	tamaño
	tiempo
Sistema refrigeración:	
	Marca,
	Tamaño
	Fecha,
	Habitaciones
Sistema calefacción:	
	Marca:
	Tamaño:
	Fecha:
	Habitaciones:
INGRESOS MENSUALES (familia) (A: NS/NC ,B:<1000€, C: 1000<INGR<2000, D: 2000<INGR<3000 ,E>3000€)	
Lugar donde juega o pasa más tiempo después de la casa y distancia desde la casa(niño):	

Aparatos que pueden ser insertados en el cuerpo

Marcapasos

Prótesis (oído, desplazamiento (pierna)...))

Empastes metálicos, braquets

Bombas de insulina

NOTAS: Consumo de luz al año (diagrama barras de la factura de la luz)

TEST BREVE DE INTELIGENCIA DE KAUFMAN



Test Breve de Inteligencia de Kaufman

Alan S. Kaufman y Nadeen L. Kaufman

HOJA DE ANOTACIÓN

Apellidos _____

Nombre _____ Sexo V M

Lugar de nacimiento _____

Lugar de residencia _____

Estudios _____
(especificar los actuales o nivel más alto alcanzado)

Ocupación: Propia _____

De los padres _____

(para menores de 18 años)

Examinador _____

	Año	Mes	Día
Fecha de examen			
Fecha de nacimiento			
Edad cronológica			

SUBTESTS	Punt. directa	Punt. típica ± banda de error _____% intervalo de confianza	Centil	Categoría descriptiva	Otros datos
Vocabulario expresivo	<input type="text"/>				
Definiciones	<input type="text"/>				
VOCABULARIO	<input type="text"/>	<input type="text"/>			
MATRICES	<input type="text"/>	<input type="text"/>			

Suma de las puntuaciones
típicas de los subtests

Trasladar la suma a la casilla
del CI compuesto del K-BIT

RESULTADO COMPUESTO	Suma de p. típicas de los subtests	Punt. típica ± banda de error _____% intervalo de confianza	Centil	Categoría descriptiva	Otros datos
CI COMPUESTO DEL K-BIT	<input type="text"/>	<input type="text"/>			

Comparación de las puntuaciones típicas de los subtests	Puntuación típica de Vocabulario	Puntuación típica de Matrices	Diferencia de puntuaciones típicas	Nivel de confianza (rodar)		
				NS	5%	1%



Autores: Alan S. Kaufman y Nadeen L. Kaufman

Copyright © 1983 by AGS. American Guidance Service.

Traducción y adaptación española: A. Cordero e I. Calonge - Traducido y adaptado con permiso del propietario original.

Copyright de la edición española © 1996 by TEA Ediciones, S.A. - Todos los derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial - Este ejemplar está impreso en tintas azul y granate. Si se presentan otro en tinta negra, es una reproducción ilegal. En beneficio de la profesión y en el suyo propio, NO LA UTILICE - Edita: TEA Ediciones, S.A.; Fray Bernardino de Sahagún, 24; 28036 Madrid - Printed in Spain.

Subtest 1. VOCABULARIO

Parte A Vocabulario expresivo

ÍTEM	RESPUESTA	PUNT. (rodear)
1. Cama	_____	1 0
2. Tenedor	_____	1 0
3. Rana	_____	1 0
4. Escalera	_____	1 0
5. Humo	_____	1 0
6. Paraguas	_____	1 0
7. Piano	_____	1 0
8. Hoja	_____	1 0
9. Tambor	_____	1 0
10. Autobús	_____	1 0
11. Martillo	_____	1 0
12. Fuente	_____	1 0
13. Búho	_____	1 0
14. Lámpara	_____	1 0
15. Pingüino	_____	1 0
16. Pluma	_____	1 0
17. Linterna	_____	1 0
18. Ventana	_____	1 0
19. Regla	_____	1 0
20. Tornillo	_____	1 0
21. Puente	_____	1 0
22. Lupa	_____	1 0
23. Grapadora	_____	1 0
24. Calendario	_____	1 0
25. Prismáticos	_____	1 0

ÍTEM	RESPUESTA	PUNT. (rodear)
26. Cactus	_____	1 0
27. Cangrejo	_____	1 0
28. Candado	_____	1 0
29. Buzón	_____	1 0
30. Pinzas	_____	1 0
31. Ancla	_____	1 0
32. Enchufe	_____	1 0
33. Calculadora	_____	1 0
34. Anzuelo	_____	1 0
35. Silla montar	_____	1 0
36. Esc.mecánica	_____	1 0
37. Embudo	_____	1 0
38. Compás	_____	1 0
39. Saltamontes	_____	1 0
40. Balanza	_____	1 0
41. Microscopio	_____	1 0
42. Extintor	_____	1 0
43. Hexágono	_____	1 0
44. Yunque	_____	1 0
45. Salvavidas	_____	1 0

Comentarios y observaciones

Ítem techo = el más alto aplicado.
Errores = nº de ítems puntuados con 0.

Ítem techo	<input type="text"/>
Menos errores	<input type="text"/>
Puntuación directa	<input type="text"/>

Subtest 1. VOCABULARIO

Parte B
Definiciones

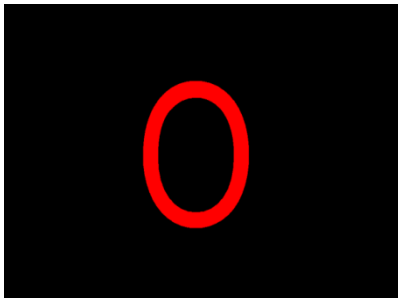
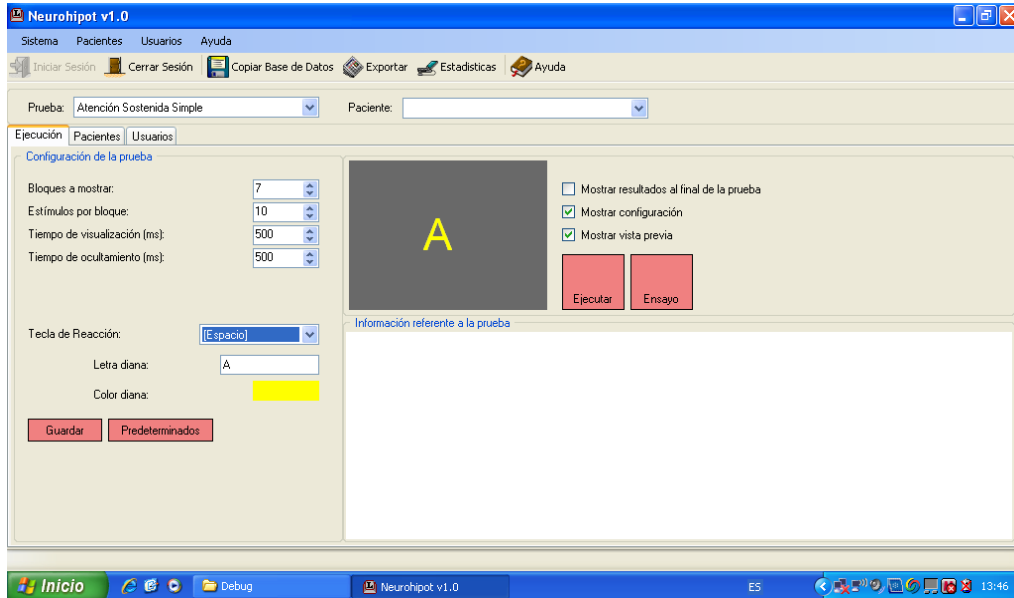
	ÍTEM	RESPUESTA	PUNT. (rodear)
Todas edades	EJEMPLO A	<u> NEGRO </u>	
	EJEMPLO B	<u> ANTIGUO </u>	
Edades 7-14	1. Jardín	_____	1 0
	2. Amanecer	_____	1 0
	3. Arar	_____	1 0
	4. Granizo	_____	1 0
	5. Delicioso	_____	1 0
Edades 15-20	6. Ventana	_____	1 0
	7. Lío	_____	1 0
	8. Esquimal	_____	1 0
	9. Primo-a	_____	1 0
	10. Escribir	_____	1 0
	11. Agradecer	_____	1 0
	12. Experimento	_____	1 0
	13. Cordial	_____	1 0
	14. Prescindir	_____	1 0
	15. Simpático	_____	1 0
	16. Caricatura	_____	1 0
	17. Rencor	_____	1 0
	18. Atentado	_____	1 0
	19. Suficiente	_____	1 0
	20. Energía	_____	1 0

	ÍTEM	RESPUESTA	PUNT. (rodear)
	21. Elevado	_____	1 0
	22. Infortunado	_____	1 0
	23. Hipocondríaco	_____	1 0
	24. Estorbar	_____	1 0
	25. Constante	_____	1 0
	26. Consentir	_____	1 0
	27. Conversación	_____	1 0
	28. Insensato	_____	1 0
	29. Sobresaliente	_____	1 0
	30. Enmendar	_____	1 0
	31. Indeleble	_____	1 0
	32. Verosímil	_____	1 0
	33. Clandestino	_____	1 0
	34. Prepotente	_____	1 0
	35. Conectar	_____	1 0
	36. Enigma	_____	1 0
	37. Fanático	_____	1 0

Ítem techo	<input type="text"/>
Menos errores	<input type="text"/>
Puntuación directa	<input type="text"/>

Comentarios y observaciones

CONTINUOUS PERFORMANCE TEST (CPT)



Datos Generales del Paciente:

Nombre y Apellidos:
 Código: 000
 Edad: 10
 Sexo: Masculino
 Nivel de Escolaridad: A
 Dirección Particular:

Resultado de la Prueba de Atención Sostenida Simple:

Fecha: 03/21/2011.

Bloques:	1	2	3	4	5	6	7
Aciertos:	10	8	9	8	9	9	7
Omisiones:	0	2	1	2	1	1	3
Equivocaciones:	2	1	2	1	0	1	0
Media:	474.666666666667						
Desviación:	88.1921513262691						

TEST DE APRENDIZAJE VERBAL ESPAÑA-COMPLUTENSE INFANTIL
(TAVECI)

TAVECI (hay que leer cada palabra cada 2 segundos) y anotar el orden en el que dicen las palabras.

