

Actualizado al 24 de abril de 2022

Literatura sobre los efectos neurológicos de la radiación de radiofrecuencia (2007-2022)

De un total de 335 estudios:

E = 244 (73%)

EN = 92 (27%)

(E = efecto reportado NE = no se reportó ningún efecto significativo)

A continuación se presenta una clave de abreviaturas utilizadas en la siguiente lista de resúmenes de artículos publicados desde 2007 y que sirven como comentarios para ayudar a los lectores a identificar el significado de cada artículo.

Clave: **HU**- estudio en humanos; **AS**- estudio en animales; **CS**- estudio de células; **LI**- baja intensidad/torre de telefonía móvil; **CE**- exposición crónica/repetida; **BE**- efecto conductual; **DE**- efecto de desarrollo; **CC**- efectos celulares; **CH**- cambios químicos; **ME**- efecto morfológico; **PE**- efecto fisiológico; **EE**- efecto electrofisiológico; **OX**- cambios oxidativos; **AD**- efecto dependiente de la edad; **SL**- efecto sobre el sueño; **MA**- posible aplicación médica; **WS**- efecto específico de la forma de onda; **IA**- interacción con otros factores.

E=291 (74%); NE=100 (26%) (E= artículos que informaron efectos; NE= artículos que no informaron efectos significativos)

(E) Abdel-Rassoul G, El-Fateh OA, Salem MA, Michael A, Farahat F, El-Batanouny M, Salem E.

Efectos neuroconductuales entre habitantes del entorno de estaciones base de telefonía móvil.

Neurotoxicología. 28(2):434-440, 2007. (HU, CE, BE, LI, SL)

ANTECEDENTES: Existe una preocupación general sobre los posibles efectos nocivos para la salud de la exposición a las radiaciones electromagnéticas de radiofrecuencia (RFR) emitidas por las antenas de las estaciones base de telefonía móvil en el sistema nervioso humano. OBJETIVO: Identificar los posibles déficits neuroconductuales entre los habitantes que viven cerca de las estaciones base de telefonía móvil. MÉTODOS: Se realizó un estudio transversal en (85) habitantes que viven cerca de la primera antena de la estación de telefonía móvil en la gobernación de Menoufiya, Egipto. 37 viven en un edificio debajo de la antena de la estación mientras que 48 frente a la estación. Un grupo de control (80) participantes fueron emparejados con los expuestos por edad, sexo, ocupación y nivel educativo. Todos los participantes completaron un cuestionario estructurado que contenía: historias personales, educativas y médicas; exámenes generales y neurológicos; batería de pruebas neuroconductuales (NBTB) [que incluye pruebas de velocidad visomotora, resolución de problemas, atención y memoria]; además del cuestionario de personalidad de Eysenck (EPQ). RESULTADOS: La prevalencia de quejas neuropsiquiátricas como dolor de cabeza (23,5%), alteraciones de la memoria (28,2%), mareos (18,8%), temblores (9,4%), síntomas depresivos (21,7%) y alteraciones del sueño (23,5%) fueron significativamente mayores entre los habitantes expuestos que en los controles: (10%), (5%), (5%), (0%).

(8,8%) y (10%), respectivamente ($P < 0,05$). El NBTB indicó que los habitantes expuestos exhibieron un desempeño significativamente menor que los controles en una de las pruebas de atención y memoria auditiva a corto plazo [Prueba de adición serial auditiva a ritmo (PASAT)]. Además, los habitantes frente a la estación exhibieron un desempeño menor en la prueba de resolución de problemas (diseño de bloques) que los de debajo de la estación. Todos los habitantes exhibieron un mejor desempeño en las dos pruebas de velocidad visomotora (Símbolo de dígitos y Trailmaking B) y una prueba de atención (Trailmaking A) que los controles. Las últimas medidas disponibles de RFR emitidas desde las primeras antenas de la estación base de telefonía móvil en la gobernación de Menoufiya fueron inferiores al nivel estándar permitido. **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:** Los habitantes que viven cerca de las estaciones base de telefonía móvil corren el riesgo de desarrollar problemas neuropsiquiátricos y algunos cambios en el desempeño de las funciones neuroconductuales, ya sea por facilitación o inhibición. Por lo tanto, se recomienda revisar las directrices estándar para la exposición pública a RFR desde antenas de estaciones base de telefonía móvil y utilizar NBTB para la evaluación regular y la detección temprana de efectos biológicos entre los habitantes alrededor de las estaciones.

(E) Aboul Ezz HS, Khadrawy YA, Ahmed NA, Radwan NM, El Bakry MM. El efecto de la radiación electromagnética pulsada de los teléfonos móviles sobre los niveles de neurotransmisores monoamínicos en cuatro áreas diferentes del cerebro de ratas. Eur Rev Med Pharmacol Sci. 17(13):1782-1788, 2013. (AS, CE, CH)

ANTECEDENTES: El uso de teléfonos móviles está aumentando rápidamente en todo el mundo. Pocos estudios abordan el efecto de la radiación electromagnética (REM) sobre los neurotransmisores monoamínicos en las diferentes áreas cerebrales de ratas adultas. **OBJETIVO:** El objetivo del presente estudio fue investigar el efecto de la REM sobre las concentraciones de dopamina (DA), noradrenalina (NE) y serotonina (5-HT) en el hipocampo, hipotálamo, mesencéfalo y bulbo raquídeo de ratas adultas. **MATERIALES Y MÉTODOS:** Se expusieron ratas adultas diariamente a EMR (frecuencia 1800 MHz, tasa de absorción específica 0,843 W/kg, densidad de potencia 0,02 mW/cm², modulada a 217 Hz) y se sacrificaron después de 1, 2 y 4 meses de exposición diaria a EMR, así como después de suspender la EMR durante 1 mes (después de 4 meses de exposición diaria a EMR). Las monoaminas se determinaron mediante cromatografía líquida de alto rendimiento acoplada a detección de fluorescencia (HPLC-FD) utilizando sus propiedades nativas. **RESULTADOS:** La exposición a EMR resultó en cambios significativos en DA, NE y 5-HT en las cuatro áreas seleccionadas del cerebro de ratas adultas. **CONCLUSIONES:** La exposición de ratas adultas a EMR puede causar alteraciones en los neurotransmisores monoamínicos y esto puede ser la base de muchos de los efectos adversos informados después de EMR, incluyendo memoria, aprendizaje y estrés.

*(E) Abramson MJ, Benke GP, Dimitriadis C, Inyang IO, Sim MR, Wolfe RS, Croft RJ. Móvil El uso del teléfono se asocia con cambios en la función cognitiva en adolescentes jóvenes. Bioelectromagnetismo. 30(8):678-686, 2009. (HU, BE) (*Los efectos observados probablemente no sean causados por la exposición a RFR).

Como parte del estudio de usuarios expuestos a teléfonos móviles por radiofrecuencia (MoRPhEUS), un estudio epidemiológico transversal examinó la función cognitiva en estudiantes de secundaria. Reclutamos a 317 estudiantes de séptimo grado (144 niños, 173 niñas, edad media de 13 años) de 20 escuelas.

En Melbourne, Australia, los participantes completaron un cuestionario de exposición basado en el estudio Interphone, una batería de pruebas cognitivas computarizadas y la prueba de colores y palabras de Stroop. La principal métrica de exposición fue el número total de llamadas de voz de teléfono móvil reportadas por semana.

Se ajustaron modelos de regresión lineal a los tiempos de respuesta y precisiones de las pruebas cognitivas. Se ajustaron la edad, el género, la etnia, el nivel socioeconómico y la lateralidad como covariables y se ajustaron los errores estándar para la agrupación por escuela. La precisión de la memoria de trabajo fue peor, el tiempo de reacción para una tarea de aprendizaje simple más corto, el tiempo de respuesta de aprendizaje asociativo más corto y la precisión peor en los niños que informaron más llamadas de voz por teléfono móvil. No hubo relaciones significativas entre la exposición y la detección de señales, el seguimiento o la estimación del movimiento. El tiempo de finalización de las tareas de denominación de palabras de Stroop fue mayor para los que informaron más llamadas de voz por teléfono móvil. Los hallazgos fueron similares para el total de mensajes de servicio de mensajes cortos (SMS, también conocido como texto) por semana, lo que sugiere que estos cambios cognitivos eran poco probables debido a la exposición a la radiofrecuencia (RF). En general, el uso del teléfono móvil se asoció con una respuesta más rápida y menos precisa a tareas cognitivas de nivel superior. Estos comportamientos pueden haberse aprendido a través del uso frecuente de un teléfono móvil.

(NE) Ahlers MT, Ammermüller J. No hay influencia de la exposición aguda a RF (GSM-900, GSM-1800 y UMTS) en las respuestas de las células ganglionares de la retina del ratón en condiciones de temperatura constante.

Bioelectromagnetismo. 21 de septiembre de 2013. doi: 10.1002/bem.21811. [Publicación electrónica antes de la impresión] (CS, CC)

Se estudiaron in vitro los posibles efectos no térmicos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) sobre las células ganglionares de la retina en condiciones de temperatura constante. Se expusieron retinas de ratón aisladas a RF-EMF de GSM-900, GSM-1800 y sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS) aplicando tasas de absorción específica (SAR) de 0 (simulado), 0,02, 0,2, 2 y 20 W/kg.

La temperatura se mantuvo constante entre $\pm 0,5$ y 1 °C para GSM-900 y $\pm 0,5$ °C para GSM-1800 y UMTS. Se registraron las respuestas de las células ganglionares de la retina a estímulos luminosos de tres intensidades (0,5, 16 y 445 lx) antes, durante y hasta 35 minutos después de la exposición. Los experimentos se realizaron en condiciones de doble ciego. Se determinaron los cambios en las respuestas a la luz durante y después de la exposición para cada condición (RF-EMF; valor SAR; intensidad de la luz) con respecto a las respuestas antes de la exposición, respectivamente. Los cambios se calcularon utilizando la distancia euclidiana de los vectores de respuesta n-dimensionales, respectivamente. Algunos cambios ya se produjeron durante la exposición simulada (0 W/kg), lo que refleja la variabilidad intrínseca en las respuestas de las células ganglionares de la retina.

La comparación de los valores de distancia de la exposición simulada con los de la exposición real no arrojó diferencias significativas. Además, el análisis de regresión lineal de los valores de distancia frente a los valores de SAR no arrojó una dependencia consistente de los cambios en la respuesta a la luz. A partir de estos resultados, concluimos que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia en tres frecuencias de telefonía móvil (GSM-900, GSM-1800, UMTS) y SAR de hasta 20 W/kg no tiene efectos agudos en las respuestas de las células ganglionares de la retina en condiciones de temperatura constante.

(NE) Aït-Aïssa S, de Gannes FP, Taxile M, Billaudel B, Hurtier A, Haro E, Ruffié G, Athané A, Veyret B, Lagroye I. Expresión in situ de proteínas de choque térmico y 3-nitrotirosina en cerebros de ratas jóvenes expuestas a una señal WiFi en el útero y en etapas tempranas de la vida. Radiat Res. 10 de mayo de 2013.

[Epub antes de impresión] (AS, CE, CH, DE, OX)

Se investigaron los efectos biológicos de la exposición a señales inalámbricas de alta fidelidad (WiFi) en los sistemas nerviosos en desarrollo de roedores jóvenes mediante la evaluación de los niveles de expresión in vivo e in situ de tres marcadores de estrés: 3-Nitrotirosina (3-NT), un marcador de estrés oxidativo y dos proteínas de choque térmico (Hsp25 y Hsp70). Estos biomarcadores se midieron en los cerebros de ratas jóvenes expuestas a una señal WiFi de 2450 MHz mediante inmunohistoquímica. Las ratas preñadas fueron expuestas por primera vez o simularon estar expuestas a WiFi desde el día 6 hasta el día 21 de gestación. Además, tres recién nacidos por camada fueron expuestos nuevamente hasta las 5 semanas de edad. Se realizaron exposiciones diarias de 2 horas a ciegas en una cámara de reverberación y los niveles de tasa de absorción específica de cuerpo entero fueron 0, 0,08, 0,4 y 4 W/kg. Se analizó la expresión de 3-NT y de proteínas de estrés en diferentes áreas del hipocampo y la corteza. No se observaron diferencias significativas entre los grupos expuestos y los expuestos simuladamente. Estos resultados sugieren que la exposición repetida a WiFi durante la gestación y los primeros años de vida no tiene efectos nocivos en los cerebros de ratas jóvenes.

