



Organización Mundial de la Salud

Agenda de Investigación para Campos Estáticos 2006 de la OMS

Introducción

En 1997, el proyecto Internacional CEM de la OMS desarrolló una Agenda de Investigación para facilitar y coordinar la investigación a nivel mundial sobre los posibles efectos adversos a la salud proveniente de los campos electromagnéticos (CEM). En los años subsiguientes, esta agenda ha experimentado una revisión periódica y refinamiento.

En diciembre del año 2004, la OMS realizó una evaluación de riesgo a la salud de los **campos estáticos eléctricos y magnéticos**, que fue publicada como una monografía de los Criterios de Salud Ambiental de la OMS¹. Uno de los objetivos de la revisión fue identificar vacíos en el conocimiento acerca de los posibles efectos en la salud provenientes de la exposición a campos estáticos. El Grupo de Tarea que llevó a cabo la revisión concluyó lo siguiente.

- Para campos eléctricos estáticos, parece haber poco beneficio en continuar la investigación sobre los efectos en la salud. Ninguno de los estudios realizados a la fecha sugieren algún efecto en la salud, excepto por el posible estrés resultante de la exposición repetida a microshocks. Por lo tanto, no existen recomendaciones de mayor investigación concerniente a los efectos biológicos provenientes de la exposición a campos electrostáticos. Además, existe sólo oportunidad limitada de exposiciones significativas a estos campos en el lugar de trabajo o en el ambiente doméstico y esto por consiguiente no garantiza cualquier estudio epidemiológico.
- Para campos magnéticos estáticos, la investigación realizada a la fecha no ha sido sistemática y con frecuencia ha sido llevada a cabo sin metodología apropiada e información de la exposición. Se recomiendan programas de investigación coordinada como ayuda a más enfoques sistemáticos. Existe la necesidad de investigar la importancia de los parámetros físicos tales como la intensidad de campo, la duración de la exposición y la pendiente del campo sobre el resultado biológico. A continuación se dan las recomendaciones de investigación de esta revisión.

¹ Organización Mundial de la Salud (2006) Campos estáticos. Criterios de Salud Ambiental 232. Ginebra: Organización Mundial de la Salud (ver: www.who.int/emf)

Se incentiva a los investigadores utilizar esta Agenda de Investigación como una guía para estudios que tienen alto valor para las evaluaciones de riesgo a la salud. Para maximizar la efectividad de los programas de investigación, las agencias de financiamiento del gobierno y la industria son motivadas a abordar la Agenda de Investigación de la OMS en forma coordinada. Tal coordinación minimizará la duplicación de esfuerzo innecesaria y asegurará la más oportuna culminación de estos estudios identificados como altamente prioritarios para la evaluación de riesgo a la salud.

La Agenda de Investigación define como investigación de “alta prioridad” aquella cuyos resultados contribuirían significativamente a futuras evaluaciones de riesgo a la salud proveniente de la exposición a campos estáticos. El documento esta ordenado en secciones sucesivas según el peso de cada actividad de investigación realizada en la evaluación de riesgo a la salud de seres humanos: epidemiología, estudios de laboratorios en seres humanos, animales, sistemas celulares, y mecanismos. Se debería reconocer que, mientras los estudios epidemiológicos y de laboratorio en seres humanos abordan directamente los criterios de valoración relacionados a la salud humana, estudios celulares y en animales son de valor para evaluar la causalidad y plausibilidad biológica. La dosimetría es considerada separadamente, pero es importante para toda la investigación.

A cada actividad de investigación se le da una prioridad como sigue:

- **Necesidades de investigación de alta prioridad:** Estudios para llenar vacíos importantes en el conocimiento enfocados en la evaluación de riesgo a la salud son necesarios para reducir significativamente la incertidumbre en la información científica actual.
- **Otras necesidades de investigación:** Estudios para asistir mejor el entendimiento de los impactos de la exposición a campos estáticos sobre la salud y que contribuirían con información útil a la evaluación de riesgo a la salud.

Epidemiología

Los estudios epidemiológicos son de importancia fundamental en la evaluación del riesgo a la salud. Cuando se planifican estudios epidemiológicos, los investigadores deberían considerar la coordinación y colaboración internacional para maximizar la potencia estadística para estimar riesgos pequeños y para evaluar el rol de los patrones de exposición en diferentes países. Se debería prestar particular atención al uso de estimaciones adecuadas de la exposición provenientes de todas las fuentes relevantes.