5 ensayos:

1 limones	1 limones	1 limones	1 limones	1 limones
2 bragas	2 bragas	2 bragas	2 bragas	2 bragas
3 carpeta	3 carpeta	3 carpeta	3 carpeta	3 carpeta
4 calcetines	4 calcetines	4 calcetines	4 calcetines	4 calcetines
5 mandarinas	5 mandarinas	5 mandarinas	5 mandarinas	5 mandarinas
6 libros	6 libros	6 libros	6 libros	6 libros
7 melones	7 melones	7 melones	7 melones	7 melones
8 falda	8 falda	8 falda	8 falda	8 falda
9 estuche	9 estuche	9 estuche	9 estuche	9 estuche
10 uvas	10 uvas	10 uvas	10 uvas	10 uvas
11 regla	11 regla	11 regla	11 regla	11 regla
12 zapatos	12 zapatos	12 zapatos	12 zapatos	12 zapatos
13 fresas	13 fresas	13 fresas	13 fresas	13 fresas
14 chaqueta	14 chaqueta	14 chaqueta	14 chaqueta	14 chaqueta
15 rotuladores	15 rotuladores	15 rotuladores	15 rotuladores	15 rotuladores

TAVECI Lista B (interferencia) . Decir la lista y que te la repita	TAVECI: Recuerdo Libre Corto Plazo (se pasa inmediatamente después de la lista de interferencia)
1 Periquito	1 limones
2 Plátanos	2 bragas
3 Mesilla	3 carpeta
4 Melocotones	4 calcetines
5 Tortuga	5 mandarinas
6 Cama	6 libros
7 Hámster	7 melones
8 Sandía	8 falda
9 Estantería	9 estuche
10 Loro	10 uvas
11 Sofá	11 regla
12 Kiwis	12 zapatos
13 Canario	13 fresas
14 Albaricoques	14 chaqueta
15 escritorio	15 rotuladores

TAVECI: Recuerdo libre a largo plazo: 20 minutos después

- 1 limones
- 2 bragas
- 3 carpeta
- 4 calcetines
- 5 mandarinas
- 6 libros
- 7 melones
- 8 falda
- 9 estuche
- 10 uvas
- 11 regla
- 12 zapatos
- 13 fresas
- 14 chaqueta
- 15 rotuladores

TAVECI: Prueba de reconocimiento (señalar SI o NO)

- | | |
|---------------|-----------------|
| 1 braga | 24 cucharillas |
| 2 flores | 25 estuche |
| 3 cama | 26 peras |
| 4 carpeta | 27 falda |
| 5 camiseta | 28 hámster |
| 6 plátano | 29 muñequito |
| 8 lechuga | 30 sandia |
| 9 limones | 31 zapato |
| 10 raqueta | 32 fresas |
| 11 libros | 33 regla |
| 12 canario | 34 albaricoques |
| 13 manzanas | 35 bolígrafos |
| 14 estantería | 36 palillos |
| 15 peluche | 37 kiwis |
| 16 sal | 38 manilla |
| 17 calcetines | 39 rotuladores |
| 18 melones | 40 periquito |
| 19 tortuga | 41 escritorio |
| 20 goma | 42 clavos |
| 21 sofá | 43 mandarinas |
| 22 uvas | 44 chaqueta |
| 23 aspirinas | 45 jersey |
| | 46 sifones |

TRAIL MAKING TEST A

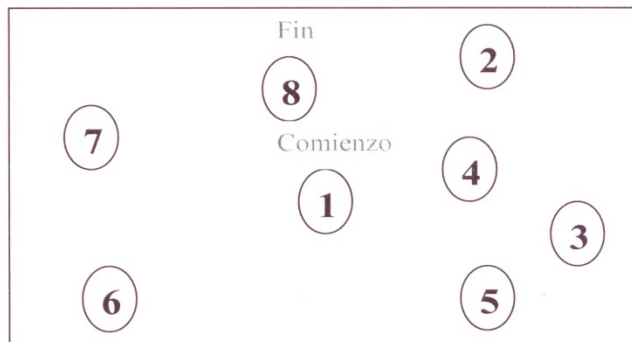
Tiempo parte A _____	Z parte A _____
Tiempo parte B _____	Z parte B _____

TRAIL MAKING TEST

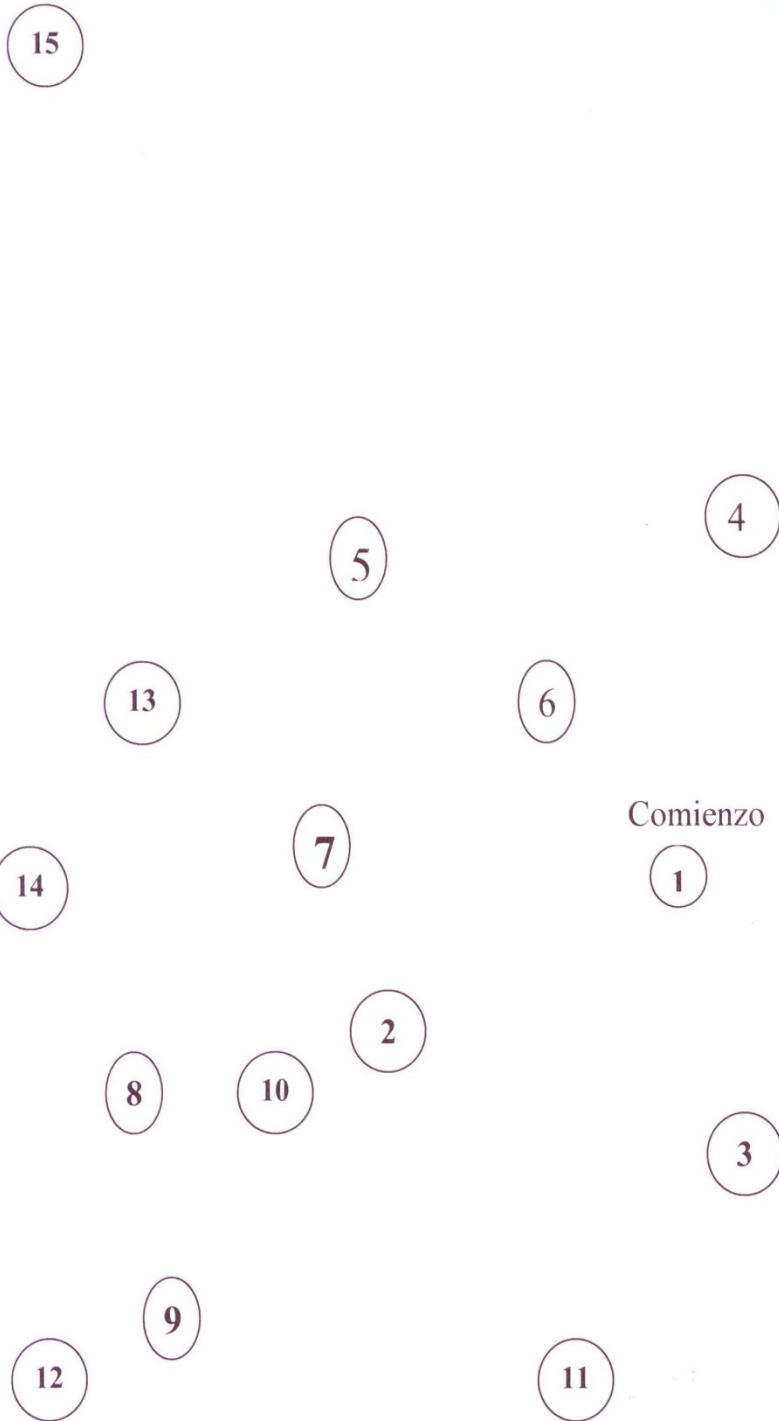
8-14 años

Parte A

EJEMPLO



Trail Making
Parte A



CLAVES (WISC-IV)

WISC-IV

Claves B
8 a 16 años

1	2	3	4	5	6	7	8	9
÷)	+	┌	└	∨	⊂	·	└

EJEMPLOS																				
2	1	4	6	3	5	2	1	3	4	2	1	3	1	2	3	1	4	2	6	3
1	2	5	1	3	1	5	4	2	7	4	6	9	2	5	8	4	7	6	1	8
7	5	4	8	6	9	4	3	1	8	2	9	7	6	2	5	8	7	3	6	4
5	9	4	1	6	8	9	3	7	5	1	4	9	1	5	8	7	6	9	7	8
2	4	8	3	5	6	7	1	9	4	3	6	2	7	9	3	5	6	7	4	5
2	7	8	1	3	9	2	6	8	4	1	3	2	6	4	9	3	8	5	1	8

BÚSQUEDA DE SÍMBOLOS (WISC-IV)

WS -

Búsqueda de símbolos

PARTE B: 8 a 16 años

EJEMPLOS

\oplus	\ominus	\oplus	L	<	⊥	~	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
----------	-----------	----------	---	---	---	---	-----------------------------	-----------------------------

↷	L	≠	∩	∩	≲	⊕	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
---	---	---	---	---	---	---	-----------------------------	-----------------------------

ELEMENTOS DE PRÁCTICA

⊥	<	↷	⊥	±	≠	⊖	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
---	---	---	---	---	---	---	-----------------------------	-----------------------------

≈	⊖	∩	±	⊥	≠	∩	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
---	---	---	---	---	---	---	-----------------------------	-----------------------------



B (Continuación)

\ominus	\oplus	\approx	Υ	Θ	\Re	\lrcorner	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\dagger	\lrcorner	\dagger	\Re	$>$	\cup	\otimes	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\cup	\cup	\Rightarrow	\lrcorner	\vDash	\boxplus	\triangleleft	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\otimes	\sim	\neq	\otimes	\cup	\neq	Θ	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\neq	Υ	\vDash	\Re	\complement	\lrcorner	\curvearrowright	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\triangleright	\triangleright	\sim	\cup	\approx	\vDash	\approx	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\Re	\cup	\cup	\cup	\lrcorner	\Re	\uparrow	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\star	\sim	\neq	Θ	Υ	\cup	\sim	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\sqcap	\star	\triangleleft	\complement	Υ	\triangleright	\cup	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\boxplus	\sim	\vDash	\top	\complement	\boxplus	\lrcorner	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\star	\triangleright	\triangleright	\star	\triangleleft	\vDash	\neq	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\Rightarrow	\uparrow	\Re	\approx	\cup	\sim	\forall	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\complement	\lrcorner	\dagger	\star	\triangleleft	\neq	\Re	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\Rightarrow	\otimes	\boxplus	\otimes	\star	\lrcorner	\Re	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\lrcorner	\vDash	\star	\top	\Re	\lrcorner	\Re	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO



WS -

B (Continuación)

\square	\sim	\cup	\approx	\neq	\cup	\vdash	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\ominus	\otimes	\Leftrightarrow	\ominus	\oplus	\vdash	\cup	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\neg	\beth	\sim	\neg	\beth	\neg	\otimes	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\otimes	\neq	\Leftrightarrow	\otimes	\pm	\neq	\neq	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\rightarrow	\sim	\ominus	\rightarrow	\neg	\rightarrow	\neq	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\approx	\neq	\neq	\otimes	\neq	\vdash	\ominus	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\rightarrow	\rightarrow	\neq	\rightarrow	\Leftrightarrow	\otimes	\rightarrow	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\ominus	\neq	\neq	\cup	\neq	\neq	\rightarrow	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\cup	\rightarrow	\approx	\neg	\cup	\cup	\rightarrow	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\rightarrow	\neq	\neq	\approx	\sim	\neq	\neq	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\neq	\neq	\vdash	\neg	\neq	\neq	\rightarrow	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\approx	\otimes	\approx	\cup	\neq	\neg	\neq	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\neq	\cup	\ominus	\neg	\beth	\neg	\ominus	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\neq	\neq	\neq	\neq	\square	\neq	\neq	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\ominus	\neq	\neq	\vdash	\neq	\neg	\ominus	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO

A E

WS -

B (Continuación)

Υ	\times	\times	\cap	\times	\ominus	\times	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\oint	\approx	\emptyset	\curvearrowright	\curvearrowright	\neq	\sim	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\boxplus	\ominus	\cup	\oplus	\pm	\cup	\top	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\approx	\neq	\approx	\triangleleft	\cup	\neq	\parallel	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\neq	\top	\neq	\pm	\approx	\curvearrowright	\perp	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\ominus	\cap	\oplus	\subset	\ominus	\sqcap	\triangleright	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\otimes	\otimes	\otimes	\times	\times	\parallel	\otimes	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\sqcap	\perp	\neq	\perp	\sqcap	\perp	\cup	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\emptyset	Υ	\emptyset	\curvearrowright	\cap	\curvearrowright	\neq	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\triangleleft	\times	\triangleleft	\approx	\times	\times	\triangleright	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\neq	\pm	\neq	\top	\approx	\perp	\neq	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\curvearrowright	\sim	\rightarrow	\curvearrowright	\Rightarrow	\sim	\curvearrowright	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\ominus	\cup	\cup	\neq	\cup	\otimes	\times	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\triangleright	\times	\triangleright	\Leftrightarrow	\neq	\perp	\triangleright	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO
\pm	\sqcap	\neq	\subset	\perp	\top	\pm	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO

A E

LETRAS Y NÚMEROS (WISC-IV)

WS -

7 Letras y números



6 a 7 años: elementos de eliminación, ejemplos y elemento 1
8 a 16 años: ejemplos y elemento 1



TERMINACIÓN
Si el niño no realiza correctamente alguno de los elementos de eliminación o después de obtener 0 puntos en los tres intentos de un elemento



PUNTAJACIÓN
En cada intento:
0 ó 1 punto en cada respuesta
Puntuación del elemento:
Intento 1+ Intento 2 + Intento 3

	Elementos de eliminación	Respuesta correcta	Correcta	
6-7	Contar	El niño cuenta hasta tres.	SÍ	NO
	Abecedario	El niño dice el alfabeto hasta la letra C.	SÍ	NO

Elem.	Intento	Respuestas correctas		Respuesta literal	Punt. intento	Punt. elemento	
E	1	A-2	2-A	A-2			
	2	B-3	3-B	B-3			
1	1	A-3	3-A	A-3	0	1	
	Si contesta A-3, corregirle como se indica en el manual						
	2	B-1	1-B	B-1	0	1	
2	1	C-4	4-C	C-4	0	1	
	2	5-E	5-E	E-5	0	1	
	3	D-3	3-D	D-3	0	1	
3	1	B-1-2	1-2-B	B-1-2	0	1	
	2	1-3-C	1-3-C	C-1-3	0	1	
	3	2-A-3	2-3-A	A-2-3	0	1	
4	1	D-2-9	2-9-D	D-2-9	0	1	
	2	R-5-B	5-B-R	B-R-5	0	1	
	Si contesta 5-R-B o R-B-5 diga: Debes decir las letras en orden						
5	1	3-E-2	2-3-E	E-2-3	0	1	
	Si contesta 3-2-E o E-3-2 diga: Debes decir los números en orden						
	2	9-J-4	4-9-J	J-4-9	0	1	
6	1	1-C-3-J	1-3-C-J	C-J-1-3	0	1	
	2	5-A-2-B	2-5-A-B	A-B-2-5	0	1	
	3	D-8-M-1	1-8-D-M	D-M-1-8	0	1	
7	1	1-B-3-G-7	1-3-7-B-G	B-G-1-3-7	0	1	
	2	9-V-1-T-7	1-7-9-T-V	T-V-1-7-9	0	1	
	3	P-3-J-1-M	1-3-J-M-P	J-M-P-1-3	0	1	
8	1	1-D-4-E-9-G	1-4-9-D-E-G	D-E-G-1-4-9	0	1	
	2	H-3-B-4-F-8	3-4-8-B-F-H	B-F-H-3-4-8	0	1	
	3	7-Q-6-M-3-Z	3-6-7-M-Q-Z	M-Q-Z-3-6-7	0	1	
9	1	5-3-K-4-Y-1-G	1-3-4-G-K-S-Y	G-K-S-Y-1-3-4	0	1	
	2	7-5-9-K-1-T-6	1-6-7-9-K-S-T	K-S-T-1-6-7-9	0	1	
	3	L-2-J-6-Q-3-G	2-3-6-G-J-L-Q	G-J-L-Q-2-3-6	0	1	
10	1	4-B-8-R-1-M-7-H	1-4-7-8-B-H-M-R	B-H-M-R-1-4-7-8	0	1	
	2	J-2-U-8-A-5-C-4	2-4-5-8-A-C-J-U	A-C-J-U-2-4-5-8	0	1	
	3	6-L-1-Z-5-H-2-W	1-2-5-6-H-L-W-Z	H-L-W-Z-1-2-5-6	0	1	

Puntuación directa (máxima=30)

11

TEST DE FLUIDEZ VERBAL (CATEGORÍA ANIMALES)

Fluidez verbal: Animales: Se le pide al niño que diga todos los animales que sepa en 60 segundos.

TEST DE COLORES Y PALABRAS STROOP

Nº 226

STROOP
Test de Colores y Palabras

Nombre: _____
 Edad: _____ Sexo: _____ Fecha: _____

PARA USO DEL PROFESIONAL

	PD	PT
P		
C		
PC		
$P \times C$ ----- = PC' $P + C$		
$PC - PC' = \text{INTERF.}$		

**NO ABRA EL CUADERNILLO
 HASTA QUE SE LE INDIQUE**



Copyright de la edición española © 1993 by TEA Ediciones, S.A., Madrid (España) - Traducido y adaptado con permiso del propietario original, Stoelting Company, Illinois (U.S.A.) - Edita: TEA Ediciones, S.A. - Prohibida la reproducción total o parcial. Todos los derechos reservados - Printed in Spain. Impreso en España por CIPSA; Orense, 68, 28020 Madrid - Depósito legal: M - 117 - 1994.

ROJO	AZUL	VERDE	ROJO	AZUL
VERDE	VERDE	ROJO	AZUL	VERDE
AZUL	ROJO	AZUL	VERDE	ROJO
VERDE	AZUL	ROJO	ROJO	AZUL
ROJO	ROJO	VERDE	AZUL	VERDE
AZUL	VERDE	AZUL	VERDE	ROJO
ROJO	AZUL	VERDE	AZUL	VERDE
AZUL	VERDE	ROJO	VERDE	ROJO
VERDE	ROJO	AZUL	ROJO	AZUL
AZUL	VERDE	VERDE	AZUL	VERDE
VERDE	ROJO	AZUL	ROJO	ROJO
ROJO	AZUL	ROJO	VERDE	AZUL
VERDE	ROJO	AZUL	ROJO	VERDE
AZUL	AZUL	ROJO	VERDE	ROJO
ROJO	VERDE	VERDE	AZUL	AZUL
AZUL	AZUL	ROJO	VERDE	ROJO
ROJO	VERDE	AZUL	ROJO	VERDE
VERDE	ROJO	VERDE	AZUL	AZUL
ROJO	AZUL	ROJO	VERDE	ROJO
VERDE	ROJO	VERDE	AZUL	VERDE

ROJO	AZUL	VERDE	ROJO	AZUL
VERDE	VERDE	ROJO	AZUL	VERDE
AZUL	ROJO	AZUL	VERDE	ROJO
VERDE	AZUL	ROJO	ROJO	AZUL
ROJO	ROJO	VERDE	AZUL	VERDE
AZUL	VERDE	AZUL	VERDE	ROJO
ROJO	AZUL	VERDE	AZUL	VERDE
AZUL	VERDE	ROJO	VERDE	ROJO
VERDE	ROJO	AZUL	ROJO	AZUL
AZUL	VERDE	VERDE	AZUL	VERDE
VERDE	ROJO	AZUL	ROJO	ROJO
ROJO	AZUL	ROJO	VERDE	AZUL
VERDE	ROJO	AZUL	ROJO	VERDE
AZUL	AZUL	ROJO	VERDE	ROJO
ROJO	VERDE	VERDE	AZUL	AZUL
AZUL	AZUL	ROJO	VERDE	ROJO
ROJO	VERDE	AZUL	ROJO	VERDE
VERDE	ROJO	VERDE	AZUL	AZUL
ROJO	AZUL	ROJO	VERDE	ROJO
VERDE	ROJO	VERDE	AZUL	VERDE

TEST GO/NO-GO

Codigo/Nombre	<input type="text" value="000"/>	<p>Nota:</p> <ul style="list-style-type: none"> - No utilizar la barra espaciadora ni la tecla 'Intro' como teclas de respuesta. - El número de ensayos por fase debe ser siempre un número par. - El número total de ensayos se calcula automáticamente. No introduzca ningún valor. - En la tarea 'Tiempo de Reacción' no hay fases. Por tanto, el número de ensayos será igual al número de ensayos total (ensayos por fase x 2). - En la tarea 'Reversal Learning' no hay fases. Al igual que en la tarea de tiempo de reacción, el número de ensayos será igual al número total de ensayos. De ellos, la mitad se asignarán por azar a un criterio de respuesta y la otra mitad al otro. - Recuerde ocultar la barra de tareas de Windows.
Número de sujeto	<input type="text"/>	
Ensayos/fase (par)	<input type="text" value="50"/> Total <input type="text" value="100"/>	
Edad	<input type="text" value="10"/>	
Sexo	<input type="text" value="m"/>	
Comentarios	<input style="width: 100%; height: 50px;" type="text"/>	

Tipo de tarea	<input type="radio"/> Tiempo reacción <input checked="" type="radio"/> Go / No Go <input type="radio"/> Reversal Learning
Set de estímulos	<input checked="" type="radio"/> Identidad <input type="radio"/> Color

Presentar instrucciones	
Comenzar tarea	
Salir	

Inicio | Reversal Learning 2.2 | Documento1

Instrucciones

En esta tarea se te presentarán dos tipos de estímulos: la silueta de un delfín y la silueta de un osito. Inicialmente tu misión es pulsar cualquier tecla del teclado, tan rápidamente como puedas, cuando veas el delfín y no hacer nada (no pulsar ninguna tecla) cuando veas el osito.

Sin embargo, en un cierto punto de la tarea sonará un zumbido (pulsar abajo para escuchar). Cuando esto ocurra, debes cambiar tu criterio de respuesta, y pulsar cualquier tecla cuando aparezca el osito y no hacer nada cuando aparezca el delfín.

En todos los casos, un sonido distintivo te indicará si has acertado o has fallado. Y recuerda es muy importante que intentes dar tu respuesta lo más rápido posible. Intenta ir mejorando tus tiempos conforme avanza la tarea.

¿HAS COMPRENDIDO TU TAREA?

SI TIENES ALGUNA DUDA PREGUNTA AL EXPERIMENTADOR

Inicio | Reversal Learning 2.2 | Documento1 - Mi... | Instrucciones



Ensayos000Jose manuel moreno dorado - Bloc de notas

Numero	Ensayo	Switch	Dibujo	Respuesta	Correcta
1	0	0	0		
2	0	0	0		
3	0	1	1		
4	0	1	1		
5	0	1	1		
6	0	1	1		
7	0	1	1		
8	0	0	0		
9	0	0	0		
10	0	0	0		
11	0	1	1		
12	0	1	1		
13	0	0	0		
14	0	0	0		
15	0	0	0		
16	0	1	1		
17	0	0	0		
18	0	1	1		
19	0	0	0		
20	0	0	0		
21	0	0	0		
22	0	1	1		
23	0	1	1		
24	0	1	1		
25	0	1	1		
26	0	0	0		
27	0	1	1		
28	0	1	1		
29	0	1	1		
30	0	1	1		
31	0	0	0		
32	0	1	1		
33	0	0	0		
34	0	0	0		
35	0	0	0		
36	0	0	0		
37	0	1	1		

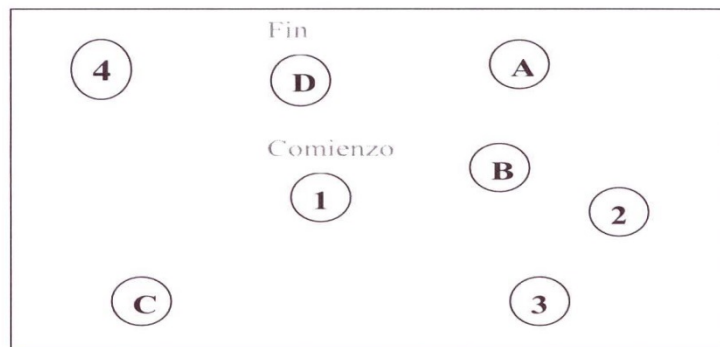
Inicio | Documento1 - Miros... | Instrucciones