(E) Akakin D, Tok OE, Anil D, Akakin A, Sirvanci S, Sener G, Ercan F.

Las ondas electromagnéticas de los teléfonos móviles podrían afectar el cerebro de ratas durante el desarrollo. Turk Neurosurg 2021;31(3):412-421.(AS, CE, DE, OX, CC)

Objetivo: Investigar los efectos de las ondas electromagnéticas (EMW) de los teléfonos móviles (MP) en los cerebros de ratas mediante análisis morfológico y bioquímico. Material y métodos: Se aplicaron EMW durante dos horas/día hasta el nacimiento en los grupos fetales en espera y fetales EMW y 60 días después del nacimiento en los grupos en espera y EMW. El grupo de control no estuvo expuesto a MP. El día 60 después del nacimiento, se midieron los niveles de malondialdehído (MDA) y glutatión (GSH) cerebrales, y se realizó un análisis de transferencia Western para determinar el contenido de proteína ácida fibrilar glial (GFAP). Se aplicaron tinción de hematoxilina y eosina e inmunohistoquímica de GFAP. Se examinaron los nervios trigéminos utilizando el microscopio electrónico de transmisión. Resultados: En comparación con los controles, las ratas expuestas a MP en modo de espera o conversación tuvieron un daño neuronal significativamente mayor en la corteza y el hipocampo. Se encontraron mayores niveles de MDA en el grupo EMW y menores niveles de GSH en los grupos de espera, EMW fetal y EMW en comparación con los controles. Se observó un mayor contenido de GFAP en el grupo EMW y un aumento de la tinción de GFAP en los grupos EMW fetal y EMW en comparación con los controles. El grupo EMW tuvo una cantidad significativamente menor de axones mielinizados que los animales de control. Conclusión: Los resultados de este estudio sugieren que la exposición a EMW de 1800 MHz (SAR=1,79 W/kg) en la vida prenatal y postnatal temprana puede provocar daño al nervio trigémino además de degeneración neuronal inducida por estrés oxidativo y activación astrogliar en el cerebro de la rata. Los efectos parecen estar relacionados con el modo, siendo más perjudiciales en los grupos expuestos a MP durante el modo de conversación.

(E) Akbari A, Jelodar G, Nazifi S. La vitamina C protege el cerebelo y el encéfalo de ratas del estrés oxidativo tras la exposición a ondas de radiofrecuencia generadas por un modelo de antena BTS. Toxicol Mech Methods. 24(5):347-352, 2014. (AS, CE, CH, OX, IA)

Se ha informado que las ondas de radiofrecuencia (RFW) generadas por una estación transceptora base producen efectos nocivos en la función del sistema nervioso central, posiblemente a través del estrés oxidativo. Este estudio se realizó para evaluar el efecto del estrés oxidativo inducido por RFW en el

cerebelo y encéfalo y el efecto profiláctico de la vitamina C en estos tejidos midiendo la actividad de las enzimas antioxidantes, incluyendo: glutatión peroxidasa, superóxido dismutasa, catalasa y malondialdehído (MDA). Treinta y dos ratas Sprague-Dawley macho adultas se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos iguales. El grupo de control; el grupo de control con vitamina C recibió ácido L-ascórbico (200 mg/kg de peso corporal/día por sonda) durante 45 días. El grupo RFW fue expuesto a RFW y el grupo RFW + vitamina C fue expuesto a RFW y recibió vitamina C. Al final del experimento, todos los grupos fueron sacrificados y el encéfalo y el cerebelo de todas las ratas se retiraron y almacenaron a -70 °C para la medición de la actividad de las enzimas antioxidantes y MDA. Los resultados indican que la exposición a RFW en el grupo de prueba disminuyó la actividad de las enzimas antioxidantes y aumentó MDA en comparación con los grupos de control ($p < 0,05$). El papel protector de la vitamina C en el grupo tratado mejoró la actividad de las enzimas antioxidantes y redujo la MDA en comparación con el grupo de prueba ($p < 0,05$). Se puede concluir que el RFW causa estrés oxidativo en el cerebro y la vitamina C mejora la actividad de las enzimas antioxidantes y reduce la MDA.

(E) Aldad TS, Gan G, Gao XB, Taylor HS. Exposición fetal a la radiación de radiofrecuencia de 800 a 1000 Los teléfonos celulares de 1900 MHz afectan el desarrollo neurológico y el comportamiento en ratones. Sci Rep. 2:312, 2012. (AS, CS, DE, BE, CE, CC)

Los trastornos neuroconductuales son cada vez más frecuentes en los niños, pero su etiología no se entiende bien. Se ha postulado una asociación entre el uso prenatal de teléfonos celulares y la hiperactividad en los niños, pero los efectos directos de la exposición a la radiación de radiofrecuencia en el desarrollo neurológico siguen siendo desconocidos. Aquí utilizamos un modelo de ratón para demostrar que la exposición intrauterina a la radiofrecuencia de los teléfonos celulares afecta el comportamiento adulto. Los ratones expuestos intrauterinos eran hiperactivos y tenían memoria deteriorada, según se determinó mediante los ensayos de reconocimiento de objetos, caja clara/oscura y reducción gradual. Los registros de pinzamiento de parche de célula completa de corrientes postsinápticas excitatorias en miniatura (mEPSC) revelaron que estos cambios de comportamiento se debían a una programación de desarrollo neuronal alterada. Los ratones expuestos tenían una transmisión sináptica glutamatérgica alterada en función de la dosis en las neuronas piramidales de la capa V de la corteza prefrontal. Presentamos la primera evidencia experimental de neuropatología debido a la radiación intrauterina de teléfonos celulares. Se necesitan más experimentos en humanos o primates no humanos para determinar el riesgo de exposición durante el embarazo.

(NE) Altuntas G, Sadoglu D, Ardic S, Yilmaz H, Imamoglu M, Turedi S. Efectos agudos de las ondas electromagnéticas emitidas por los teléfonos móviles en la atención de los médicos de urgencias. Soy J Emerg Med. 36:455-460, 2018. (HU, BE)

OBJETIVO DEL ESTUDIO: El propósito de este estudio fue investigar los efectos agudos de las ondas electromagnéticas (EMW) emitidas por los teléfonos móviles en la atención de los médicos de urgencias. MÉTODOS: Este estudio clínico prospectivo, aleatorizado, doble ciego, de un solo centro se realizó entre médicos de urgencias de un hospital terciario. Treinta médicos de urgencias fueron

Se inscribieron en el estudio. Se aplicó la prueba d2 inicial para evaluar la atención y la concentración de todos los médicos, que fueron asignados aleatoriamente a uno de dos grupos. Los miembros del grupo de control sostuvieron los teléfonos móviles en modo "apagado" junto a su oído izquierdo durante 15 minutos. Los miembros del grupo de intervención sostuvieron los teléfonos móviles en modo "encendido" junto a su oído izquierdo durante 15 minutos, exponiéndolos así a una onda electromagnética de 900-1800 MHz. La prueba d2 se volvió a aplicar a ambos grupos después de este procedimiento. Se compararon las diferencias en los niveles de atención y concentración entre los grupos. RESULTADOS: Las diferencias entre el test d2 inicial y final en el rendimiento total (TN-E, $p=0,319$), en el número total de figuras marcadas (TN, $p=0,177$), en el percentil de rendimiento del test (PR, $p=0,619$) y en la fluctuación de la atención (FR, $p=0,083$) fueron similares entre los grupos. Sin embargo, la diferencia en el número de figuras omitidas (E1 atención selectiva, $p=0,025$), la diferencia entre el número de figuras marcadas incorrectamente (E2, $p=0,018$) y la diferencia en los niveles de atención (E, $p=0,016$) fueron significativamente a favor del grupo de intervención. CONCLUSIÓN: Según los hallazgos de nuestro estudio, la MME emitida por los teléfonos móviles no tiene un efecto perjudicial sobre los niveles de atención y concentración de los médicos de urgencias, e incluso tiene un impacto positivo en los niveles de atención selectiva.

(E) Ammari M, Brillaud E, Gamez C, Lecomte A, Sakly M, Abdelmelek H, de Seze R. Efecto de la exposición crónica a la frecuencia GSM de 900 MHz sobre la glía en el cerebro de ratas. *Biomed Pharmacother.* 62(4):273-281, 2008a. (AS, CE, CC)

La extensión de la tecnología de telefonía móvil plantea inquietudes sobre los efectos de las microondas de 900 MHz en la salud del sistema nervioso central (SNC). En este estudio medimos la expresión de GFAP mediante el método de inmunocitoquímica, para evaluar la evolución glial 10 días después de una exposición crónica (5 días a la semana durante 24 semanas) a la señal GSM durante 45 min/día a una tasa de absorción específica (SAR) promedio en el cerebro = 1,5 W/kg y durante 15 min/día a una SAR = 6 W/kg en las siguientes áreas del cerebro de ratas: corteza prefrontal (Pfcx), putamen caudado (Cpu), globo pálido lateral del estriado (LGP), giro dentado del hipocampo (DG) y corteza del cerebelo (CCx). En comparación con los animales de control simulados o en jaula, las ratas expuestas a la señal GSM crónica a 6 W/kg tienen áreas de superficie teñidas con GFAP aumentadas en el cerebro ($p < 0,05$). Sin embargo, la exposición crónica a GSM a 1,5 W/kg no aumentó la expresión de GFAP. Nuestros resultados indicaron que la exposición crónica a microondas GSM de 900 MHz (SAR=6 W/kg) puede inducir una activación persistente de la astrogliosis en el cerebro de la rata (signo de una posible gliosis).

(E) Ammari M, Lecomte A, Sakly M, Abdelmelek H, de-Seze R. La exposición a campos electromagnéticos GSM de 900 MHz afecta la actividad de la citocromo c oxidasa cerebral. *Toxicología.* 250(1):70-74, 2008b. (ES, CE, CH)

El uso mundial y de rápido crecimiento de los teléfonos móviles ha suscitado serias preocupaciones sobre los efectos biológicos y relacionados con la salud de la radiación de radiofrecuencia (RF), en particular preocupaciones sobre los efectos de las RF sobre el sistema nervioso. El objetivo de este estudio fue medir los niveles de citocromo oxidasa (CO) utilizando métodos histoquímicos para evaluar la actividad metabólica cerebral regional en el cerebro de ratas después de la exposición a una señal GSM de 900 MHz durante 45 min/día a una tasa de absorción específica (SAR) promedio cerebral de 1,5 W/Kg o durante 15 min/día a una SAR de 6 W/Kg durante siete días. En comparación con los grupos de jaulas simuladas y de control, las ratas expuestas a una señal GSM a 6 W/Kg mostraron una actividad de CO reducida en algunas áreas de la región prefrontal y

corteza frontal (corteza infralímbica, corteza prelímbica, corteza motora primaria, corteza motora secundaria, áreas 1 y 2 de la corteza cingulada anterior (Cg1 y Cg2)), el septo (partes dorsal y ventral del núcleo septal lateral), el hipocampo (campo dorsal CA1, CA2 y CA3 del hipocampo y giro dentario) y la corteza posterior (corteza agranular retrosplenial, corteza visual primaria y secundaria, corteza peririnal y corteza entorinal lateral). Sin embargo, la exposición a GSM a 1,5 W/Kg no afectó a la actividad cerebral. Nuestros resultados indican que las microondas GSM de 900 MHz a 6 W/Kg pueden afectar el metabolismo cerebral y la actividad neuronal en ratas.