Necesidades de investigación de alta prioridad:

- **Estudio de caso control anidado de enfermedades crónicas en grupos ocupacionales altamente expuestos.**

Justificación: Existe un número de categorías de trabajadores con exposiciones elevadas a campos magnéticos estáticos, incluyendo los técnicos MRI (resonancia magnética), trabajadores en plantas de fundición de aluminio y ciertos trabajadores de transporte (aquellos en metros, trenes de levitación

magnética (MagLev), trenes de cercanías, y trenes eléctricos urbanos). Para enfermedades crónicas raras, tales como cánceres específicos, son necesarios estudios de factibilidad para identificar los grupos ocupacionales altamente expuestos que podrían ser considerados para estudios epidemiológicos. Los estudios de factibilidad también necesitan determinar que otras exposiciones están presentes en estas ocupaciones. Si cantidades suficientes de trabajadores pueden ser identificados, entonces un enfoque de caso control anidado es probablemente lo más apropiado, ya que necesita obtenerse información detallada acerca de la exposición y las variables importantes de confusión, tales como gases tóxicos. Estudios de colaboración internacional probablemente serán necesarios para obtener cantidades suficientes de personas expuestas.

- **Estudio cohorte de efectos de corto plazo en grupos ocupacionales altamente expuestos**

Justificación: Para otros resultados de salud más comunes con periodos de latencia más cortos, grupos ocupacionales específicos altamente expuestos (por ejemplo, trabajadores en industrias en las cuales son fabricados sistemas MRI) pueden ser identificados y seguidos a través del tiempo. La información acerca de los diferentes resultados de salud podría ya estar disponible proveniente de los exámenes de salud rutinariamente realizados a estos trabajadores, pero esta información solamente puede ser utilizada si información similar esta disponible para un grupo comparable no expuesto. Una encuesta de salud de cirujanos, enfermeras y otros trabajadores que usan MRI (Imaginología por Resonancia Magnética) intervencional proporcionaría información útil sobre los niveles, duraciones y frecuencia de las exposiciones de trabajadores a campos estáticos en estos sistemas.

Similarmente, pueden existir registros de los pacientes en algunos hospitales de los que podría ser posible obtener datos sobre las personas que fueron expuestas, pero cuya condición posteriormente se encontró ser benigna.

- **Estudio prospectivo de resultados de embarazo en relación a la exposición ocupacional y los exámenes MRI.**

Justificación: Se necesita un estudio prospectivo de riesgos asociados con la exposición a los campos magnéticos estáticos por causa del aumento del número de embarazos entre las trabajadoras (exposición crónica), así como de estudios de seguimiento de los resultados de mujeres embarazadas que experimentan exámenes de MRI (exposición aguda).

- **Desarrollo de dosímetros para obtener estimaciones confiables de la exposición a campos estáticos en estudios epidemiológicos**

Justificación: La experiencia con otras frecuencias ha mostrado que obtener estimaciones confiables de la exposición a campos electromagnéticos para el uso en estudios epidemiológicos puede ser muy difícil, y las mediciones sucedáneas de la exposición, tales como los títulos de trabajo o la distancia a una fuente en particular, no siempre pueden proporcionar evaluaciones suficientemente exactas. Por lo tanto se requiere el uso de instrumentos específicos para medir la exposición. Dosímetros personales relativamente pequeños han demostrado ser

muy útiles en la investigación sobre los campos de ELF. Los dosímetros personales por consiguiente mejorarían mucho la evaluación de la exposición en los estudios epidemiológicos. Debería realizarse la validación numérica y experimental de los dosímetros. La intensidad de campo magnético, los gradientes de campo magnético, las duraciones de exposición e idealmente, la tasa de cambio del campo magnético debido al movimiento deberían ser registrados.

Estudios en seres humanos voluntarios

Los estudios de laboratorio en seres humanos permiten estudiar los efectos de los campos estáticos sobre los seres humanos con control de los parámetros experimentales pero están confinados a investigaciones de efectos agudos transitorios.

Necesidades de investigación de alta prioridad:

- **Estudios sobre la función vestibular, y la coordinación cabeza y ojos en un gradiente de campo**

Justificación: Con una amplia utilización de los estudios MRI donde el equipo de trabajo están en una proximidad cercana a pacientes dentro de un magneto, tal como en los procedimientos intervencionales de MRI, y consecuentemente están expuestos a campos magnéticos estáticos relativamente altos, son necesarios estudios adicionales de coordinación cabeza y ojo, rendimiento cognitivo y comportamiento en un campo magnético estático. Mayor investigación de los mecanismos e intensidad de la disfunción vestibular inducida por el campo incluyendo el vértigo es considerado de especial interés por causa del aumento de la probabilidad que el equipo médico estaría realizando tareas complicadas por periodos de tiempo extensos dentro de un campo magnético.