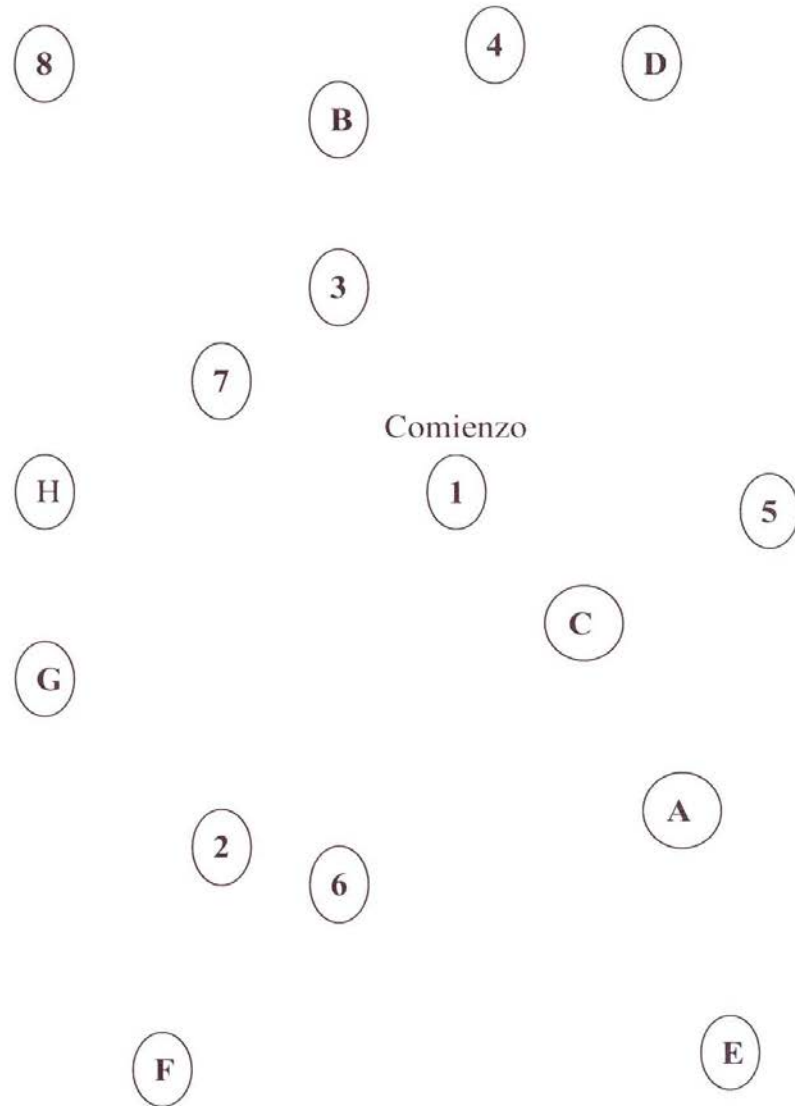
TRAIL MAKING TEST B

TRAIL MAKING TEST


Parte B

EJEMPLO





INVENTARIO DEL COMPORTAMIENTO DE NIÑOS DE 6 A 18 AÑOS PARA PADRES (CBCL/6-18)

	Por favor utilice letra de imprenta	INVENTARIO DEL COMPORTAMIENTO DE NIÑOS/AS DE 6-18 AÑOS PARA PADRES (CBCL/6-18)	Para llenar en el centro ID #
NOMBRE DEL NIÑO Nombre _____ Apellido 1 _____ Apellido 2 _____		TRABAJO HABITUAL DE LOS PADRES , incluso si ahora no están trabajando (por favor especifique - por ejemplo: Mecánico, jardinero, maestro de escuela, ama de casa, obrero, zapatero, sargento en el ejército). TRABAJO DEL PADRE: _____ TRABAJO DE LA MADRE: _____	
SEXO DEL NIÑO <input type="checkbox"/> Masculino <input type="checkbox"/> Femenino		EDAD _____ RAZA O GRUPO ÉTNICO _____	
FECHA DE HOY Día _____ Mes _____ Año _____		FECHA DE NACIMIENTO Día _____ Mes _____ Año _____	
Curso Escolar _____ No va a la escuela <input type="checkbox"/>		ESTE CUESTIONARIO FUE CONTESTADO POR (escriba su nombre completo): _____ Sexo del informante: <input type="checkbox"/> Hombre <input type="checkbox"/> Mujer Relación con el niño: <input type="checkbox"/> Padre o madre biológico/a <input type="checkbox"/> Padrastro/Madrastra <input type="checkbox"/> Abuelo/a	
Por favor complete este cuestionario con su opinión sobre el comportamiento de su hijo/a, incluso aunque piense que otras personas no están de acuerdo con usted. Si lo cree necesario anote comentarios adicionales al final de cada frase y en el espacio que se proporciona en la página 2			
I. ¿Cuáles son las actividades deportivas en las que más le gusta participar a su hijo/a?			
En comparación con otros/as niños/as de su edad, ¿cuánto tiempo le dedica a cada uno de estos deportes?		En comparación con otros/as niños/as de su edad, ¿cómo hace cada uno de estos deportes?	
Por ejemplo: natación, fútbol, básquet, montar en bicicleta, monopatín, pescar, etc. <input type="checkbox"/> Ninguna		No lo sé	Menos que los demás
a. _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
II. ¿Cuáles son las actividades, juegos o pasatiempos favoritos de su hijo/a? (No incluya deportes)			
En comparación con otros/as niños/as de su edad, ¿cuánto tiempo le dedica a cada una de estas actividades?		En comparación con otros/as niños/as de su edad, ¿cómo hace estas actividades?	
Por ejemplo: coleccionar sellos, jugar con muñecas, leer, tocar el piano, artesanía, coches, cantar, etc. (No incluya ver TV u oír la radio) <input type="checkbox"/> Ninguna		No lo sé	Menos que los demás
a. _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
III. ¿A qué organizaciones, clubes, equipos u otros grupos pertenece su hijo/a?			
En comparación con otros/as niños/as de su edad, ¿en qué grado se implica en cada uno de estos grupos?		En comparación con otros/as niños/as de su edad, ¿cómo lleva a cabo estas tareas?	
<input type="checkbox"/> Ninguna		No lo sé	Más activo
a. _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IV. ¿Qué trabajos o tareas hace su hijo/a?			
En comparación con otros/as niños/as de su edad, ¿cómo lleva a cabo estas tareas?		En comparación con otros/as niños/as de su edad, ¿cómo lleva a cabo estas tareas?	
Por ejemplo: cuidar niños, hacer la cama, dar clases particulares, tirar la basura, reparar pizzas, etc. (Incluya tanto trabajos o tareas pagados como no pagados) <input type="checkbox"/> Ninguna		No lo sé	Más que los demás
a. _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Pase a la página siguiente...

Copyright 2001, T.M. Achenbach

Edición 9-01

©SEBA, University of Vermont, 1 S. Prospect St., Burlington, VT 05401-3456, USA Web <http://www.aseba.org> Reproducido con permiso.
 Traducido por Unitat d'Epidemiologia i de Diagnòstic en Psicopatologia del Desenvolupament, Universitat Autònoma de Barcelona. <http://www.ued.uab.es>

LA LEY PROHIBE LA REPRODUCCION NO AUTORIZADA

Por favor, utilice letra de imprenta

V. 1. ¿Cuántos amigos o amigas íntimos/as tiene su hijo/a?
(No incluya a sus hermanos/as) Ninguno 1 2 o 3 4 o más

2. Sin contar las horas que está en la escuela, ¿cuántas veces a la semana participa en actividades con sus amigos? (No incluya a sus hermanos/as) Menos de 1 1 o 2 3 o más

VI. En comparación con otros niños de la misma edad, ¿cómo....

	Peor que los demás	Igual que los demás	Mejor que los demás	
a. se lleva con sus hermanos y hermanas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> No tiene hermanos ni hermanas
b. se lleva con otros niños/as o jóvenes?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
c. se comporta con sus padres?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d. juega solo/a y hace sus tareas solo/a	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

VII. 1. Rendimiento escolar No va al colegio porque _____

Marque una cruz en cada asignatura indicando el rendimiento de su hijo/a

	Suspense (0-3)	Por debajo del promedio (4)	Promedio (5-6)	Por encima del promedio (7-10)
a. Lectura, Idiomas nacionales Literatura, Gramática	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Historia, Ciencias Sociales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Matemáticas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Ciencias (física, química, biología)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otras asignaturas como: Tecnología, Informática, Inglés, Francés, etc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g. _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. ¿Recibe su hijo/a algún tipo de educación especial, está en una clase o en un colegio especial? No Sí - Especifique en qué tipo de clase o escuela especial está: _____

3. ¿Ha repetido su hijo/a algún curso? No Sí - ¿Qué curso/s repitió y por qué?: _____

4. ¿Ha tenido su hijo/a algún problema académico o de otro tipo en el colegio? No Sí - Por favor, descríbalos: _____

¿Cuándo empezaron estos problemas?: _____

¿Han terminado estos problemas? No Sí-¿Cuándo?: _____

¿Tiene su hijo alguna enfermedad o incapacidad (física o mental)? No Sí - Por favor descríbalas: _____

¿Qué es lo que más le preocupa sobre su hijo/a? _____

Por favor, describa los aspectos más positivos del niño _____

Por favor escriba en letra de imprenta. Asegúrese de contestar todas las preguntas.

0 = No es cierto (que sepa usted)		1 = Algo, algunas veces cierto		2 = Cierto muy a menudo o bastante a menudo					
0	1	2	61.	Trabajo deficiente en la escuela	0	1	2	87.	Cambios repentinos de humor o sentimientos
0	1	2	62.	Mala coordinación o torpeza	0	1	2	88.	Malhumorado/a, pone mala cara
0	1	2	63.	Prefiere estar con niños/as o jóvenes mayores que él/ella	0	1	2	89.	Desconfiado/a, receloso/a
0	1	2	64.	Prefiere estar con niños/as o jóvenes menores que él/ella	0	1	2	90.	Dice groserías, usa lenguaje obsceno
0	1	2	65.	Se niega a hablar	0	1	2	91.	Habla de querer matarse
0	1	2	66.	Repite ciertas acciones una y otra vez, compulsiones (describa): _____	0	1	2	92.	Habla o camina cuando está dormido/a (describa): _____
0	1	2	67.	Se fuga de casa	0	1	2	93.	Habla demasiado
0	1	2	68.	Grita mucho	0	1	2	94.	Se burla de los demás o molesta mucho
0	1	2	69.	Muy reservado/a; se calla todo	0	1	2	95.	Tiene rabietas o mal genio
0	1	2	70.	Ve cosas que no existen (describa): _____	0	1	2	96.	Piensa demasiado sobre temas sexuales
0	1	2	71.	Se avergüenza con facilidad; tiene mucho sentido del ridículo	0	1	2	97.	Amenaza a otros
0	1	2	72.	Prende fuegos	0	1	2	98.	Se chupa el dedo
0	1	2	73.	Problemas sexuales (describa): _____	0	1	2	99.	Fuma tabaco
0	1	2	74.	Le gusta llamar la atención o hacerse el gracioso/a	0	1	2	100.	No duerme bien (describa): _____
0	1	2	75.	Muy tímido/a	0	1	2	101.	Hace novillos, falta a la escuela sin motivo
0	1	2	76.	Duerme menos que la mayoría de los/las niños/as o jóvenes	0	1	2	102.	Poco activo/a, lento/a, o le falta energía
0	1	2	77.	Duerme más que la mayoría de los/las niños/as o jóvenes durante el día y/o la noche	0	1	2	103.	Infeliz, triste o deprimido/a
0	1	2	78.	Desatento/a, se distrae fácilmente	0	1	2	104.	Más ruidoso/a de lo común
0	1	2	79.	Problemas para hablar (describa): _____	0	1	2	105.	Toma alcohol o drogas (describa): _____
0	1	2	80.	Se queda mirando al vacío	0	1	2	106.	Comete actos de vandalismo, como romper ventanas u otras cosas
0	1	2	81.	Roba en casa	0	1	2	107.	Se orina en la ropa durante el día
0	1	2	82.	Roba fuera de casa	0	1	2	108.	Se orina en la cama
0	1	2	83.	Almacena cosas que no necesita (describa): _____	0	1	2	109.	Se queja mucho
0	1	2	84.	Comportamiento raro (describa): _____	0	1	2	110.	Desea ser del sexo opuesto
0	1	2	85.	Ideas raras (describa): _____	0	1	2	111.	Se aísla, no se relaciona con los demás
0	1	2	86.	Tozudo/a, malhumorado/a, irritable	0	1	2	112.	Se preocupa mucho
					0	1	2	113.	Por favor anote cualquier otro problema que tenga su hijo/a y que no esté incluido en esta lista: _____
					0	1	2		_____
					0	1	2		_____
					0	1	2		_____