(NE) Ammari M, Jacquet A, Lecomte A, Sakly M, Abdelmelek H, de Seze R. Efecto de la exposición subcrónica y crónica de la cabeza a campos electromagnéticos GSM de 900 MHz sobre la memoria espacial en ratas. *Brain Inj.* 22(13-14):1021-1029, 2008c. (AS, CE, BE)

OBJETIVO PRINCIPAL: Este estudio se llevó a cabo para investigar los efectos conductuales de la exposición subcrónica y crónica de solo la cabeza a la banda GSM de 900 MHz (Sistema Global para Móviles). comunicaciones) en ratas macho. MÉTODOS: Las ratas fueron expuestas durante 45 minutos por día, a una tasa de absorción específica promedio cerebral (SAR) = 1,5 W Kg(-1) o 15 minutos por día a una SAR = 6 W Kg(-1), durante 8 o 24 semanas. Luego, se probó su memoria espacial utilizando el laberinto de brazos radiales. En la primera fase (10 días), las ratas fueron entrenadas para visitar los ocho brazos del laberinto sin regresar a un brazo ya visitado. En la segunda fase (8 días), se introdujo un retraso intraensayo de 45 minutos después de cuatro brazos visitados. RESULTADOS: El rendimiento de las ratas expuestas (1,5 o 6 W Kg(-1)) se comparó con el de ratas de control positivo, negativo y simulado. El tratamiento con escopolamina en las ratas de control positivo indujo un déficit en la tarea de memoria espacial en la segunda fase de la prueba. Sin embargo, la tarea de memoria espacial no se vio afectada en las ratas expuestas. CONCLUSIÓN: La exposición subcrónica y crónica de ratas solo en la cabeza a la señal GSM de 900 MHz (45 minutos, SAR = 1,5 o 15 minutos, SAR = 6 W Kg(-1)) no indujo un déficit de memoria espacial en el brazo radial. laberinto.

(E) Ammari M, Gamez C, Lecomte A, Sakly M, Abdelmelek H, De Seze R. Expresión de GFAP en el cerebro de ratas tras exposición subcrónica a una señal de campo electromagnético de 900 MHz. *Int J Radiat Biol.* 86(5):367-375, 2010. (AS, CE, CC)

OBJETIVO: El rápido desarrollo y expansión de las comunicaciones móviles contribuye al debate general sobre los efectos de los campos electromagnéticos emitidos por los teléfonos móviles en el sistema nervioso. Este estudio tiene como objetivo medir la expresión de la proteína ácida fibrilar glial (GFAP) en 48 cerebros de ratas para evaluar la astrocitosis reactiva, tres y 10 días después de la exposición subcrónica a largo plazo de solo la cabeza a una señal de campo electromagnético (CEM) de 900 MHz, en ratas macho. MÉTODOS: Las ratas Sprague-Dawley fueron expuestas durante 45 min/día a una tasa de absorción específica (SAR) promedio cerebral (SAR) = 1,5 W/kg o 15 min/día a una SAR = 6 W/kg durante cinco días a la semana durante un período de ocho semanas. La expresión de GFAP se midió por el método de inmunocitoquímica en las siguientes áreas cerebrales de ratas: corteza prefrontal, corteza cerebelosa, giro dentado del hipocampo, globo pálido lateral del cuerpo estriado y el putamen caudado. RESULTADOS: En comparación con las ratas tratadas con placebo, las expuestas a la señal GSM (Sistema Global para comunicaciones móviles) subcrónica a 1,5 o 6 W/kg mostraron un aumento en los niveles de GFAP en las diferentes áreas cerebrales, tres y diez días después del tratamiento. CONCLUSIÓN: Nuestros resultados muestran que la expresión de GFAP subcrónica se observó en las siguientes áreas cerebrales: corteza prefrontal, corteza cerebelosa, giro dentado del hipocampo, globo pálido lateral del cuerpo estriado y putamen caudado.

La exposición crónica a una señal EMF de 900 MHz durante dos meses podría afectar negativamente al cerebro de ratas (signo de una posible gliosis).

(E) Arendash GW, Sanchez-Ramos J, Mori T, Mamcarz M, Lin X, Runfeldt M, Wang L, Zhang G, Sava V, Tan J, Cao C. El tratamiento con campos electromagnéticos protege contra el deterioro cognitivo y lo revierte en ratones con enfermedad de Alzheimer. *J Alzheimers Dis.* 19(1):191-210, 2010. (AS, CE, CH, BE, MA)

A pesar de los numerosos estudios realizados, no hay pruebas definitivas de que la exposición a campos electromagnéticos (CEM) de alta frecuencia suponga un riesgo para la salud humana. Por el contrario, este informe presenta la primera evidencia de que la exposición prolongada a CEM asociada directamente con el uso de teléfonos móviles (918 MHz; 0,25 w/kg) proporciona beneficios cognitivos. Se descubrieron efectos tanto de protección cognitiva como de mejora cognitiva de la exposición a CEM tanto en ratones normales como en ratones transgénicos destinados a desarrollar un deterioro cognitivo similar al del Alzheimer. La tarea de interferencia cognitiva utilizada en este estudio se diseñó a partir de una tarea de interferencia cognitiva humana y se midió de forma análoga. En ratones con enfermedad de Alzheimer, la exposición prolongada a CEM redujo la deposición de beta amiloide (Abeta) cerebral a través de acciones antiagregantes de Abeta y aumentó la temperatura cerebral durante los períodos de exposición. Se proponen varios mecanismos interrelacionados de acción de los CEM, entre ellos, una mayor eliminación de Abeta de los cerebros de ratones con enfermedad de Alzheimer, un aumento de la actividad neuronal y un aumento del flujo sanguíneo cerebral. Aunque se debe tener precaución al extrapolar estos estudios con ratones a los humanos, concluimos que la exposición a EMF puede representar una terapia no invasiva y no farmacológica contra la enfermedad de Alzheimer y un enfoque eficaz para mejorar la memoria en general.

(E) Arendash GW, Mori T, Dorsey M, Gonzalez R, Tajiri N, Borlongan C. El tratamiento electromagnético en ratones ancianos con Alzheimer revierte la deposición de β -amiloide, modifica el flujo sanguíneo cerebral y proporciona un beneficio cognitivo seleccionado. *PLoS One.* 7(4):e35751, 2012. (AS, CE, CH, BE, MA)

Pocos estudios han investigado los efectos fisiológicos y cognitivos de la exposición a campos electromagnéticos (CEM) "a largo plazo" en humanos o animales. Nuestros estudios recientes han proporcionado una perspectiva inicial sobre el impacto a largo plazo de la exposición a CEM en la edad adulta (GSM, pulsado/modulado, 918 MHz, 0,25-1,05 W/kg) al mostrar que 6+ meses de tratamiento diario con EMF protege contra o revierte el deterioro cognitivo en ratones transgénicos (Tg) con Alzheimer, mientras que incluso tiene un beneficio cognitivo para los ratones normales. Mecanísticamente, los beneficios cognitivos inducidos por EMF implican la supresión de la agregación/deposición de β -amiloide ($A\beta$) cerebral en ratones Tg y la mejora mitocondrial cerebral tanto en ratones Tg como normales. El presente estudio extiende este trabajo al mostrar que el tratamiento diario con EMF administrado a ratones Tg muy viejos (21-27 meses) durante un período de 2 meses revierte su agregación/deposición muy avanzada de $A\beta$ en el cerebro. Estos ratones Tg muy viejos y sus compañeros de camada normales juntos mostraron un aumento en la función de memoria general en la tarea del laberinto en Y, aunque no en tareas más complejas. La medición de la temperatura corporal y cerebral a intervalos durante el tratamiento con EMF de 2 meses, así como en un grupo separado de ratones Tg durante un período de tratamiento de 12 días, no reveló aumentos apreciables en la temperatura cerebral (y ningún aumento o aumentos leves en la temperatura corporal) durante los períodos de "activación" de EMF. Por lo tanto, los beneficios neuropatológicos/cognitivos del tratamiento con EMF ocurren

sin hipertermia cerebral. Finalmente, se determinó que el flujo sanguíneo cerebral regional en la corteza cerebral se redujo tanto en ratones Tg como normales después de 2 meses de tratamiento con EMF, muy probablemente a través de la constricción cerebrovascular inducida por A β liberado/desagregado (ratones Tg) y una ligera hipertermia corporal durante los períodos "ON". Estos resultados demuestran que el tratamiento con EMF a largo plazo puede proporcionar un beneficio cognitivo general a ratones Tg y ratones normales con Alzheimer muy viejos, así como la reversión de la neuropatología A β avanzada en ratones Tg sin calentamiento cerebral. Los resultados subrayan aún más el potencial del tratamiento con EMF contra la EA.

Arendash GW. Revisión de la evidencia de que el tratamiento electromagnético transcraneal será una terapia segura y eficaz contra la enfermedad de Alzheimer. [J Alzheimers Dis.](#) 53(3):753-771, 2016. (Reseña)

Hemos demostrado en múltiples estudios que el tratamiento diario y a largo plazo con campos electromagnéticos (CEM) en el rango de frecuencias ultraaltas no solo protege a los ratones transgénicos con enfermedad de Alzheimer (EA) del deterioro cognitivo, sino que también revierte dicho deterioro en ratones con EA envejecidos. Además, estos efectos cognitivos beneficiosos parecen producirse mediante acciones directas sobre el proceso de EA. Basándonos en una gran variedad de datos preclínicos, hemos iniciado un ensayo clínico piloto para determinar la seguridad y eficacia del tratamiento con CEM en sujetos con EA leve a moderada. Dado que es importante establecer la seguridad de este nuevo enfoque neuromodulador, el objetivo principal de esta revisión es proporcionar una evaluación integral de la evidencia que respalda la seguridad de los CEM, en particular a través del tratamiento electromagnético transcraneal (TEMT). Además de nuestros propios estudios preclínicos, una rica variedad de estudios tanto en animales como en cultivos celulares realizados por otros han subrayado la seguridad prevista del TEMT en ensayos clínicos de EA. Además, numerosos estudios clínicos han determinado que la exposición humana a corto o largo plazo a campos electromagnéticos similares a los que se proporcionan clínicamente mediante TEMT no tiene efectos nocivos para la salud general, la función cognitiva o una variedad de medidas fisiológicas; por el contrario, se han reportado efectos beneficiosos para la función/actividad cerebral. Es importante destacar que no se ha demostrado que dicha exposición a campos electromagnéticos aumente el riesgo de ningún tipo de cáncer en estudios epidemiológicos humanos, así como en estudios animales y de cultivos celulares. En vista de todo lo anterior, los ensayos clínicos de seguridad/eficacia con TEMT en sujetos con enfermedad de Alzheimer están claramente justificados y ahora están en curso.

Arendash GW. Tratamiento electromagnético transcraneal contra la enfermedad de Alzheimer: por qué tiene el potencial de triunfar sobre el desarrollo de fármacos para la enfermedad de Alzheimer. [J Alzheimers Dis.](#) 32(2):243-266, 2012. (Revisión)

El fracaso universal de las intervenciones farmacológicas contra la enfermedad de Alzheimer (EA) parece deberse en gran medida a su incapacidad para penetrar en las neuronas y al hecho de que la mayoría tienen un único mecanismo de acción. Por consiguiente, ha surgido un enfoque neuromodulador no invasivo contra la EA: el tratamiento electromagnético transcraneal (TEMT). En ratones transgénicos para la EA, el TEMT a largo plazo previene y revierte tanto el deterioro cognitivo como la deposición de amiloide- β (A β) cerebral, mientras que el TEMT incluso mejora el rendimiento cognitivo en ratones normales. Se han identificado tres mecanismos de acción del TEMT que modifican la enfermedad e interrelacionados en el cerebro: 1) agregación anti-A β , tanto intraneuronal como extracelular; 2) mejora mitocondrial; y 3) aumento de la actividad neuronal. El TEMT a largo plazo parece seguro porque no afecta a la temperatura cerebral ni al estrés oxidativo.

niveles, ni induce cambios histológicos o anatómicos anormales en el cerebro o los tejidos periféricos. El desarrollo futuro de TEMT tanto en ratones con EA como en ratones normales debería incluir un tratamiento solo en la cabeza para descubrir el conjunto de parámetros más eficaz para lograr un beneficio cognitivo más rápido e incluso mayor. Dado el extenso trabajo animal ya realizado, el desarrollo translacional de TEMT podría ocurrir relativamente rápido para ensayos clínicos de EA de "prueba de concepto". Los mecanismos de acción de TEMT brindan un potencial terapéutico extraordinario contra otros trastornos/lesiones neurológicas, como la enfermedad de Parkinson, la lesión cerebral traumática y el accidente cerebrovascular.