Otras necesidades de investigación:

- **Efectos cognitivos y del comportamiento de los campos magnéticos estáticos**

Justificación: Los efectos cognitivos y del comportamiento debido a la exposición a campos magnéticos estáticos deberían ser investigados más. Sin embargo, los datos disponibles no sugieren riesgos particulares a aspectos específicos de cognición ni sugieren cuales son los parámetros que deberían ser probados en el laboratorio. En la ausencia de una dirección clara, un posible enfoque sería investigar los efectos de la exposición sobre el rendimiento en una batería de tareas cognitivas que comprenden las pruebas estándares de atención, tiempo de reacción y memoria, solo para actuar como un tamiz inicial quedando pendiente un trabajo más enfocado. El trabajo inicial podría ser realizado con voluntarios como parte de estudios experimentales.

- **Función cardiaca en el ambiente clínico de rutina**

Justificación: Estudios adicionales sobre la función cardiaca serían útiles y podrían investigar los efectos sobre el sistema cardiovascular. Estos estudios

también deberían ser realizados para valores mayores a 3 T para evaluar los riesgos potenciales por encima de aquellos en el ambiente clínico de rutina.

Estudios en animales

Los estudios en animales son utilizados cuando no es ético o impracticable realizar estudios en seres humanos y tienen la ventaja que las condiciones experimentales pueden ser rigurosamente controladas, aún para exposiciones crónicas.

Necesidades de investigación de alta prioridad:

- **Estudios de largo plazo (incluyendo el tiempo de vida) concentrándose en los efectos relacionados al cáncer utilizando animales normales y genéticamente modificados.**

Justificación: Los efectos de la exposición de largo plazo a campos magnéticos estáticos pueden ser abordados utilizando modelos de animales. En la ausencia de la información específica con respecto al potencial carcinogénico de los campos magnéticos estáticos, se recomienda estudios de largo plazo (incluyendo el tiempo de vida). Por ejemplo, si una amplificación de radicales libres fuera considerada una posible ruta a través de la cual el riesgo de cáncer podría ser incrementado, un modelo de ratón con supresión del gen superóxido dismutasa podría ser utilizado. La susceptibilidad a tumores y otras enfermedades relacionadas a los radicales libres se incrementa mucho en este modelo. El uso de técnicas de micro-arreglos permite que los efectos de muchos parámetros diferentes de exposición sean fácilmente evaluados y cuantificados en el genoma y el proteoma.

- **Efectos del desarrollo y comportamiento neuronal**

Justificación: La posibilidad de un aumento en el riesgo de anomalías en el desarrollo y efectos teratológicos necesitan ser abordados de forma sistemática. El cerebro en desarrollo puede ser particularmente susceptible a los efectos de corrientes inducidas por movimiento ya que los efectos de orientación son muy importantes para guiar el crecimiento normal de las dendritas neuronales. También es posible que cambios de larga duración podrían ser inducidos por exposiciones relativamente cortas. El estudio de los parámetros del comportamiento neuronal pueden proporcionar un ensayo rápido y sensible para explorar los efectos de la exposición sobre la función del cerebro en desarrollo, y tales estudios son recomendados. También son de valor los estudios para hacer el seguimiento a los cambios morfológicos suaves que ocurren durante el desarrollo de las regiones específicas del cerebro, tales como la corteza o el hipocampo. Debería ser considerado el uso de modelos transgénicos apropiados

Otras necesidades de investigación:

- **Efectos sobre la función cardiaca bajo campos de muy alta intensidad (10-20 T)**

Justificación: Aunque existen datos indicando que la exposición de animales (y seres humanos) a campos de alrededor de 2 T no causa efectos electrofisiológicos, sería útil conocer los efectos de campos más altos. Por lo tanto, los efectos de exposición a campos de intensidad alta (10-20 T) podrían ser útilmente explorados en animales.

- **Estudio en animales para cubrir diferentes criterios de valoración**

Justificación: Una variedad de otros criterios de valoración han sido investigados en animales que han provisto solamente información limitada. Mientras que una serie de estudios individuales para cada uno de estos criterios de valoración que podrían no ser de costo-efectivos, un estudio amplio de animales para cubrir los diferentes criterios de valoración podrían ser valiosos.

Estudios celulares y mecanismos

Los estudios en los tejidos, células vivas y sistemas de células libres juegan un rol de apoyo en las evaluaciones de riesgo a la salud. Los campos magnéticos estáticos pueden interactuar con los sistemas biológicos en un número de formas, aunque el más probable medio de causar efectos a la salud son vía los efectos de campo inducido sobre las moléculas cargadas y las alteraciones en la tasa de las reacciones bioquímicas.

Necesidades de investigación de alta prioridad:

- **Mutagenicidad y transformación en células humanas primarias**

Justificación: Los reportes de un efecto co-mutagénico en varias células son de particular interés concerniente al potencial carcinogénico de los campos magnéticos estáticos. Este tipo de estudio debería ser realizado utilizando células humanas primarias y extendidas para incluir transformaciones y sistemas genéticamente modificados.