POR FAVOR, VERIFIQUE QUE HA CONTESTADO TODAS LAS PREGUNTAS

SUBRAYE LAS QUE LE PREOCUPAN

CUESTIONARIO SOBRE LA ATENCIÓN Y LA CONDUCTA DEL NIÑO

a) Nº HISTORIA CLINICA NIÑO: _____
b) IDNUM NIÑO: <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
c) FECHA CUESTIONARIO: ____ / ____ / ____
d) ENTREVISTADOR: _____ e) ENTREVISTADO: _____

A continuación hay una serie de frases que describen la conducta del niño. Por favor, rodee con un círculo el número de la columna que mejor la describa.

	No es cierto	Le sucede algunas veces	Le sucede bastantes veces	Le ocurre casi siempre
No presta atención suficiente a los detalles o incurre en errores por descuido en las tareas escolares, en el trabajo o en otras actividades	0	1	2	3
Tiene dificultades para mantener la atención en tareas o en actividades lúdicas	0	1	2	3
No parece escuchar cuando se le habla directamente	0	1	2	3
No sigue instrucciones y no finaliza tareas escolares, encargos, u obligaciones (y esto no se debe a un comportamiento negativista o a incapacidad para comprender instrucciones)	0	1	2	3
Tiene dificultades para organizar tareas y actividades	0	1	2	3
Evita, le disgusta o es reacio a dedicarse a tareas que requieren un esfuerzo mental sostenido (como trabajos escolares o domésticos)	0	1	2	3
Extravía objetos necesarios para tareas o actividades (p. ej. juguetes, ejercicios escolares, lápices, libros o herramientas)	0	1	2	3
Se distrae fácilmente por estímulos irrelevantes	0	1	2	3
Es descuidado en las actividades diarias	0	1	2	3
Mueve en exceso manos o pies, o se remueve en su asiento	0	1	2	3
Abandona su asiento en la clase o en otras situaciones en que se espera que permanezca sentado	0	1	2	3
Corre o salta excesivamente en situaciones en que es inapropiado hacerlo	0	1	2	3
Tiene dificultades para jugar o dedicarse tranquilamente a actividades de ocio	0	1	2	3
“Está en marcha” o suele actuar como si tuviera un motor	0	1	2	3
Habla en exceso	0	1	2	3
Precipita respuestas antes de haber sido completadas las preguntas	0	1	2	3
Tiene dificultades para guardar turno	0	1	2	3
Interrumpe o se inmiscuye en las actividades de otros (p. ej. se entromete en conversaciones o juegos)	0	1	2	3

SUBTEST SEMEJANZAS (WAIS-III)

	Elemento	Respuesta	Puntuación		
			0	1	2
1	Naranja - Pera		0	1	
2	Chaqueta – Pantalón		0	1	
3	Perro – León		0	1	
4	Calcetines – Zapatos		0	1	
5	Tenedor – Cuchara		0	1	
6	Mesa – Silla		0	1	2
7	Barco – Automóvil		0	1	2
8	Piano – Tambor		0	1	2
9	Ojo – Oído		0	1	2
10	Aire – Agua		0	1	2
11	Ordenador – Libro		0	1	2
12	Poema – Estatua		0	1	2
13	Mosca – Árbol		0	1	2
14	Huevo – Semilla		0	1	2
15	Vapor – Niebla		0	1	2
16	Amigo – Enemigo		0	1	2
17	Hibernación – Migración		0	1	2
18	Premio – Castigo		0	1	2
19	Trabajo – Juego		0	1	2

Puntuación directa	Puntuación escalar

SUBTEST VOCABULARIO (WAIS-III)

	Elemento	Respuesta	Puntuación		
			0	1	2
1	Cama		0	1	2
2	Manzana		0	1	2
3	Peseta		0	1	2
4	Desayuno		0	1	2
5	Invierno		0	1	2
6	Enorme		0	1	2
7	Barco		0	1	2
8	Ocultar		0	1	2
9	Apresurarse		0	1	2
10	Calamidad		0	1	2
11	Monumento		0	1	2
12	Compasión		0	1	2
13	Remordimiento		0	1	2
14	Reparar		0	1	2
15	Consumir		0	1	2
16	Terminar		0	1	2
17	Santuario		0	1	2
18	Organizar		0	1	2
19	Agobiar		0	1	2
20	Reflexionar		0	1	2
21	Sentencia		0	1	2
22	Inminente		0	1	2
23	Caverna		0	1	2

24	Reunir		0	1	2
25	Empezar		0	1	2
26	Borde		0	1	2
27	Designar		0	1	2
28	Obstruir		0	1	2
29	Perímetro		0	1	2
30	Insolente		0	1	2
31	Peculiar		0	1	2
32	Plagiar		0	1	2
33	Seto		0	1	2
34	Tangible		0	1	2
35	Aséptico		0	1	2
36	Empalar		0	1	2
37	Diatriba		0	1	2
38	Amanuense		0	1	2
39	Ominoso		0	1	2
40	Trasunto		0	1	2

Puntuación directa	Puntuación escalar

CUESTIONARIO DE FRECUENCIA ALIMENTARIA N° 3

IDNUM | | | | |

Estimada Sra., esta parte de la encuesta es para conocer la dieta que ha seguido su hijo/a a lo largo de todo el último año. Con ello tratamos de averiguar el papel que puede jugar la dieta en relación a su crecimiento y desarrollo. Sus respuestas serán muy útiles, y por ello, le agradecemos sinceramente que preste su máxima atención y colaboración. Cuando un alimento no se adapte plenamente a su consumo habitual, trate de aproximar su respuesta a las cantidades indicadas, con la ayuda de los ejemplos e indicaciones que se le den.

Para cada alimento, señalar cuantas veces como media ha tomado la cantidad que se indica durante el último año. Debe tener en cuenta las veces que toma el alimento solo y cuando lo añade a otro alimento o plato. Por ejemplo, en el caso del huevo, considere cuando lo toma solo (Ej. frito o cocido) y cuando lo toma añadido o mezclado con otros platos. Si este en este año ha venido comiendo una tortilla de 2 huevos cada 2 días, deberá marcar "1 por día". No debe considerar el huevo que va con los productos de bollería o dulces.

I. LACTEOS	Nunca ó <1 mes	1-3 por mes	1 por sem	2-4 por sem	5-6 por sem	1 por día	2-3 por día	4-5 por día	6+
1. Leche entera (1 vaso o taza, 200 cc)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
2. Leche semi-desnatada (1 vaso, 200cc)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
3. Leche desnatada (1 vaso, 200cc)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
4. Leche energía y crecimiento (1 vaso, 200cc)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
5. Leche enriquecida con calcio (1 vaso, 200cc)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
6. Leche enriquecida con Vitamina A + D (1 vaso, 200cc)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
7. Leche condensada (1 cucharada)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
8. Yogur entero (uno, 125 gramos)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
9. Yogur desnatado (uno, 125 gramos)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
10. Batidos de leche o bebidas lácteas tipo <i>Dan-up</i> (Una botellita pequeña)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
11. Petit suisse (uno)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
12. Requesón, queso blanco o fresco (una porción o ración, 30 g)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
13. Queso curado, semicurado, o cremoso (un trozo, 30 gramos)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
14. Crema o nata montada (1 cucharada, 7,5 gramos)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
15. Natillas, flan, puding (uno)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
16. Helados (1 cucurucho, vasito o bola)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
II. HUEVOS, CARNES, PESCADOS	Nunca ó <1 mes	1-3 por mes	1 por sem	2-4 por sem	5-6 por sem	1 por día	2-3 por día	4-5 por día	6+
17. Huevos de gallina (uno)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
18. Pollo CON piel (1 plato mediano o pieza)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
19. Pollo SIN piel (1 plato mediano o pieza)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
20. Carne de ternera, cerdo, cordero como plato principal (1 plato mediano o pieza)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
21. Hígado de ternera, cerdo, pollo (1 plato, ración o pieza mediana)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
22. Embutidos: jamón, salchichón, salami, mortadela, (1 ración de unos 50 g)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
23. Salchichas y similares (2 pequeñas o una mediana)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
24. Patés, foie-gras (media ración, 25 g)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
25. Hamburguesa (una mediana, 100 g)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
26. Tocino, beicon, panceta (2 tiras o lonchas, 50 g)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
27. Pescado frito o rebozado variado (1 plato mediano o ración)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
28. Pescado hervido o plancha BLANCO: merluza, lenguado, dorada (1 plato o ración)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
29. Pescado hervido o plancha AZUL: atún, emperador, bonito, boquerón, salmón (1 plato)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
30. Una lata pequeña de conserva de atún, bonito, sardina o caballa en aceite	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
31. Almejas, mejillones, berberechos (1 ración o lata pequeña, 50 g)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
32. Calamares, chipirones, sepia, choco, pulpo (1 ración pequeña, 50 g)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
33. Marisco: gambas, cangrejo, langostino, langosta (1 ración pequeña 50 g)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨

Si no se especifica, los platos para carne, pescado, verdura, legumbres o frutas son de tamaño pequeño-mediano

Para alimentos que se consumen por temporadas (ej. frutas, helados), calcular el consumo medio para todo el año. Por ejemplo, si para un alimento como la sandía o el melón se comen 2 tajadas diarias durante todo el verano (3 meses), entonces el consumo medio al año de una tajada se marcaría en la casilla 4 "2-4 por sem"

III. VERDURAS, LEGUMBRES.

	Nunca ó <1 mes	1-3 por mes	1 por sem	2-4 por sem	5-6 por sem	1 por día	2-3 por día	4-5 por día	6+ por día
34. Espinacas o acelgas cocinadas (1 plato mediano)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
35. Col, coliflor, brócolis cocinadas (1 plato mediano)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
36. Lechuga, endibias, escarola (1 plato mediano)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
37. Tomate (uno mediano)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
38. Zanahoria (una mediana)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
39. Calabaza cocinada (ej plato de puré pequeño)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
40. Judías verdes cocinadas (1 plato)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
41. Berenjenas, calabacín, pepino (uno mediano)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
42. Maíz hervido (mazorca o lata pequeña, 82 g)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
43. Legumbres: lentejas, garbanzos, judías pintas o blancas (1 plato)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨

IV. FRUTAS

	Nunca ó <1 mes	1-3 por mes	1 por sem	2-4 por sem	5-6 por sem	1 por día	2-3 por día	4-5 por día	6+ por día
44. Naranjas, mandarinas (Una)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
45. Zumo de naranja natural (un vaso pequeño, 125 cc)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
46. Plátano (uno)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
47. Manzana, pera (una mediana)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
48. Melocotón, nectarina, albaricoque (uno mediano)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
49. Sandía, melón (1 tajada mediana)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
50. Uvas (un racimo mediano o plato de postre)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
51. Fresas (plato pequeño)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
52. Cerezas, ciruelas, higos-brevas frescos (plato pequeño o dos unidades)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
53. Kiwi (una unidad)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
54. Fruta en almíbar: melocotón, piña, pera (2 mitades o rodajas)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
55. Aceitunas (un platito o tapa de unas 15 unidades pequeñas)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
56. Frutos secos: almendras, cacahuètes, piñones, avellanas (1 platito o bolsita, 30g)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨

V. PAN, CEREALES Y SIMILARES

	Nunca ó <1 mes	1-3 por mes	1 por sem	2-4 por sem	5-6 por sem	1 por día	2-3 por día	4-5 por día	6+ por día
57. Pan blanco (Una pieza pequeña o 3 rodajas de pan de molde, 60 g)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
58. Pan integral (Pieza pequeña o 3 rodajas de pan de molde)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
59. Cereales desayuno (30 g en seco)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
60. Patatas fritas (1 ración o plato, 100 g)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
61. Patatas cocidas, asadas (1 patata mediana)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
62. Bolsa de patatas fritas (1 bolsa pequeña)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
63. Bolsa de cortezas de maíz, conos y similares -chips, doritos- (1 bolsa pequeña)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
64. Arroz cocinado (1 plato mediano)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
65. Pastas: espaguetis, fideos, macarrones y similares (1 plato)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
66. Pizza (1 porción o ración, 200 g)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨

VI. BOLLERÍA Y DULCES

	Nunca ó <1 mes	1-3 por mes	1 por sem	2-4 por sem	5-6 por sem	1 por día	2-3 por día	4-5 por día	6+ por día
67. Galletas tipo María (1 galleta)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
68. Galletas con chocolate (1 galleta doble)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
69. Magdalenas o bizcochos comerciales (uno mediano)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
70. Croissant, ensaimada, donuts u otra bollería comercial sin relleno (uno)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
71. Bollicao u otra bollería comercial con relleno de crema o chocolate (uno)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
72. Bollería o repostería casera o panadería tradicional (una unidad mediana)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
73. Pasteles, tarta (unidad o trozo mediano)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
74. Chocolate, bombones y similares (1 barrita o 2 bombones, 30 g)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
75. Chocolate en polvo, <i>Cola-cao</i> y similares (1 cucharada colmada sopera)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨

VII. ACEITES Y GRASAS	Nunca ó <1 mes	1-3 por mes	1 por sem	2-4 por sem	5-6 por sem	1 por día	2-3 por día	4-5 por día	6+ por día
76. Aceite de oliva añadido en la mesa a ensalada, pan y a platos (1 cucharada sopera)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
77. Otros aceites vegetales (ídem): girasol, maíz, soja (1 cucharada sopera)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
78. Mantequilla añadida al pan o comida (1 cucharada o untada)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
79. Margarina añadida al pan/comida (1 untada) <i>marca</i> _____	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨

VIII. BEBIDAS Y MISCELANEAS	Nunca ó <1 mes	1-3 por mes	1 por sem	2-4 por sem	5-6 por sem	1 por día	2-3 por día	4-5 por día	6+ por día
80. Refrescos normales de cola, naranja, limón (ej. coca-cola, fanta) (Uno, 250 cc)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
81. Refrescos sin azúcar cola, naranja, limón (ej. coca-cola o pepsi light) (Uno, 250 cc)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
82. Agua del grifo (1 vaso, 250 cc)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
83. Agua embotellada sin gas (1 vaso, 250 cc)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
84. Agua embotellada con gas (1 vaso, 250 cc)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
85. Zumo de frutas envasado (1 vaso o envase tipo brick pequeño, 200cc)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
86. Croquetas de pollo, jamón (una)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
87. Croquetas, palitos o delicias de pescado fritos (una)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
88. Sopa, crema o puré de verduras (1 plato)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
89. Mayonesa (1 cucharada)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
90. Salsa de tomate (media taza)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
91. Ketchup ó catchup (1 cucharada sopera)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
92. Sal añadida a los platos en la mesa (1 pizca del salero o pellizco con dos dedos)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
93. Caramelos y otras chucherías (2 ó 3 unidades)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
94. Mermeladas, miel (1 cucharada)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
95. Azúcar (ej. en la leche, postres, etc.) (1 cucharadita)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨

¿Consume algún otro alimento al menos una vez a la semana?

_____ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨

SUPLEMENTOS Y OTROS HÁBITOS DIETÉTICOS

1. Durante los 2 últimos años, ¿ha tomado suplementos de vitaminas o minerales?	Marca y presentación	Dosis semanal (unidad/sem)
a. Preparados de Calcio ① No ② Estacionalmente (3-6meses) ③ Regularmente	_____	_____
b. Suplementos ricos en fibra ① No ② Estacionalmente (3-6meses) ③ Regularmente	_____	_____
c. Multivitaminas ① No ② Estacionalmente (3-6meses) ③ Regularmente	_____	_____
d. Otros suplementos ① No ② Estacionalmente (3-6meses) ③ Regularmente	_____	_____

2. ¿Ha seguido su hijo/a algún tipo de dieta en el último año? (Si responde NO pasar a pregunta 4)

① No ② Sí ③ No sabe/No contesta

3. ¿Podría indicar el motivo de seguir esta dieta? Puede marcar más de una respuesta

- ① para controlar su peso
- ② por razones médicas
- ¿cual? _____

4. ¿Con qué frecuencia come comidas fritas?

- ① A diario.
- ② 5-6 veces por semana.
- ③ 2-4 veces por semana.
- ④ 1 vez por semana.
- ⑤ Menos de 1 vez por semana. ⑥ Ns/Nc

5. ¿Cuándo come carne, cómo de hecha le gusta comerla?

- ① No come carne (pasar a pregunta 9)
- ② Cruda
- ③ Poco hecha
- ④ Hecha
- ⑤ Muy hecha. ⑥ Ns/Nc

6. ¿Cuándo come carne, qué hace Vd. con la grasa visible?

- ① La quita toda.
- ② Quita la mayoría.
- ③ Quita un poco.
- ④ No quita nada. ⑥ Ns/Nc

7. ¿Cómo suele comer la carne

Veces al
Nunca Mes Semana Día Ns/Nc

a. A la plancha	___	___	___	___	___
b. A la parrilla (grill)	___	___	___	___	___
c. Asada (horno)	___	___	___	___	___
d. Frita en aceite	___	___	___	___	___
e. Guisada	___	___	___	___	___

8. ¿Qué clase de grasa o aceite suele usar para:

Mantequilla Margarina Ac oliva AcO.virgen Maiz/Girasol Mezcla Aceites

ALIÑAR	___	___	___	___	___	___
COCINAR	___	___	___	___	___	___
FREIR	___	___	___	___	___	___

9. ¿Ha acudido su hijo al comedor escolar en el último año?

① Nunca ② <1 vez/sem ③ 1-3 veces/sem ④ 4-5 veces/sem ⑥ Ns/Nc

10. Habitualmente, ¿cuántas veces a la semana...

- ① Desayuna |___| veces/sem ④ Merienda |___| veces/sem
- ② Almuerzo |___| veces/sem ⑤ Cena |___| veces/sem
- ③ Come |___| veces/sem ⑥ "Pica algo" |___| veces/sem

ACTIVIDAD FISICA Y EJERCICIO DEL NIÑO/A (referida al último año)

1. En los últimos 12 meses, ¿podría indicarme Vd. cuántas horas al día suele dormir su hijo/a, incluida la siesta?

_____ horas

2. ¿Cuántos minutos de siesta suele dormir al día?

_____ min.

3. ¿Cuántas horas ve su hijo/a la televisión a la semana?
(ajustar al número entero más cercano)

_____ horas

4. ¿Cuánto tiempo camina o hace bicicleta al día?

- ① Casi nunca
- ② Menos de 20 minutos al día
- ③ 20-40 minutos al día
- ④ 40-60 minutos al día
- ⑤ Entre 1 y 1 hora y media al día
- ⑥ Más de 1 hora y media al día

5. En su tiempo libre incluidas las actividades extraescolares deportivas, ¿cuánto tiempo dedica a hacer ejercicios o deportes?

- ① Menos de 1/2 hora al día
- ② ½ a 1 hora / día
- ③ 1 hora / día
- ④ 2 horas / día
- ⑤ 3 horas / día
- ⑥ 4 o más horas / día

6. En su tiempo libre, ¿cuánto tiempo dedica a ver televisión, videos, juegos sedentarios, leer o a jugar con el ordenador?

- ① Menos de 1 hora al día
- ② 1 hora / día
- ③ 2 horas / día
- ④ 3 horas / día
- ⑤ 4 horas / día
- ⑥ 5 horas / día
- ⑦ 6 o más horas / día

7. Globalmente, considerando toda su actividad física (AF): ¿cómo considera Vd. a su hijo/a?

- ① **Sedentario/a:** sentado casi siempre, sin práctica de AF o deportes, bajo cuidados.
- ② **Poco activo/a:** actividades sentadas, escasa AF o deportes
- ③ **Moderadamente activo/a:** poco tiempo sentado, ligera AF o deportes.
- ④ **Bastante activo/a:** casi siempre de pie, frecuente AF o deportes.
- ⑤ **Muy activo/a:** siempre de pie/moviéndose, intensa AF o deportes a diario)
- ⑥ No sabe / no contesta

(Se asume una asistencia media de 5 a 6 horas/día al colegio)

8.2. Equipo de medida

8.2 Equipo de medida

INSTRUMENTACIÓN

- Para realizar las medidas de radiación electromagnética en el rango 15 Hz a 6 GHz se empleó: Equipo de medición banda ancha marca Tecnoservizi modelo Taoma TS/001/UB con número de serie s/n N011NA09-H83
- Sonda para medida de inducción magnética (B), rango de frecuencias 15Hz a 100KHz. Marca Tecnoservizi, modelo TS/002/BLF, número de serie s/n B-0143, calibrada con fecha05/10/2009, certificado de calibración númeroB-006-10-19 válido para 24 meses.
- Sonda para medida de campo eléctrico (E), rango de frecuencias 15Hz a 100KHz. Marca Tecnoservizi, modelo TS/003/ELF número de serie s/n E-0185 calibrada con fecha06/10/2009, certificado de calibración númeroE-005-10-09 válido para 24 meses.
- Sonda para medida de campo eléctrico (E), rango de frecuencias 100KHz a 6 GHz. Marca Tecnoservizi, modelo TS/004/EHF número de serie s/n C-0222 calibrada con fecha18/11/2009, certificado de calibración número C-104-11-09 válido para 24 meses.
- Interface - Box(TS/101/I-BOX) marca Tecnoservizi
- Interface - Box(TS/102/I-BOX) marca Tecnoservizi
- Accesorios de conexión (cable de fibra óptica), cargador de batería, lector de tarjetas SD, trípode no metálico de 1.8 M MODELO TS/201/TRP.