(E) Arendash G, Cao C, Abulaban H, Baranowski R, Wisniewski G, Becerra L, Andel R, Lin X, Zhang X, Wittwer D, Moulton J, Arrington J, Smith AA Ensayo clínico de tratamiento electromagnético transcraneal en la enfermedad de Alzheimer: mejora cognitiva y cambios asociados en el líquido cefalorraquídeo, la sangre y las imágenes del cerebro. *J Alzheimers Dis* 2019;71(1):57-82. (HU, CE, BE, MA)

Antecedentes: Los pequeños agregados (oligómeros) de las proteínas tóxicas amiloide- β ($A\beta$) y fosfo-tau (p-tau) contribuyen de manera esencial a la enfermedad de Alzheimer (EA). En modelos de ratón para EA o en extractos de cerebro humano con EA, el tratamiento electromagnético transcraneal (TEMT) desagrega tanto los oligómeros de $A\beta$ como los de p-tau e induce una mejora mitocondrial cerebral. Estas aparentes acciones "modificadoras de la enfermedad" del TEMT previenen y revierten el deterioro de la memoria en ratones transgénicos para EA. Objetivo: Para evaluar la seguridad y la eficacia clínica inicial del TEMT contra la EA, se realizó un ensayo clínico integral abierto. Métodos: Ocho ratones con EA leve/moderada

Los pacientes recibieron tratamiento con TEMT en sus hogares por parte de sus cuidadores durante dos meses utilizando un dispositivo especial para la cabeza. El TEMT se administró durante dos períodos de una hora cada día y los sujetos fueron evaluados principalmente al inicio, al final del tratamiento y dos semanas después de finalizar el tratamiento. Resultados: No se produjeron efectos conductuales perjudiciales, malestar ni cambios fisiológicos como resultado de 2 meses de TEMT, así como tampoco evidencia de inducción de tumores o microhemorragias. TEMT indujo mejoras clínicamente importantes y estadísticamente significativas en ADAS-cog, así como en Rey AVLT. TEMT también produjo aumentos en los niveles de líquido cefalorraquídeo (LCR) de $A\beta$ 1-40 soluble y $A\beta$ 1-42, cambios relacionados con la cognición en el LCR $A\beta$ oligomérico, una disminución de la relación p-tau/ $A\beta$ 1-42 en LCR y niveles reducidos de $A\beta$ oligomérico en plasma. Las exploraciones cerebrales FDG-PET antes y después del tratamiento revelaron una utilización estable de la glucosa cerebral, y varios sujetos exhibieron una utilización mejorada de la glucosa. La evaluación de las exploraciones de imágenes del tensor de difusión (anisotropía fraccional) en sujetos individuales brindó respaldo a los aumentos inducidos por TEMT en la conectividad funcional dentro de la corteza cingulada/cíngulo, de importancia cognitiva.

Conclusión: La administración de TEMT a sujetos con EA parece ser segura, al tiempo que proporciona una mejora cognitiva, cambios en los marcadores de EA en LCR/sangre y evidencia de una conectividad cerebral estable/mejorada.

*(E) Arns M, Van Luitelaar G, Sumich A, Hamilton R, Gordon E. Medidas electroencefalográficas, de personalidad y de función ejecutiva asociadas con el uso frecuente de teléfonos móviles. *Int J Neurosci*. 117(9):1341-1360, 2007. (HU, BE) (*Los efectos observados probablemente no sean causados por la exposición a RFR).

El presente estudio emplea datos estandarizados adquiridos de la base de datos Brain Resource International para estudiar la relación entre el uso del teléfono móvil, la personalidad y la función cerebral (n = 300). En función de la frecuencia y la duración del uso del teléfono móvil, se seleccionaron tres grupos

Los resultados sugieren una sutil desaceleración de la actividad cerebral relacionada con el uso del teléfono móvil que no se explica por diferencias en la personalidad. Estos cambios aún se encuentran dentro de los rangos fisiológicos normales. Una mejor función ejecutiva en los usuarios de teléfonos móviles puede reflejar una atención más concentrada, posiblemente asociada con un efecto de entrenamiento cognitivo (es decir, hacer llamadas telefónicas con frecuencia en lugares que distraen), en lugar de un efecto directo del uso del teléfono móvil sobre la cognición.

(E) Azimzadeh M, Jelodar G. El efecto protector de la suplementación con vitaminas (E y E + C) en el aprendizaje y la memoria de evitación pasiva durante la exposición a ondas de radiofrecuencia de 900 MHz emitidas por estaciones base. *Toxicol Ind Health*. Febrero de 2020; 36(2):93-98. (AS, CE, BE, OX)

Los efectos nocivos de la exposición a la radiación electromagnética sobre la salud pública han sido ampliamente estudiados. Este estudio se realizó para evaluar el efecto protector de la suplementación con vitaminas (E o E + C) sobre el aprendizaje de evitación pasiva (PAL) y la memoria en ratas sometidas a ondas de radiofrecuencia (RFW) de 900 MHz. Treinta ratas Sprague-Dawley macho adultas (190 ± 20 g) se dividieron aleatoriamente en seis grupos como: control I (vehículo), control II (vitamina E 250 mg/kg), control III (vitamina E 100 mg/kg + ácido l-ascórbico 200 mg/kg), y tres grupos expuestos a RFW como: exposición simulada, tratamiento I (vitamina E) y tratamiento II (vitamina E + C). La duración de la exposición fue de 30 días continuos (4 h/día). El PAL se evaluó el último día mediante la caja lanzadera. El aprendizaje y la memoria de los animales se demostraron como la duración de permanecer dentro del área de luz, que se llama tiempo de luz (LT). El grupo expuesto simulado mostró una disminución significativa en LT en los días de aprendizaje, consolidación y retención en comparación con otros grupos ($p < 0,05$). El pretratamiento con vitaminas (E y E + C) podría proteger PAL contra los efectos adversos de RFW, y la administración de vitamina E + C mejoró el rendimiento PAL en el control III en comparación con los grupos de control I y tratamiento II ($p < 0,05$). La administración de vitamina E + C al grupo expuesto (tratamiento II) causó un aumento significativo en LT en las sesiones de aprendizaje ($p = 0,013$), consolidación y retención ($p = 0,009$) en comparación con el grupo de tratamiento I (vitamina E).

La exposición prolongada a RFW de 900 MHz dañó la PAL y la memoria, y el tratamiento previo con vitamina (E o E + C) previno estos efectos, lo que puede ser un nuevo mecanismo potencial contra los efectos secundarios de RFW.

(E) Azimzadeh M, Jelodar G. Homeostasis de oligoelementos en el cerebro expuesto a ondas de radiofrecuencia de 900 MHz emitidas desde un modelo de antena BTS y el papel protector de la vitamina E. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 12 de abril de 2020. doi: 10.1111/jpn.13360. [Publicado electrónicamente antes de su impresión] (AS, CE, CE, OX)

Los avances en telecomunicaciones y su amplio uso en la comunidad se han convertido en una gran preocupación desde el punto de vista de la salud. El objetivo del presente estudio fue examinar los efectos de la exposición a 900 MHz RFW en la concentración de hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn) en el cerebro, y el papel protector del pretratamiento con vitamina E en la homeostasis de los elementos mencionados. Veinte ratas Sprague-Dawley macho adultas (200 ± 20 g) se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos. Grupo de control (sin ninguna exposición, recibió agua destilada), grupo de control de tratamiento (recibió 250 mg/kg de peso corporal/día de vitamina E por vía oral), grupo de tratamiento (recibió 250 mg/kg de peso corporal/día de vitamina E y se expuso a 900 MHz RFW) y grupo de exposición simulada (expuesto a 900 MHz RFW). Los animales (que se movían libremente en la jaula) fueron expuestos a RFW durante 30 días consecutivos (4 horas/día). Los niveles de los elementos antes mencionados en el tejido cerebral se determinaron el último día mediante espectrofotometría de absorción atómica. La exposición a RFW de 900 MHz indujo una

Aumento significativo de los niveles de Fe, Cu, Mn y de la relación Cu/Zn acompañado de una disminución significativa del nivel de Zn en el grupo expuesto al placebo en comparación con el grupo de control. El pretratamiento con vitamina E mejoró el nivel de Fe, Cu, Mn y la relación Cu/Zn, excepto en la concentración de Zn.

La exposición a RFW de 900 MHz provocó una alteración de la homeostasis de oligoelementos en el tejido cerebral y la administración de vitamina E como agente antioxidante y neuroprotector mejoró la situación.

(E) Azimzadeh M, Jelodar G La exposición prenatal y posnatal temprana a ondas de radiofrecuencia (900 MHz) afecta negativamente el aprendizaje y la memoria de evitación pasiva. Toxicol Ind Health 2020 Dic;36(12):1024-1030.(AS, CE, BE, CC, DE)

El período prenatal y posnatal temprano son los períodos más sensibles y de alto riesgo para la exposición a campos electromagnéticos (CEM). Este estudio tuvo como objetivo investigar el efecto de la exposición prenatal y posnatal temprana a ondas de radiofrecuencia (RFW) de 900 MHz emitidas desde una antena de estación transceptora base sobre el aprendizaje y la memoria de evitación pasiva (PALM) y la histomorfología del hipocampo. Se aparearon ratas Sprague Dawley hembras (190-230 g) con machos. Las ratas apareadas, confirmadas mediante la observación de un tapón vaginal, se dividieron en dos grupos: control y expuestos.

El grupo de control (n = 7) no estuvo expuesto a RFW. El grupo expuesto se dividió en tres subgrupos (n = 8): expuestos durante el período gestacional (vida fetal) y expuestos y (exposición postnatal), expuestos a RFW durante los primeros 21 días de vida, durante 2 h/d y 4 h/d, respectivamente. La PALM se evaluó mediante una caja lanzadera en cachorros de 45 días de edad. El aprendizaje y la memoria de los animales se demostraron como la duración de permanecer dentro del área de luz, lo que se denomina tiempo de iluminación. Se prepararon secciones histológicas a partir de tejidos cerebrales y se tiñeron con hematoxilina y eosina. Se observó un deterioro en el rendimiento de PALM en todos los subgrupos expuestos (y) (p < 0,05). Los comportamientos de aprendizaje (memoria a corto plazo) y retención (memoria a largo plazo) se vieron más afectados en el subgrupo expuesto (exposición prenatal) en comparación con otros subgrupos expuestos postnatales (y). Además, se observó una leve disminución en la densidad de células piramidales en el hipocampo de los subgrupos expuestos (y). La exposición prenatal y postnatal temprana a RFW de 900 MHz afectó negativamente el rendimiento de PALM y el tejido del hipocampo en crías de rata, con mayor impacto en la exposición durante el período prenatal.

(E) Bak M, Dudarewicz A, Zmysłony M, Sliwinska-Kowalska M. Efectos de las señales GSM durante la exposición a potenciales relacionados con eventos (ERP). Int J Occup Med Environ Health. 23(2):191-199, 2010. (HU, EE)

OBJETIVOS: El objetivo principal de este trabajo fue evaluar el efecto del campo electromagnético (CEM) del sistema de telefonía móvil GSM sobre la función cerebral humana. La evaluación se basó en el ensayo de potenciales relacionados con eventos (PRE). MATERIAL Y MÉTODOS: El grupo de estudio estuvo formado por 15 voluntarios, incluidos 7 hombres y 8 mujeres. El protocolo de prueba comprendió la determinación de la onda P300 en cada voluntario durante la exposición al CEM. Para eliminar los posibles efectos del procedimiento de prueba aplicado sobre el resultado final, la prueba se repitió sin exposición al CEM. Se analizaron la latencia P300, la amplitud y la latencia de las ondas N1, N2 y P2.