Otras necesidades de investigación:

- **Mecanismos de interacción en las reacciones par-radical y la actividad enzimática**

Justificación: Se necesitan mayores estudios sobre los posibles mecanismos y blancos de los efectos biológicos de campos magnéticos estáticos. Se recomienda investigar los efectos de campos magnéticos estáticos de 0.01 -10 T sobre la interacción de iones (ej. Ca^{2+} ó Mg^{2+}) con enzimas y formación de par-radical. Aunque es considerado difícil hacerlo, hay un mérito en la búsqueda de más reacciones enzimáticas que proceden a través de los mecanismos de par-

radical en los sistemas de modelo que son relevantes para la salud de los seres humanos. Otra sugerencia es concentrarse sobre las especies de radicales tóxicos, tales como el superóxido, que son conocidos por ser dañinos y por ser producidos por mecanismos de radical libre.

- **Expresión del gen en células de seres humanos primarias**

Justificación: Los campos magnéticos estáticos podrían afectar la expresión del gen y las funciones relevantes en las células humanas y de mamíferos bajo condiciones específicas de exposición, pero existe solamente poca información disponible al respecto. Estudios con técnicas tales como las proteómicas y genómicas deberían ser realizados con las células humanas primarias para buscar posibles marcadores moleculares para efectos de los campos magnéticos estáticos relevantes a los tejidos de la salud de los seres humanos.

Dosimetría

El apoyo dosimétrico experto para los estudios experimentales de todos los tipos es crítico para su apropiado diseño e interpretación. La dosimetría computacional proporciona el vínculo entre un campo magnético estático externo y los campos eléctricos internos y corrientes inducidas causadas por el movimiento de los tejidos vivos en el campo. Tales técnicas teóricas permiten a los campos ser caracterizados en órganos y tejidos específicos.

Necesidades de investigación de alta prioridad:

- **Desarrollo de un fantoma de cabeza y hombros de una resolución muy fina**
- *Justificación:* Un fantoma de cabeza y hombros de una resolución muy fina debería ser desarrollado y utilizado para investigar los campos eléctricos y corrientes asociadas con los fosfenos visuales y el vértigo. Este modelo podría también ser utilizado para investigar los campos y corrientes generadas por los movimientos de la cabeza y el ojo en un campo magnético estático. La última es considerada de particular relevancia para procedimientos de MRI intervencional donde los reducidos movimientos de la cabeza de los cirujanos y otros del equipo clínico podrían necesitar el aumento del movimiento de los ojos. El movimiento de cuerpo completo por parte del equipo alrededor del sistema intervencional también debería ser simulado.
- **Un modelo detallado de la corriente inducida en el corazón**

Justificación: Son considerados importantes los cálculos que utilizan un modelo detallado del corazón y el modelamiento de patologías cardíacas comunes. Este modelo debería incluir la micro-arquitectura del corazón así como de los vasos

sanguíneos más pequeños dentro del corazón que podrían producir campos y corrientes que pueden tener alguna influencia sobre la generación del ritmo del marca pasos y la propagación de la despolarización. Además, son necesarios cálculos para estimar la magnitud y distribución espacial de las corrientes que son inducidas en el corazón como una consecuencia de la exposición al campo y al gradiente del campo. Deberían ser estudiadas múltiples orientaciones al campo. Deberían permitir la comparación con las corrientes que han sido calculadas para inducir los efectos cardiacos. Se recomiendan estudios de apoyo de tipo experimental y de laboratorio.

- **Estudios dosimétricos en el feto bajo MRI de campo alto**

Justificación: Aunque existe desinterés en el uso de MRI de campo alto sobre mujeres embarazadas en el presente, se reconoce que esta situación podría cambiar. Por consiguiente, sería recomendable realizar estudios de modelamiento que investiguen las corrientes inducidas en un feto por movimiento maternal o movimiento fetal intrínscico en un campo alto. Estos cálculos (y estudios similares con campos y gradientes de radiofrecuencia) permitirían hacer un estimado de la probabilidad de los posibles efectos sobre el feto.

Otras necesidades de investigación:

- **Estudios dosimétricos con fantasmas voxel masculinos/femeninos/embarazadas**

Justificación: Existen cuatro fantasmas voxel de resolución fina disponibles, anatómicamente realísticos de varones adultos, y han sido ampliamente utilizados en estudios con campos electromagnéticos variables en el tiempo. Sin embargo, se ha realizado muy poco trabajo con campos estáticos, y se considera necesario realizar trabajo adicional utilizando estos modelos. En particular, el uso de fantasmas de diferentes tamaños, y el uso de fantasmas femeninos, es considerado importante, como es el caso de fantasmas embarazadas con fetos de diferentes edades. Estudios similares podrían ser realizados con fantasmas de animales preñadas para ayudar a la interpretación de los resultados de los estudios en desarrollo con estos modelos.