1.- Medidor de campo unidad base -Taoma:



UNIDAD BÁSICA TAOMA

Procesador:	Intel XScale PXA255 400MHz
Pantalla:	VGA color TFT 6.4", resolución 640x420 píxeles
Sistema Operativo:	MS™ Windows CE.Net 4.2
Teclado:	alfanumérico con funciones mediante teclas directas
Bola de ratón:	integrado
Protección:	IP-54
Fuente alimentación:	batería recargable o red eléctrica AC
Autonomía batería:	5 horas con la sonda TS/004/EHF (batería estándar), 12 horas con la sonda TS/004/EHF (batería heavy-duty)
Interfaces:	Puerto serie para la conexión de la sonda RS-232 eléctrico RS-232 óptico 3xUSB (2 clientes, 1 host) Ranura para tarjetas SD
Módulos:	GPS (integrado) GPRS (integrado/ <i>opcional</i>)
Medidas:	en tiempo real con representación simultánea de los valores numéricos (ISO, MAX, AVG, MEDIAN) y respuesta de amplitud Vs. tiempo (gráfica)
Funciones de medidas:	isotrópico o en eje individual
Filtros:	paso banda, selectivo y notch seleccionado por el usuario (ELF)
Análisis:	FFT (ELF) en modo instantáneo o medio
Análisis gráfico de la respuesta:	mediante cursores
Monitorización:	función de monitorización a largo tiempo
Inicio medidas:	Manual, automático, retrasado
Informes:	formato tabla y gráfica
Almacenamiento de datos:	en tarjeta SD (2GB, incluido)
Programa editor:	Wordpad
Conectividad:	Internet Explorer (con módulo GPRS habilitado)
Tamaño:	280 x 185 x 50 mm
Peso:	990 g (con batería estándar)
Temperatura de funcionamiento:	-10°C ÷ +50°C

2. - Sondas:



Cable de fibra

SONDA CAMPO-B (TS/002/BLF)

Rango de frecuencia	15 Hz - 100 kHz
Rango de medida	100 nT - 10 mT
Rango dinámico	100 dB
Límite de sobrecarga	20 mT
Error absoluto @ 50 Hz y 10 μ T	+/- 0,7 dB
Planitud de la respuesta en frecuencia 15 Hz	- 3 dB
Planitud de la respuesta en frecuencia 50 Hz - 10 kHz	+/- 0,5 dB
Planitud de la respuesta en frecuencia 10 kHz - 70 kHz	+/- 2 dB
Planitud de la respuesta en frecuencia 70 kHz - 100 kHz	+/- 2,5 dB
Respuesta isotrópica @ 50 Hz	+/- 0,5 dB
Linealidad entre 1 μ T y 400 μ T	+/- 0,5 dB
Rechazo campo eléctrico	> 20 dB
Capacidad de almacenamiento en la memoria de la sonda	> 16.000 muestras
Periodo mínimo de muestreo	2 s con SPAN 5 kHz, 1 s con SPAN 10 kHz o 100 kHz
Rango de temperatura	0 / + 50 °C
Rango de humedad (sin condensación)	5 - 90% @ < 25 °C
Tamaño	Longitud total 320 mm Diámetro cabeza 60 mm Diámetro tubo 30 mm
Peso	190 g

SONDA CAMPO-E (TS/003/ELF)

Rango de frecuencia	15 Hz - 100 kHz
Rango de medida	10 V/m - 100 kV/m
Rango dinámico	> 80 dB
Límite de sobrecarga	200 kV/m
Error absoluto @ 50 V/m y 100 V/m	+/- 0,5 dB
Planitud de la respuesta en frecuencia 15 Hz	- 6 dB
Planitud de la respuesta en frecuencia 50 Hz - 10 kHz	+/- 0,5 dB
Planitud de la respuesta en frecuencia 10 kHz - 70 kHz	+/- 2 dB
Planitud de la respuesta en frecuencia 70 kHz - 100 kHz	+/- 1 dB
Linealidad entre 20 V/m y 10.000 V/m	+/- 0,5 dB
Rechazo campo magnético	> 20 dB
Capacidad de almacenamiento en la memoria de la sonda	> 16.000 muestras
Periodo mínimo de muestreo	2 s con SPAN 5 kHz, 1 s con SPAN 10 kHz o 100 kHz
Rango de temperatura	0 - 50 °C
Rango de humedad (sin condensación)	5 - 90% @ < 25 °C
Tamaño	Longitud total 320 mm Diámetro cabeza 60 mm Diámetro tubo 30 mm
Peso	190 g

E-FIELD PROBE (TS/004/EHF)

Rango de frecuencia	100 kHz - 6 GHz
Rango de medida (CW)	0,2 V/m - 340 V/m
Rango dinámico	> 64 dB
Límite de sobrecarga	> 800 V/m
Error absoluto @ 100MHz y 100 V/m	+/- 0,5 dB
Planitud de la respuesta en frecuencia 1 MHz - 1GHz	+/- 0,5 dB
Planitud de la respuesta en frecuencia 1 - 2,5 GHz	+/- 1,2 dB
Planitud de la respuesta en frecuencia 2,5 - 6 GHz	+/- 2,5 dB
Respuesta isotrópica	+/- 0,4 dB
Linealidad entre 2 V/m y 200 V/m	+/- 0,5dB
Rechazo campo magnético	> 20 dB
Capacidad de almacenamiento en la memoria de la sonda	> 16.000 muestras
Periodo mínimo de muestreo	1s
Rango de temperatura	0 / + 50 °C
Rango de humedad (sin condensación)	5 - 90% @ < 25 °C
Tamaño	Longitud total 320 mm Diámetro cabeza 60 mm Diámetro tubo 30 mm
Peso	190 g

3. - Interface BOX: TS/101/I-BOX y TS/102/I-BOX



INTEFACE – I-BOX (TS/101/IBOX)

Batería:..... interna, recargable
Estado de carga de la batería: por LEDS
Interface: óptica con funcionalidad LEDS
Gestor de operaciones: internamente por μ P
Accesorios:..... cable fibra óptica (longitud 5 m,
incluido)
Rosca para trípode

MODULO GPS (integrado)

Modelo:..... NAVMAN SirRF Star II
Rastreador:..... Simultaneo 12 ch. L1 1575.42 MHz
Adquisición en caliente:..... < 8 segundos
Adquisición en tibio:..... < 38 segundos
Adquisición en frío:..... < 45 segundos

8.3. Mapas exteriores de RNI

ARMILLA

- S_{RMS} ($\mu W/m^2$)
- S_{max} ($\mu W/m^2$)
- S_{min} ($\mu W/m^2$)



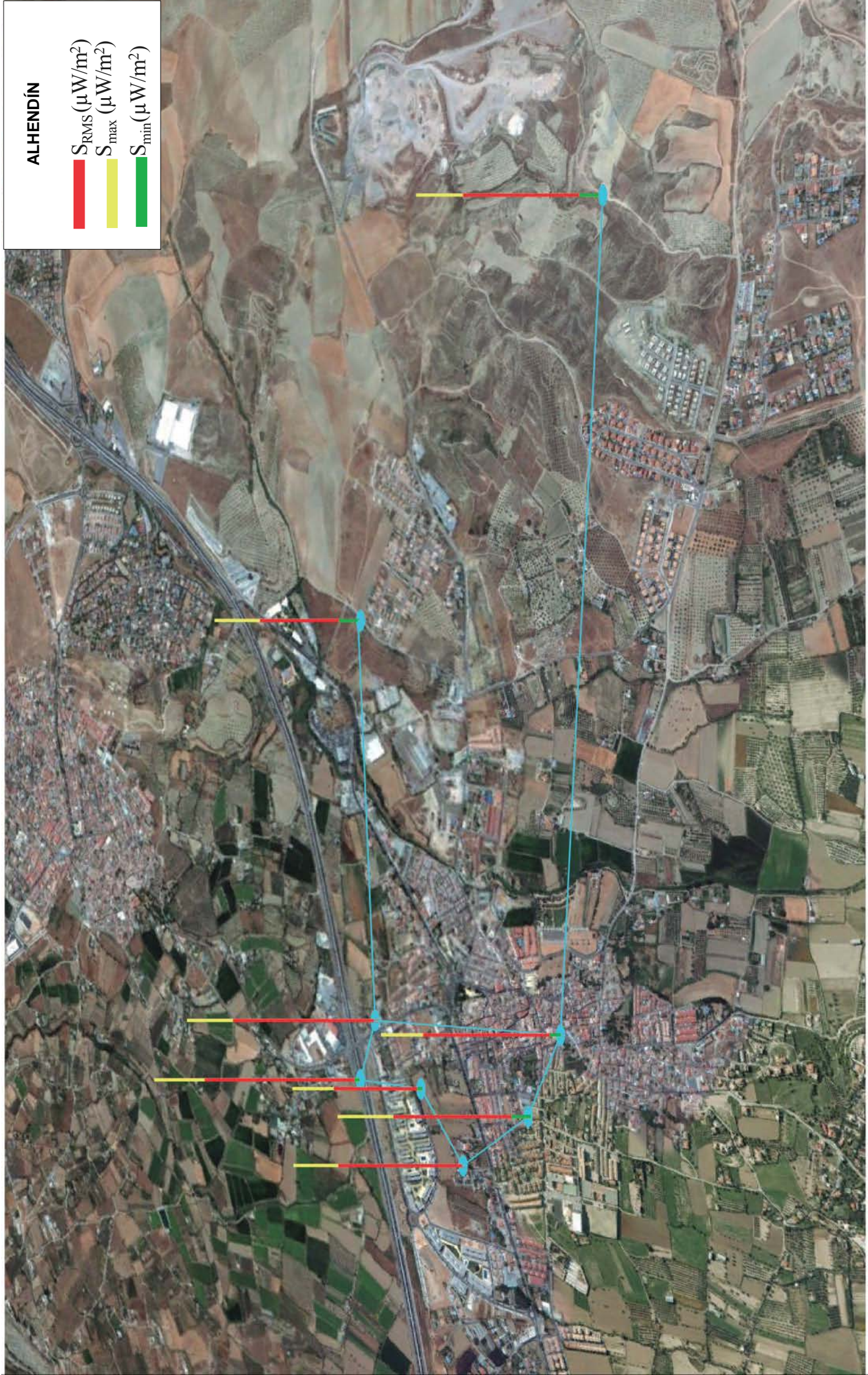
CHURRIANA DE LA VEGA

- S_{RMS} ($\mu W/m^2$)
- S_{max} ($\mu W/m^2$)
- S_{min} ($\mu W/m^2$)



ALHENDÍN

- S_{RMS} ($\mu W/m^2$)
- S_{max} ($\mu W/m^2$)
- S_{min} ($\mu W/m^2$)



CÚLLAR VEGA

S_{RMS} ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)

S_{max} ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)

S_{min} ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)