RESULTADOS: El análisis estadístico reveló un efecto de los campos electromagnéticos en la amplitud de P300. En el experimento con exposición a campos electromagnéticos, se observaron amplitudes de P300 más bajas solo en el momento en que los voluntarios estuvieron expuestos a los campos electromagnéticos; cuando se interrumpió la exposición, los valores de la amplitud fueron los mismos que los observados antes de la aplicación de los campos electromagnéticos. No se observó tal cambio.

Se observó cuando se repitió el experimento con exposición simulada, lo que puede considerarse como una prueba indirecta de que los valores de amplitud P300 más bajos se debieron a la exposición a EMF. No se observaron cambios estadísticamente significativos en las latencias de las ondas N1, N2, P2 que preceden a la onda P300, ni en la latencia de la propia P300. CONCLUSIONES: Los resultados sugieren que la exposición a EMF GSM ejerce algunos efectos sobre el SNC, incluidos efectos sobre los ERP de latencia larga.

(E) Banaceur S, Banasr S, Sakly M, Abdelmelek H. Exposición de todo el cuerpo a señales de WIFI de 2,4 GHz: efectos sobre el deterioro cognitivo en modelos de ratones adultos triplemente transgénicos de enfermedad de Alzheimer (3xTg-AD). Behav Brain Res. 240:197-201, 2013. (AS, CE, BE, MA)

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos de la exposición prolongada a señales de radiofrecuencia (RF) de tipo WIFI (2,40 GHz), dos horas al día durante un mes a una Tasa de Absorción Específica (SAR) de 1,60 W/kg. Los efectos de la exposición a RF se estudiaron en ratones de tipo salvaje y ratones triple transgénicos (3xTg-AD) destinados a desarrollar deterioro cognitivo tipo Alzheimer. Los ratones se dividieron en cuatro grupos: dos grupos simulados (WT, TG; n=7) y dos grupos expuestos (WTS, TGS; n=7). La tarea de interferencia cognitiva utilizada en este estudio se diseñó a partir de una tarea de interferencia cognitiva humana análoga que incluía la prueba del sistema de actividad del campo Flex, la prueba de la caja de dos compartimentos y la prueba del laberinto de Barnes. Nuestros datos demuestran por primera vez que la radiofrecuencia mejora el comportamiento cognitivo de los ratones 3xTg-AD. Concluimos que la exposición a radiofrecuencia puede representar un enfoque eficaz para mejorar la memoria en la enfermedad de Alzheimer.

(E) Barcal J, Vozeh F. Efecto de la exposición de todo el cuerpo a un campo electromagnético de alta frecuencia sobre la actividad cortical e hipocampal del cerebro en un modelo experimental de ratón. NeuroQuantology 5:292-302, 2007. (AS, EE)

Se realizó una evaluación del registro directo de la actividad cortical e hipocampal cerebral durante la exposición a un campo electromagnético de alta frecuencia (HF-EMF). Los procedimientos experimentales se realizaron bajo anestesia general (uretano, 20%, 2 g/kg ip) en ratones mutantes Lurcher, se utilizaron ratones de tipo salvaje (hermanos de camada sanos) como controles. Los animales fueron expuestos al HF-EMF con una frecuencia correspondiente a los teléfonos celulares (900 MHz). Usamos electrodos de gel (tubos de silicona o microcapilares de vidrio llenos de agar) donde la conexión con los electrodos clásicos se localizó fuera del espacio HF-EMF. La evaluación ECoG mostró un cambio claro hacia componentes de frecuencia más baja, pero solo se observó un efecto claro en ratones de tipo salvaje (sanos), mientras que en los ratones mutantes Lurcher solo se encontraron diferencias leves entre los espectros de frecuencia.

La medición de la ritmicidad del hipocampo mostró cambios suaves con el aumento de frecuencias más altas (es decir, efecto opuesto al de la corteza) y cambios en las oscilaciones theta registradas en el giro dentado y el área CA1 en ambos tipos de animales (sanos y mutantes). Estos hallazgos respaldan la idea de que la exposición a campos electromagnéticos de alta frecuencia puede influir en el sistema nervioso central y también respaldan algunos resultados recientes sobre posibles riesgos para la salud derivados del uso de teléfonos celulares.

(E) Barthélémy A, Mouchard A, Bouji M, Blazy K, Puigsegur R, Villégier AS. Marcadores gliales y memoria emocional en ratas tras exposición cerebral aguda a radiofrecuencia. Environ Sci Pollut Res Int. 30 de septiembre de 2016. [Publicado electrónicamente antes de su impresión] (AS, BE, CE, CH)

El uso generalizado de teléfonos móviles plantea inquietudes sobre los posibles efectos cerebrales de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF CEM). Se informó astrogliosis reactiva en estructuras neuroanatómicas de comportamientos adaptativos después de una única exposición a RF CEM a alta tasa de absorción específica (SAR, 6 W/kg). Aquí, nuestro objetivo fue evaluar si la lesión neuronal y los deterioros funcionales estaban relacionados con la astrogliosis inducida por alta SAR. Además, se exploró el nivel de péptido beta amiloide 1-40 (A β 1-40) como un posible marcador de toxicidad. Las ratas macho Sprague Dawley fueron expuestas durante 15 min a 0, 1,5 o 6 W/kg o durante 45 min a 6 W/kg. Se evaluaron la memoria, la emocionalidad y la locomoción en el condicionamiento del miedo, el laberinto elevado en cruz y el campo abierto. Se cuantificaron la proteína ácida fibrilar glial (GFAP, fracciones totales y citosólicas), la proteína básica de mielina (MBP) y A β 1-40 en seis áreas cerebrales mediante un ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas. Según nuestros datos, la GFAP total aumentó en el cuerpo estriado (+114 %) a 1,5 W/kg. La memoria a largo plazo se redujo y la GFAP citosólica aumentó en el hipocampo (+119 %) y en el bulbo olfatorio (+46 %) a 6 W/kg (15 min). No se observó ninguna modificación de la expresión de MBP o A β 1-40. Nuestros datos corroboran estudios previos que indican astrogliosis inducida por campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Este estudio sugiere que la astrogliosis inducida por campos electromagnéticos de radiofrecuencia tuvo consecuencias funcionales en la memoria, pero no demostró que fuera secundaria a daño neuronal.

(E) Bas O, Odaci E, Kaplan S, Acer N, Ucok K, Colakoglu S. La exposición a campos electromagnéticos de 900 MHz afecta las características cualitativas y cuantitativas de las células piramidales del hipocampo en ratas hembra adultas. Brain Res. 1265:178-185, 2009. (AS, CE, ME)

Los efectos de los campos electromagnéticos (CEM) emitidos por los teléfonos móviles en los seres humanos revisten especial interés debido a su uso en estrecha proximidad al cerebro. El estudio actual investigó la cantidad de células piramidales en el cuerno de amonio (CA) del hipocampo de ratas hembra de 16 semanas de edad tras la exposición posnatal a un CEM de 900 megahercios (MHz). En este estudio hubo tres grupos de 6 ratas: control (Cont), exposición simulada (Sham) y exposición a CEM (EMF). Las ratas del grupo CEM fueron expuestas a CEM de 900 MHz (1 h/día durante 28 días) en un tubo de exposición. El grupo simulado se colocó en el tubo de exposición pero no se expuso a CEM (1 h/día durante 28 días). El grupo Cont no fue colocado en el tubo de exposición ni se expuso a CEM durante el período de estudio. En las ratas del grupo CEM, la tasa de absorción de energía específica (SAR) varió entre 0,016 (cuerpo entero) y 2 W/kg (localmente en la cabeza). Todas las ratas fueron sacrificadas al final del experimento y se estimó el número de células piramidales en la CA utilizando la técnica del fraccionador óptico. Se realizaron evaluaciones histopatológicas en secciones de la región CA del hipocampo. Los resultados mostraron que la exposición posnatal a los campos electromagnéticos causó una disminución significativa del número de células piramidales en la CA del grupo de los campos electromagnéticos (P<0,05). Además, se puede observar pérdida de células en la región CA del grupo de los campos electromagnéticos incluso en la observación cualitativa. Estos resultados pueden alentar a los investigadores a evaluar los efectos crónicos de los campos electromagnéticos de 900 MHz en los cerebros de los adolescentes.

(E) Baş O, Sönmez OF, Aslan A, İkinci A, Hancı H, Yıldırım M, Kaya H, Akça M, Odacı E. Pérdida de células piramidales en el cornu ammonis de ratas hembras de 32 días de edad tras la exposición a un campo electromagnético de 900 megahercios durante los días prenatales 13-21. NeuroQuantology 11:591-599, 2013. (Alemania, Europa, Oriente Medio y África)

Cada día aumenta más el número de estudios que indican que el campo electromagnético (CEM) emitido por los teléfonos móviles afecta a la salud humana. En estudios anteriores, informamos que un CEM de 900 megahercios (MHz) aplicado durante el período prenatal redujo la cantidad de células piramidales en el cornu ammonis de crías de rata en el período posnatal. En este estudio, investigamos el efecto de un CEM de 900 MHz aplicado los días 13 a 21 del período prenatal sobre la cantidad de células piramidales en el cornu ammonis de crías de rata en el período posnatal. Para ese propósito, las ratas preñadas se dividieron en grupos experimentales y de control. Las ratas preñadas del grupo experimental fueron expuestas al efecto de un CEM de 900 MHz los días 13 a 21 del embarazo. No se aplicó ningún procedimiento al grupo de control. Se añadieron crías de rata hembras recién nacidas al estudio y no se les realizó ningún procedimiento después del nacimiento. Se obtuvieron cinco ratas hembras recién nacidas del grupo experimental y seis del grupo de control. Todas las crías de rata hembra fueron decapitadas el día 32 postnatal y se realizaron procedimientos histológicos en los tejidos cerebrales. Las secciones se tiñeron con violeta rápido de cresilo. La técnica de disector óptico se utilizó para estimar el número total de células piramidales en el cornu ammonis. Las secciones del cornu ammonis se sometieron a evaluaciones histopatológicas. Nuestros resultados mostraron que la exposición a campos electromagnéticos de 900 MHz durante los días prenatales 13-21 condujo a una disminución significativa en el número de células piramidales en el cornu ammonis de las crías de rata hembra del grupo experimental (P < 0,05).

El examen histopatológico reveló células picnóticas en el cuerno de Amón en crías de ratas hembra experimentales. Por lo tanto, la pérdida de células piramidales en el cuerno de Amón puede atribuirse a la exposición a campos electromagnéticos de 900 MHz en los días 13 a 21 del período prenatal.

(E) Bayat M, Karimi N, Karami M, Haghghi AB, Bayat K, Akbari S, Haghani M. La exposición crónica a la radiación de microondas de 2,45 GHz mejora la cognición y el deterioro de la plasticidad sináptica en un modelo de demencia vascular. *Int J Neurosci.* 26 de febrero de 2021;1-13. doi: 10.1080/00207454.2021.1896502.

(AS, LI, CE, BE, CC, CH, MA)

En este estudio, evaluamos los efectos de la radiación de microondas de 2,45 GHz sobre la disfunción cognitiva inducida por la demencia vascular (VaD). La VaD fue inducida por oclusión bilateral de la carótida común (2-VO). Las ratas se dividieron en 4 grupos que incluyeron: grupos de control (n = 6), simulado (n = 6), 2-VO (n = 8) y 2-VO + Wi-Fi (n = 10). El módem Wi-Fi se ubicó centralmente a una distancia de 25 cm de las jaulas de los animales y los animales fueron expuestos continuamente a la señal Wi-Fi mientras se movían libremente en la jaula (2 h/día durante cuarenta y cinco días). Por lo tanto, la densidad de potencia (PD) y el valor de la tasa de absorción específica (SAR) disminuyeron a una distancia de 25 a 60 cm (PD = 0,018 a 0,0032 mW/cm², SAR = 0,0346 a 0,0060 W/Kg). El aprendizaje, la memoria y la plasticidad sináptica hipocampal se evaluaron mediante laberinto de brazos radiales (RAM), evitación pasiva (PA) y registro de potencial de campo respectivamente. El número de células CA1 del hipocampo también se evaluó mediante tinción de giemsa. Nuestros resultados mostraron que el modelo VaD provocó un deterioro en el aprendizaje espacial y el rendimiento de la memoria en RAM y PA que se asociaron con un deterioro de la potenciación a largo plazo (LTP), una disminución de la transmisión sináptica basal (BST), un aumento de GABA

transmisión y disminución de la probabilidad de liberación de neurotransmisores, así como pérdida de células hipocámpales. En particular, la exposición crónica a Wi-Fi recuperó significativamente el rendimiento de la memoria de aprendizaje, la inducción de LTP y la pérdida de células sin ningún efecto sobre la BST. La recuperación de LTP por Wi-Fi en las ratas 2-VO probablemente estuvo relacionada con aumentos significativos en la densidad neuronal CA1 del hipocampo, recuperación parcial de la probabilidad de liberación de neurotransmisores y reducción de la transmisión de GABA, como es evidente por el rescate de la relación de pulsos emparejados de 10 ms.

Bertagna F, Lewis R, Silva SRP, McFadden J, Jeevaratnam K. Efectos de los campos electromagnéticos en los canales iónicos neuronales: una revisión sistemática. *Ann NY Acad Sci* 2021 4 de mayo. doi: 10.1111/nyas.14597. En línea antes de su publicación impresa. (Revisión)

Muchos aspectos de la química y la biología están mediados por interacciones de campos electromagnéticos (CEM). El sistema nervioso central (SNC) es particularmente sensible a los estímulos de los CEM. Los estudios han explorado el efecto directo de diferentes CEM en las propiedades eléctricas de las neuronas en las últimas dos décadas, centrándose particularmente en el papel de los canales iónicos dependientes de voltaje (CVG). Este trabajo tiene como objetivo revisar sistemáticamente la evidencia publicada en las últimas dos décadas que detalla los efectos de los CEM en los canales iónicos neuronales según las pautas PRISM. Siguiendo un criterio de exclusión e inclusión predeterminado, se incluyeron 22 artículos después de búsquedas en tres bases de datos en línea. Se encontró que los cambios en la homeostasis del calcio, atribuibles a los canales de calcio dependientes de voltaje, eran el resultado informado con mayor frecuencia de la exposición a CEM. Los efectos de los CEM en el paisaje neuronal parecen ser diversos y muy dependientes de parámetros, como la frecuencia del campo, el tiempo de exposición y las propiedades intrínsecas del tejido irradiado, como la expresión de CVG. En este artículo, aclaramos sistemáticamente cómo los canales iónicos neuronales se ven particularmente afectados y modulados de manera diferencial por los campos electromagnéticos en múltiples niveles, como la dinámica de activación, la conductancia iónica, la concentración en la membrana y la expresión de genes y proteínas. Los canales iónicos representan un transductor importante de los efectos relacionados con los campos electromagnéticos en el sistema nervioso central.

(NE) Bhagat S, Varshney S, Bist SS, Goel D, Mishra S, Jha VK. Efectos sobre la función auditiva de la exposición crónica a campos electromagnéticos de teléfonos móviles. *Ear Nose Throat J.* 95(8):E18-22, 2016. (HU, PE)

El uso generalizado de teléfonos móviles ha generado aprensión respecto de los posibles efectos nocivos para la salud de los campos electromagnéticos (CEM) de alta frecuencia sobre la función auditiva.

Realizamos un estudio para investigar los efectos de la exposición a largo plazo (>4 años) a los campos electromagnéticos emitidos por los teléfonos móviles sobre la función auditiva. Nuestra población de estudio estuvo compuesta por 40 estudiantes de medicina sanos, 31 hombres y 9 mujeres, de 20 a 30 años (media de 22,7). De este grupo, 31 sujetos solían sostener el teléfono en el oído derecho y 9 en el oído izquierdo; el oído que no usaba el teléfono sirvió como oído de control de cada sujeto. Los sujetos que usaban el teléfono también se dividieron en dos grupos de 20 en función de la duración de su uso diario del teléfono (≤ 60 min frente a >60 min). Todos los sujetos se sometieron a audiometría de tonos puros, audiometría del habla, audiometría de impedancia y audiometría de respuesta evocada del tronco encefálico (BERA), y se realizaron comparaciones entre el oído que usaba el teléfono y el oído de control y entre la duración más corta y más larga del uso diario. No encontramos diferencias estadísticamente significativas en el promedio de tonos puros de alta frecuencia entre los oídos que usaron el teléfono y los oídos de control ($p = 0,69$) o entre los oídos que usaron el teléfono durante menos y durante más tiempo ($p = 0,85$).

Además, el análisis estadístico de los hallazgos de BERA no reveló diferencias significativas entre los oídos que usaban el teléfono y los oídos de control en términos de latencias entre picos de onda I-III, III-V y IV (p

= 0,59, 0,74 y 0,44, respectivamente). Ninguno de los sujetos informó síntomas subjetivos, como dolor de cabeza, tinnitus o sensaciones de ardor o calor detrás, alrededor o en el oído que usa el teléfono. Concluimos que la exposición prolongada a los campos electromagnéticos de los teléfonos móviles no afecta la función auditiva.

(E) Bodera P, Stankiewicz W, Antkowiak B, Paluch M, Kieliszek J, Sobiech J, Zdanowski R, Wojdas A, Siwicki AK, Skopińska-Rózewska E. Efecto supresor del campo electromagnético sobre la actividad analgésica del tramadol en ratas. Pol J Vet Sci. 15(1):95-100, 2012. (AS, PE, IA)

Se ha demostrado que los campos electromagnéticos (CEM) alteran el comportamiento animal y humano, como la orientación direccional, el aprendizaje, la percepción del dolor (nocicepción o analgesia) y los comportamientos relacionados con la ansiedad. El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de los campos electromagnéticos de microondas de alta frecuencia en la percepción del dolor y la actividad antinociceptiva del tramadol (TRAM), un analgésico eficaz en el tratamiento de estados de dolor agudo y crónico moderados a severos. Se aplicaron exposiciones a campos electromagnéticos de a) frecuencia de 1500 MHz y b) modulados, 1800 MHz (que es idéntico al generado por los teléfonos móviles). Se midió la latencia de retirada de la pata (PWL) al estímulo térmico en animales tratados con vehículo o tramadol (TRAM) antes y después de 30, 60 y 90 minutos de las inyecciones. No se observaron diferencias en el nivel de dolor (PWL) entre el grupo de control y las ratas expuestas a CEM solo en tres mediciones. El tramadol solo aumentó significativamente las PWL al estímulo térmico en comparación con los resultados del vehículo a los 30 ($p < 0,001$) y 60 minutos ($p < 0,05$) después de la inyección del fármaco. La exposición a campos electromagnéticos de ambas frecuencias suprimió transitoriamente el efecto analgésico del tramadol, lo que redujo significativamente la latencia de retirada de la pata en animales tratados con este fármaco a los 30 minutos de la inyección

(E) Bodera P, Stankiewicz W, Antkowiak B, Paluch M, Kieliszek J, Sobiech J, Niemcewicz M. Influencia del campo electromagnético (1800 MHz) en la peroxidación lipídica en el cerebro, la sangre, el hígado y los riñones de ratas. Int J Occup Med Environ Health. 28(4):751-759, 2015. (AS, OX)

OBJETIVOS: El objetivo de este estudio es evaluar la influencia de la exposición repetida (5 veces durante 15 min) a campos electromagnéticos (CEM) de frecuencia de 1800 MHz sobre la peroxidación lipídica tisular (LPO) tanto en estado normal como inflamatorio, combinado con tratamiento analgésico.

MATERIAL Y MÉTODOS: Se estimó la concentración de malondialdehído (MDA) como producto final de la peroxidación lipídica (LPO) en sangre, hígado, riñones y cerebro de ratas Wistar, tanto sanas como con inflamación persistente de la pata inducida por adyuvante completo de Freund (CFA). RESULTADOS: Se observaron niveles ligeramente elevados de MDA en sangre, riñones y cerebro entre ratas sanas en grupos expuestos a campos electromagnéticos (CEM), tratadas con tramadol (TRAM/EMF y expuestas al CEM). El malondialdehído permaneció al mismo nivel en el hígado en todos los grupos investigados: el grupo control (CON), el grupo expuesto (EMF), tratado con tramadol (TRAM) así como expuesto y tratado con tramadol (TRAM/EMF). En el grupo de animales tratados con adyuvante completo de Freund (CFA) también observamos valores ligeramente aumentados de MDA en el caso del grupo control (CON) y los grupos expuestos (EMF y TRAM/EMF). Los valores de MDA en relación con los riñones se mantuvieron en los mismos niveles en el grupo de control, expuesto y no expuesto tratado con tramadol. Los resultados para ratas sanas y animales con inflamación no difirieron significativamente. CONCLUSIONES: El efecto de la radiación electromagnética

La exposición al campo electromagnético (EMF), aplicada de manera repetida junto con el fármaco opioide tramadol (TRAM), aumentó ligeramente el nivel de peroxidación lipídica en el cerebro, la sangre y los riñones.

(E) Bouji M, Lecomte A, Hode Y, de Seze R, Villégier AS. Efectos de la radiofrecuencia de 900 MHz sobre la corticosterona, la memoria emocional y la neuroinflamación en ratas de mediana edad. *Exp Gerontol.* 47(6):444-451, 2012.

(AS, CC, BE, AD)

El uso generalizado de teléfonos móviles plantea la cuestión de los efectos de los campos electromagnéticos (CEM, 900 MHz) en el cerebro. Estudios anteriores informaron de un aumento de los niveles de la proteína ácida fibrilar glial (GFAP) en el cerebro de la rata después de una única exposición a la señal del sistema global para móviles (GSM) de 900 MHz, lo que sugiere un posible proceso inflamatorio. Si bien este resultado se obtuvo en ratas adultas, actualmente no hay datos disponibles en animales de mayor edad. Dado que la transición de la mediana edad a la senescencia depende en gran medida del entorno y el estilo de vida, estudiamos la reactividad de los cerebros de mediana edad a la exposición a los CEM. Evaluamos los efectos de una única exposición GSM de 15 minutos (900 MHz; tasa de absorción específica (SAR) = 6 W/kg) en la expresión de GFAP en adultos jóvenes (6 semanas de edad) y ratas de mediana edad (12 meses de edad). También se evaluaron la interleucina (IL)-1 β e IL-6 cerebrales, los niveles plasmáticos de corticosterona (CORT) y la memoria emocional. Nuestros datos indicaron que, en contraste con trabajos publicados previamente, la exposición aguda a GSM no indujo la activación de los astrocitos. Nuestros resultados mostraron un aumento de IL-1 β en el bulbo olfatorio y una mejor memoria emocional contextual en ratas de mediana edad expuestas a GSM, y mayores niveles plasmáticos de CORT en adultos jóvenes expuestos a GSM. En conjunto, nuestros datos mostraron una dependencia de la edad de la reactividad a la exposición a GSM en parámetros neuroinmunes, de estrés y conductuales. Reproducir estos efectos y estudiar sus mecanismos puede permitir una mejor comprensión de los efectos de los campos electromagnéticos de los teléfonos móviles en los parámetros neurobiológicos.

(E) Bouji M, Lecomte A, Gamez C, Blazy K, Villégier AS. Impacto de la exposición a radiofrecuencias cerebrales en el estrés oxidativo y la corticosterona en un modelo de rata de enfermedad de Alzheimer. *J Alzheimers Dis.* 73:467-476, 2020. (AS, CE, CH, BE, OX)

ANTECEDENTES: La enfermedad de Alzheimer (EA) es el tipo más común de enfermedad neurodegenerativa que conduce a la demencia. Varios estudios sugirieron que las exposiciones a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) de teléfonos móviles modificaron los déficits de memoria de EA en modelos de roedores.