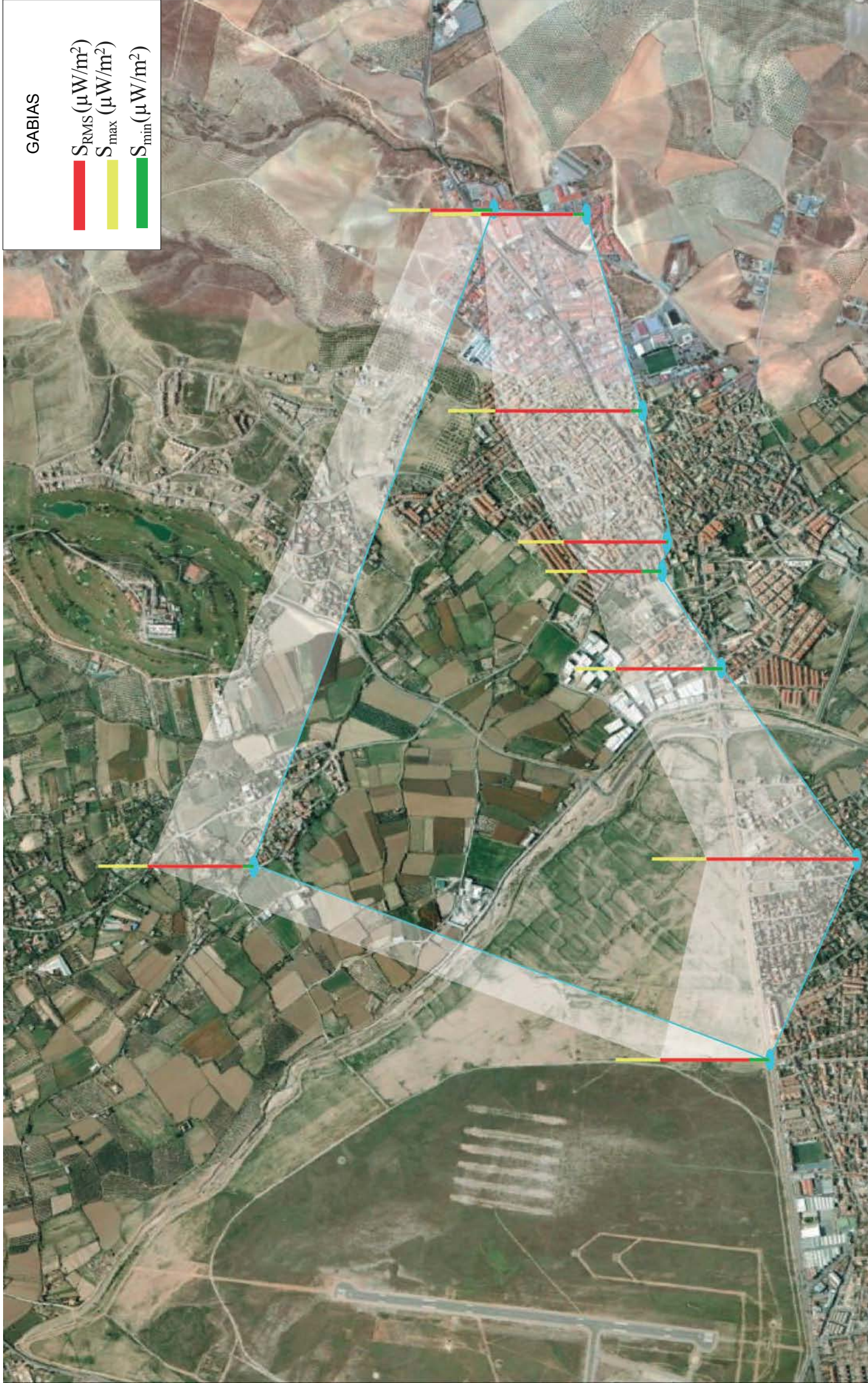
HÍJAR

- S_{RMS} ($\mu W/m^2$)
- S_{max} ($\mu W/m^2$)
- S_{min} ($\mu W/m^2$)



GABIAS

- S_{RMS} ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)
- S_{max} ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)
- S_{min} ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)



PURCHIL

- S_{RMS} ($\mu W/m^2$)
- S_{max} ($\mu W/m^2$)
- S_{min} ($\mu W/m^2$)



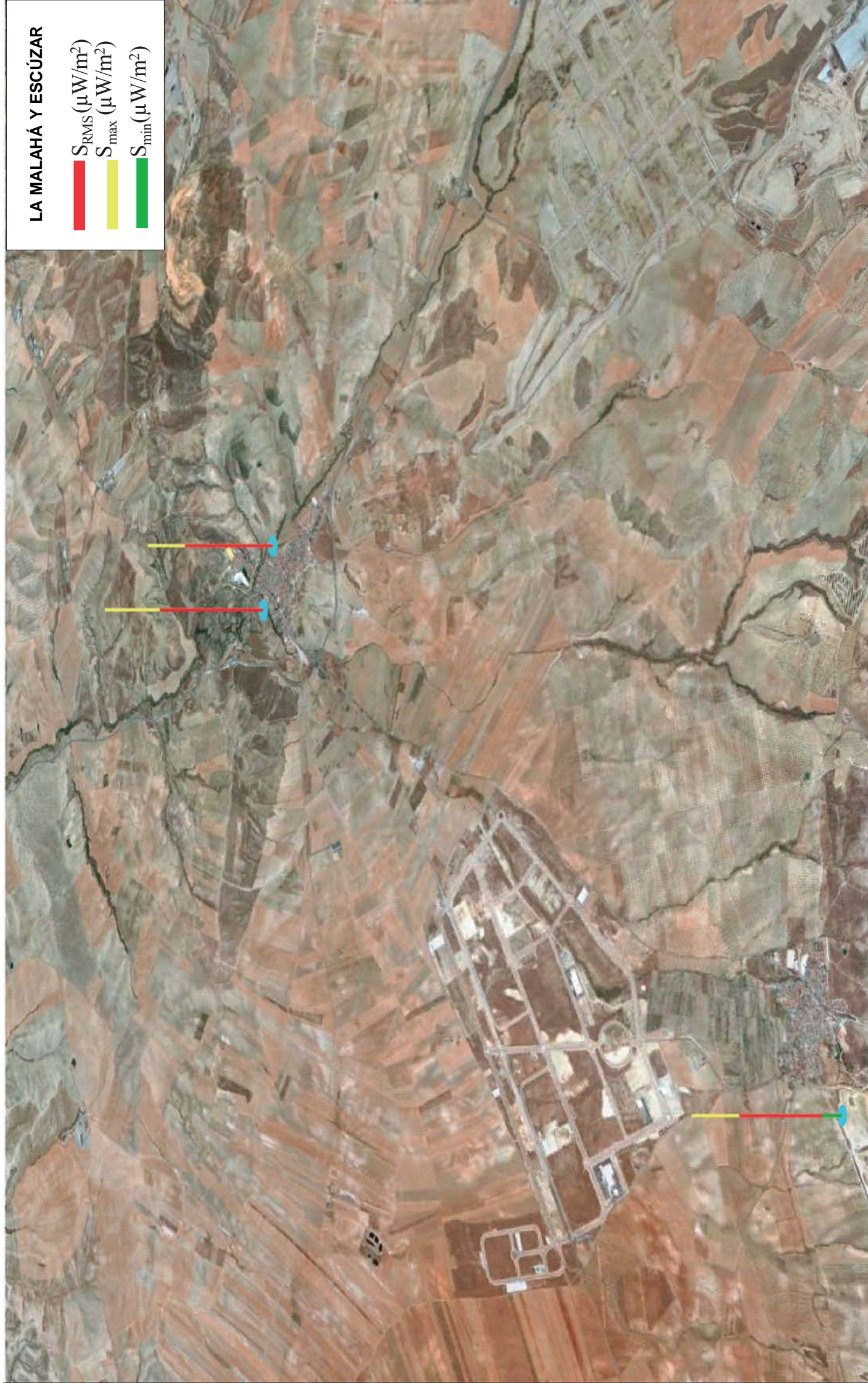
OTURA

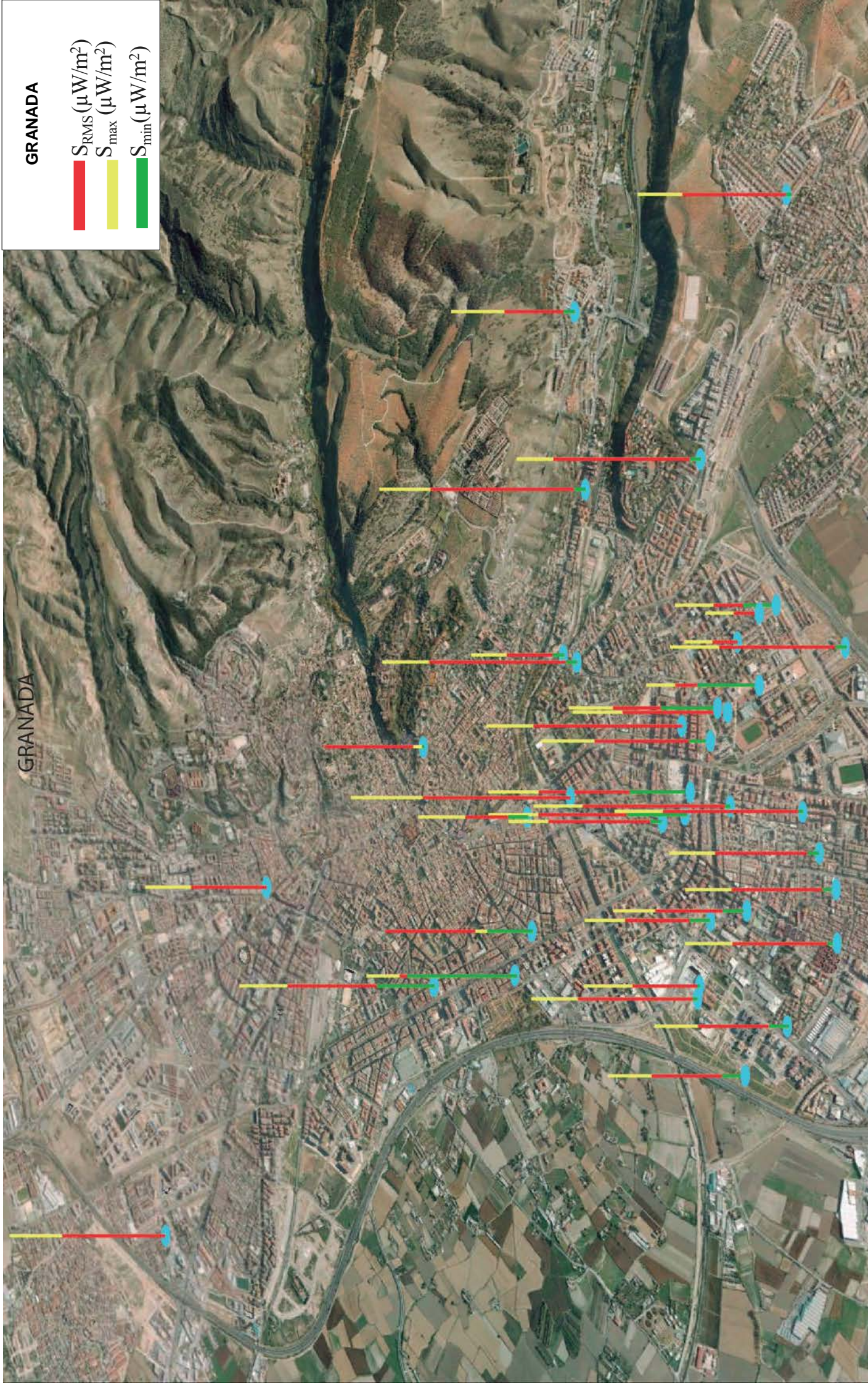
-  S_{RMS} ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)
-  S_{max} ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)
-  S_{min} ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)



LA MALAHÁ Y ESCÚZAR

- S_{RMS} ($\mu W/m^2$)
- S_{max} ($\mu W/m^2$)
- S_{min} ($\mu W/m^2$)





GRANADA

- S_{RMS} ($\mu W/m^2$)
- S_{max} ($\mu W/m^2$)
- S_{min} ($\mu W/m^2$)



HÚETOR TÁJAR

- S_{RMS} ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)
- S_{max} ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)
- S_{min} ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)





LOJA

- S_{RMS} ($\mu W/m^2$)
- S_{max} ($\mu W/m^2$)
- S_{min} ($\mu W/m^2$)

LANCHA DEL GENIL Y
CENES DE LA VEGA

- S_{RMS} ($\mu W/m^2$)
- S_{max} ($\mu W/m^2$)
- S_{min} ($\mu W/m^2$)