OBJETIVO: Aquí nos propusimos probar la hipótesis de que la exposición a RF-EMF puede modificar la memoria a través de la corticosterona y el estrés oxidativo en el modelo de rata samaritana de EA. MÉTODOS: Las ratas macho Long-Evans recibieron una infusión intracerebroventricular con sulfato ferroso, péptido amiloide-beta 1-42 y butionina-sufloximina (ratas de EA) o con vehículo (ratas de control). Para imitar el uso del teléfono celular, se expusieron RF-EMF a la cabeza durante 1 mes (5 días a la semana, con restricción). Para buscar umbrales de riesgo, se probaron tasas de absorción específica promedio cerebral (BASAR) altas: 1,5 W/Kg (15 min), 6 W/Kg (15 min) y 6 W/Kg (45 min). El grupo de simulación estaba en

restricción durante 45 min. Los puntos finales fueron la memoria espacial en el laberinto radial, la corticosterona plasmática, la hemooxigenasa-1 (HO1) y las placas amiloides. RESULTADOS: Los resultados indicaron niveles similares de corticosterona pero rendimientos de memoria deteriorados y tinción cerebral aumentada de tioflavina y de HO1 en las ratas con EA simulada en comparación con los controles. Un aumento correlativo de la tinción de HO1 cortical fue el único efecto de los CEM de radiofrecuencia en las ratas de control. En ratas con EA, las exposiciones a CEM de radiofrecuencia indujeron un aumento correlativo de la tinción de HO1 hipocampal y redujeron la corticosterona. DISCUSIÓN: Según nuestros datos, ni las ratas con EA ni las de control mostraron memoria modificada después de las exposiciones a CEM de radiofrecuencia.

A diferencia de las ratas de control, las ratas con enfermedad de Alzheimer mostraron un mayor estrés oxidativo en el hipocampo y una reducción de la corticosterona con el BASAR más alto. Estos datos sugieren una mayor fragilidad relacionada con la enfermedad neurodegenerativa frente a la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia.

(E) Brillaud E, Piotrowski A, de Seze R. Efecto de una exposición aguda a la banda GSM de 900 MHz sobre la glía en el cerebro de la rata: un estudio dependiente del tiempo. *Toxicology*. 238(1):23-33, 2007. (AS, CC)

Debido al creciente uso de teléfonos móviles, se deben evaluar los posibles riesgos de los efectos adversos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en el cerebro humano. En este trabajo medimos la expresión de GFAP, para evaluar la evolución glial 2, 3, 6 y 10 días después de una única exposición GSM (15 min, SAR cerebral promedio=6W/kg, señal de 900 MHz) en el cerebro de rata. Se observó un aumento estadísticamente significativo del área de superficie teñida con GFAP 2 días después de la exposición en la corteza frontal y el putamen caudado. Se observó un aumento estadísticamente significativo más pequeño 3 días después de la exposición en las mismas áreas y en la corteza del cerebelo. Nuestros resultados confirman los de Mausset-Bonnefont et al. estudio [Mausset-Bonnefont, AL, Hirbec, H., Bonnefont, X., Privat, A., Vignon, J., de Seze, R., 2004. Acute exhibition to GSM 900MHz electromagnetic fields induces glial reactivity and biochemical modifications in the rat brain. *Neurobiol. Dis.* 17, 445-454], que muestra la existencia de reactividad glial después de una exposición aguda de 15 minutos a GSM con una SAR cerebral promedio de 6 W/kg. Concluimos que se trata de un efecto temporal, probablemente debido a una hipertrofia de las células gliales, con una modulación temporal y espacial del efecto. Queda por estudiar si este efecto podría ser perjudicial.

(NE) Brzozek C, Benke KK, Zeleke BM, Croft RJ, Dalecki A, Dimitriadis C, Kaufman J, Sim MR, Abramson MJ, Benke G. Análisis de incertidumbre del uso de teléfonos móviles y su efecto en la función cognitiva: la aplicación de la simulación de Monte Carlo en una cohorte de niños de escuelas primarias de Australia. *Int J Environ Res Public Health*. 8 de julio de 2019;16(13). pii: E2428. (HU, CE, BE)

Estudios epidemiológicos previos sobre los efectos de la exposición a la radiación de los teléfonos móviles en la salud han arrojado resultados contradictorios. Esto puede deberse a dificultades experimentales y a diversas fuentes de incertidumbre, como la variabilidad estadística, los errores de medición y la incertidumbre del modelo.

Una técnica analítica conocida como simulación de Monte Carlo proporciona un enfoque adicional al análisis al abordar la incertidumbre en las entradas del modelo utilizando distribuciones de probabilidad de error, en lugar de

que los datos de fuentes puntuales. El objetivo de esta investigación fue demostrar utilizando la simulación de Monte Carlo de los datos del estudio ExPOSURE (Examen de los resultados psicológicos en estudiantes que utilizan dispositivos de radiofrecuencia) para cuantificar la incertidumbre en el resultado del modelo. Los datos se recopilaron dos veces, aproximadamente con un año de diferencia (entre 2011 y 2013) para 412 participantes de escuelas primarias en Australia. La simulación de Monte Carlo se utilizó para estimar la incertidumbre de salida en el modelo debido a las incertidumbres en los datos de exposición a las llamadas. Los modelos de regresión lineal múltiple evaluaron las asociaciones entre las llamadas de teléfono móvil con la función cognitiva y encontraron evidencia débil de una asociación. De manera similar al análisis longitudinal anterior, se encontraron asociaciones para las tareas de aprendizaje Go/No Go y Groton maze, y una relación de tiempo de Stroop.

Sin embargo, con la introducción del análisis de incertidumbre, los resultados se acercaron más a la hipótesis nula.

(NE) Bueno-Lopez A, Eggert T, Dorn H, Schmid G, Hirtl R, Danker-Hopfe H. Efectos de la exposición a Wi-Fi de 2,45 GHz en la consolidación de la memoria dependiente del sueño. *J Sleep Res* 2021 agosto;30(4):e13224.

(HU, LI, EE, BE)

Los estudios han informado que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) emitidos por la telefonía móvil podría afectar características específicas del sueño. Hasta ahora, no se han investigado los posibles efectos de los RF-EMF emitidos por redes Wi-Fi en los procesos de consolidación de la memoria dependientes del sueño. El presente estudio exploró el impacto de una exposición a Wi-Fi (2,45 GHz) durante toda la noche en la consolidación de la memoria dependiente del sueño y sus correlatos fisiológicos asociados. Treinta hombres jóvenes (media \pm desviación estándar [DE]: 24,1 \pm 2,9 años) participaron en este estudio cruzado, doble ciego, aleatorizado y controlado con placebo. Los participantes pasaron cinco noches en el laboratorio. La primera noche fue una noche de adaptación/detección. La segunda y la cuarta noches fueron noches de referencia, seguidas consecutivamente por una noche experimental con Wi-Fi (máximo: psSAR10g = <25 mW/kg; promedio de 6 min: <6,4 mW/kg) o exposición simulada. Se midieron los desempeños de la memoria declarativa, emocional y procedimental utilizando un par de palabras, un golpeteo secuencial de dedos y una tarea de reconocimiento facial, respectivamente. Además, se analizaron los parámetros de la actividad cerebral asociados al aprendizaje (espectros de potencia para oscilaciones lentas y en el rango de frecuencia del huso). Aunque la memoria emocional y procedimental no se vieron afectadas por la exposición a RF-EMF, la mejora durante la noche en la tarea declarativa fue significativamente mejor en la condición de Wi-Fi.

Sin embargo, ninguno de los parámetros específicos del sueño posterior al aprendizaje se vio afectado por la exposición. Por lo tanto, el efecto significativo de la exposición al wifi en la memoria declarativa observado a nivel conductual no fue respaldado por los resultados a nivel fisiológico. Debido a estas inconsistencias, este resultado también podría ser un hallazgo aleatorio.

(NE) Alba Cabré-Riera 1, Hanan El Marroun 2, Ryan Muetzel 3, Luuk van Wel 4, Ilaria Liorni 5, Arno Thielens 6, Laura Ellen Birks 7, Livia Pierotti 8, Anke Huss 4, Wout Joseph 6, Joe Wiart 9

Capstick Cardis 7, ⁵, Manon Hillegers 10, Roel Vermeulen 11, Elisabeth , Myles Martine Vrijheid 7, Tonya White 12, Martin Röösli 13, Henning Tiemeier 14, Mónica Guxens 15 Estimación de dosis de campos electromagnéticos de radiofrecuencia en todo el cerebro y en lóbulos específicos y volúmenes cerebrales en preadolescentes. *Environ Int* 2020 Sep;142:105808. doi: 10.1016/j.envint.2020.105808.

Publicación electrónica 2020 Jun 15. (HU, CE, ME)

Objetivo: Evaluar la asociación entre las dosis estimadas de campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) en todo el cerebro y en lóbulos específicos, utilizando un modelo mejorado integrado de exposición a CEM-RF, y los volúmenes cerebrales en preadolescentes de 9 a 12 años de edad. **Métodos:** Análisis transversal en preadolescentes de 9 a 12 años de edad del Estudio Generación R, una cohorte de nacimiento basada en la población establecida en Rotterdam, Países Bajos (n = 2592). Se utilizó un modelo de exposición integrado para estimar las dosis de CEM-RF en todo el cerebro y en lóbulos específicos (mJ/kg/día) de diferentes fuentes de CEM-RF, incluidas las llamadas telefónicas móviles y de telecomunicaciones inalámbricas mejoradas digitales (DECT), otros usos del teléfono móvil distintos de las llamadas, el uso de tabletas, el uso de computadoras portátiles y fuentes de campo lejano. Se estimaron las dosis de CEM-RF en todo el cerebro y en lóbulos específicos para todas las fuentes de CEM-RF en conjunto (es decir, en general) y para tres grupos de fuentes de CEM-RF que conducen a un patrón diferente de exposición a CEM-RF. La información sobre los volúmenes cerebrales se extrajo de exploraciones de imágenes por resonancia magnética. **Resultados:** La dosis total estimada de RF-EMF en todo el cerebro fue de 84,3 mJ/kg/día. La dosis total más alta específica del lóbulo se estimó en el lóbulo temporal (307,1 mJ/kg/día). Las dosis de RF-EMF en todo el cerebro y en los lóbulos específicos de todas las fuentes de RF-EMF en conjunto, de llamadas telefónicas móviles y DECT, y de fuentes de campo lejano no se asociaron con los volúmenes cerebrales globales, corticales o subcorticales. Sin embargo, una dosis más alta de RF-EMF en todo el cerebro por el uso del teléfono móvil para navegar por Internet, enviar correos electrónicos y mensajes de texto, el uso de tabletas y el uso de computadoras portátiles mientras se está conectado de forma inalámbrica a Internet se asoció con un volumen caudado más pequeño.

Conclusiones: Nuestros resultados sugieren que las dosis estimadas de RF-EMF en todo el cerebro y en los lóbulos específicos no estaban relacionadas con los volúmenes cerebrales en preadolescentes de 9 a 12 años de edad. Las actividades con dispositivos de comunicación móvil mientras se está conectado de forma inalámbrica a Internet dan lugar a una dosis baja de RF-EMF en el cerebro y, por lo tanto, nuestra asociación observada puede reflejar más bien los efectos de factores sociales o individuales relacionados con estos usos específicos de los dispositivos de comunicación móvil. Sin embargo, no podemos descartar la confusión residual, el hallazgo casual o la causalidad inversa. Se justifican más estudios sobre los dispositivos de comunicación móvil y sus posibles asociaciones negativas con el desarrollo cerebral, independientemente de si las asociaciones se deben a la exposición a RF-EMF o a otros factores relacionados con el uso.

(E) Cabré-Riera A, van Weld L, Liorni I, Thielens A, Birks LE, Pierotti L, Joseph W, González-Safont L, Ibarluzea J, Ferrero A, Huss A, Wirt J, Santa-Marina L, Torrent M, Vrijkotte T, Capstick M, Vermeulen R, Vrijheid M, Cardis E, Röösli M, Guxen M.

Asociación entre la dosis estimada de campos electromagnéticos de radiofrecuencia en todo el cerebro y la función cognitiva en preadolescentes y adolescentes. *Revista internacional de higiene y salud ambiental*, volumen 231, enero de 2021, 113659. (HU, CE, BE)

Objetivo. Investigar la asociación entre la dosis estimada de campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) en todo el cerebro, utilizando un modelo de exposición a CEM-RF integrado mejorado, y la función cognitiva en preadolescentes y adolescentes. **Métodos.** Análisis transversal en preadolescentes de 9 a 11 años y adolescentes de 17 a 18 años del estudio holandés Amsterdam Born Children and their Development Study (n = 1664 preadolescentes) y el proyecto español Infancia y Medio Ambiente (n = 1288 preadolescentes y n = 261 adolescentes), dos estudios de cohorte de nacimiento basados en la población. Se estimaron las dosis totales de CEM-RF en todo el cerebro (mJ/kg/día) para varias fuentes de CEM-RF juntas, incluidas las llamadas telefónicas móviles y de telecomunicaciones inalámbricas mejoradas digitales (llamadas telefónicas con nombre), otros usos del teléfono móvil distintos de las llamadas, el uso de tabletas, el uso de computadoras portátiles (actividades con nombre en la pantalla) y fuentes de campo lejano. También estimamos las dosis totales de CEM-RF en todo el cerebro (mJ/kg/día) para varias fuentes de CEM-RF juntas, incluidas las llamadas telefónicas móviles y de telecomunicaciones inalámbricas mejoradas digitales (llamadas telefónicas con nombre), otros usos del teléfono móvil distintos de las llamadas, el uso de tabletas, el uso de computadoras portátiles (actividades con nombre en la pantalla) y fuentes de campo lejano.

Dosis de campos electromagnéticos de radiofrecuencia en el cerebro en estos tres grupos por separado (es decir, llamadas telefónicas, actividades en pantalla y campo lejano) que conducen a diferentes patrones de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Evaluamos la inteligencia no verbal en los preadolescentes holandeses y españoles, la velocidad de procesamiento de la información, la función atencional y la flexibilidad cognitiva en los preadolescentes españoles, y la memoria de trabajo y la fluidez semántica en los preadolescentes y adolescentes españoles utilizando pruebas neurocognitivas validadas. Resultados. La dosis total estimada de RF-EMF en todo el cerebro fue de 90,1 mJ/kg/día (rango intercuartil [RIC] 42,7; 164,0) en los preadolescentes holandeses y españoles y de 105,1 mJ/kg/día (RIC 51,0; 295,7) en los adolescentes españoles. Las dosis totales estimadas más altas de RF-EMF en todo el cerebro provenientes de todas las fuentes de RF-EMF en conjunto y de llamadas telefónicas se asociaron con una puntuación más baja de inteligencia no verbal en los preadolescentes holandeses y españoles (-0,10 puntos, IC del 95%: -0,19; -0,02 por cada 100 mJ/kg/día de aumento en cada exposición). Sin embargo, ninguna de las dosis de RF-EMF en todo el cerebro se relacionó con ningún otro resultado de la función cognitiva en los preadolescentes o adolescentes españoles. Conclusiones. Nuestros resultados sugieren que una mayor exposición cerebral a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia está relacionada con una menor inteligencia no verbal, pero no con otros resultados de la función cognitiva. Dada la naturaleza transversal del estudio, los pequeños tamaños del efecto y los mecanismos biológicos desconocidos, no podemos descartar que nuestros resultados se deban a hallazgos aleatorios o a una causalidad inversa. Se necesitan estudios longitudinales sobre la exposición cerebral a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia y la función cognitiva.

(E) Cabré-Riera A, van Wel L, Liorni I, Koopman-Verhoeff ME, Imaz L, Ibarluzea J, Huss A, Wiart J, Vermeulen R, Joseph W, Capstick M, Vrijheid M, Cardis E, Rööslä M, Eeftens M, Thielens A, Tiemeier H, Guxens M. Estimación de dosis de campos electromagnéticos de radiofrecuencia en todo el cerebro durante todo el día y la noche, y sueño en preadolescentes.

Environ Res 29 de octubre de 2021;112291. doi: 10.1016/j.envres.2021.112291. En línea antes de su publicación impresa.

(Hungría, Europa, Bélgica)

Objetivo: Investigar la asociación de las dosis estimadas de campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) en todo el cerebro durante todo el día y por la noche con trastornos del sueño y mediciones objetivas del sueño en preadolescentes. Métodos: Incluimos preadolescentes de 9 a 12 años de dos cohortes de nacimiento basadas en la población, el estudio Generación R holandés (n = 974) y el Proyecto Infancia y Medio Ambiente español (n = 868). Se estimaron las dosis totales de CEM-RF en todo el cerebro durante todo el día y por la noche (mJ/kg/día) para varias fuentes de CEM-RF, incluidas llamadas telefónicas móviles y de telecomunicaciones inalámbricas mejoradas digitales (DECT) (llamadas telefónicas con nombre), otros usos de teléfonos móviles, uso de tabletas, uso de computadoras portátiles (actividades de pantalla con nombre) y fuentes de campo lejano. También estimamos las dosis de CEM-RF en todo el cerebro durante todo el día y por la noche en estos tres grupos por separado (es decir, llamadas telefónicas, actividades de pantalla y campo lejano). Las madres completaron la Escala de alteración del sueño para niños para evaluar los trastornos del sueño. Se utilizaron acelerómetros de muñeca junto con diarios de sueño para medir las características del sueño de forma objetiva durante 7 días consecutivos.

Resultados: Las dosis de RF-EMF en todo el cerebro durante todo el día no se asociaron con trastornos del sueño autoinformados ni con medidas objetivas del sueño. Con respecto a las dosis nocturnas, los preadolescentes con una dosis alta de RF-EMF en todo el cerebro por la noche a partir de llamadas telefónicas tuvieron un tiempo total de sueño más corto en comparación con los preadolescentes con una dosis cero de RF-EMF en todo el cerebro por la noche a partir de llamadas telefónicas [-11,9 min (IC del 95 %: -21,2; -2,5)]. Conclusiones: Nuestros hallazgos sugieren que la noche es una ventana potencialmente relevante de exposición a RF-EMF para el sueño. Sin embargo, no podemos excluir que las asociaciones observadas se deban a las actividades o razones que motivaron las llamadas telefónicas en lugar de a la exposición a RF-EMF en sí o a un hallazgo casual.

(E) Calabrò E, Condello S, Currò M, Ferlazzo N, Caccamo D, Magazù S, Ientile R. Modulación de la respuesta de la proteína de choque térmico en SH-SY5Y mediante microondas de teléfonos móviles. *Mundial J Biol Chem.* 3(2):34-40, 2012. (CS, CH)

OBJETIVO: Investigar el posible daño biológico causado por las frecuencias de los teléfonos móviles GSM mediante la evaluación de los campos electromagnéticos durante el uso del teléfono móvil. MÉTODOS: Se expusieron células similares a neuronas, obtenidas por diferenciación inducida por ácido retinoico de células de neuroblastoma humano SH-SY5Y, durante 2 h y 4 h a microondas en bandas de frecuencia de 1800 MHz. RESULTADOS: Se evaluó la respuesta al estrés celular mediante el ensayo MTT, así como los cambios en la expresión de proteínas de choque térmico (Hsp20, Hsp27 y Hsp70) y los niveles de actividad de la caspasa-3, como biomarcadores de la vía apoptótica. En nuestras condiciones experimentales, ni la viabilidad celular ni la expresión de Hsp27 ni la actividad de la caspasa-3 se modificaron significativamente. Curiosamente, se observó una disminución significativa de la expresión de Hsp20 en ambos momentos de exposición, mientras que los niveles de Hsp70 aumentaron significativamente solo después de 4 h de exposición. CONCLUSIÓN: La modulación de la expresión de Hsp en las células neuronales puede ser una respuesta temprana a las microondas de radiofrecuencia.

(NE) Calvente I, Pérez-Lobato R, Núñez MI, Ramos R, Guxens M, Villalba J, Olea N, Fernández MF. ¿La exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia ambientales causa efectos cognitivos y conductuales en niños de 10 años? *Bioelectromagnética.* 37(1):25-36, 2016. (HU, BE)

La relación entre la exposición a campos electromagnéticos de radiación no ionizante y efectos adversos para la salud humana sigue siendo controvertida. Nuestro objetivo fue explorar la asociación de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) ambientales con la función neuroconductual de los niños. Una submuestra de 123 niños pertenecientes a la cohorte de Medio Ambiente e Infancia de Granada (España), reclutados al nacer entre 2000 y 2002, fueron evaluados a la edad de 9-11 años. Se realizaron mediciones puntuales del campo eléctrico dentro del rango de frecuencia de 100 kHz a 6 GHz, expresadas como magnitudes de raíz cuadrada media (SRMS) y densidad de potencia máxima (S_{MAX}), en los alrededores inmediatos de las viviendas de los niños. Las funciones neurocognitivas y conductuales se evaluaron con una batería completa de pruebas. Se utilizaron modelos de regresión lineal y logística multivariados, ajustando los posibles factores de confusión. Todas las mediciones fueron inferiores a los límites de referencia, con valores medios de SRMS y S_{MAX} de 285,94 y 2759,68 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, respectivamente. La mayoría de los parámetros cognitivos y conductuales no mostraron ningún efecto, pero los niños que vivían en áreas de mayor exposición a RF (por encima de los niveles medios de SRMS) tenían puntuaciones más bajas para la expresión/comprensión verbal y puntuaciones más altas para problemas internalizados y totales, y trastornos de estrés obsesivo-compulsivo y postraumático, en comparación con los que vivían en áreas con menor exposición. Estas asociaciones fueron más fuertes cuando se consideraron los valores de S_{MAX}. Aunque algunos de nuestros resultados pueden sugerir que la exposición ambiental a RF-EMF de bajo nivel tiene un impacto negativo en el desarrollo cognitivo y/o conductual en los niños; dadas las limitaciones en el diseño del estudio y que la mayoría de las tareas de funcionamiento neuroconductual no se vieron afectadas, no se pueden sacar conclusiones definitivas.

(E) Cammaerts MC, De Doncker P, Patris X, Bellens F, Rachidi Z, Cammaerts D. La radiación GSM de 900 MHz inhibe la asociación de las hormigas entre los sitios de alimentación y las señales encontradas. *Electromagn Biol Med.* 31(2):151-165, 2012. (AS, BE)

La cinética de la adquisición y pérdida del uso de las señales olfativas y visuales se obtuvo previamente en seis colonias experimentales de la hormiga *Myrmica sabuleti* meinert 1861, en condiciones normales. En el presente trabajo, se llevaron a cabo los mismos experimentos en otras seis colonias idénticas de *M. sabuleti*, bajo radiación electromagnética similar a la que rodea a las antenas GSM y de comunicaciones. En esta situación, no se produjo ninguna asociación entre la comida y las señales olfativas o visuales. Después de un período de recuperación, las hormigas pudieron hacer tal asociación pero nunca alcanzaron la puntuación esperada. Dichas hormigas, que habían adquirido una puntuación olfativa o visual más baja y todavía estaban en proceso de entrenamiento olfativo o visual, fueron sometidas nuevamente a ondas electromagnéticas. No solo perdieron todo lo que habían memorizado, sino que además lo perdieron en unas pocas horas en lugar de en unos pocos días (como en condiciones normales cuando ya no estaban entrenadas).

No conservaron ninguna memoria visual (en lugar de conservar el 10% como hacen normalmente). El impacto de la radiación GSM de 900 MHz fue mayor en la memoria visual que en la olfativa.

Estas ondas de comunicación pueden tener un impacto desastroso en una amplia gama de insectos que utilizan la memoria olfativa y/o visual, es decir, en las abejas.

(E) Cammaerts MC, Rachidi Z, Bellens F, De Doncker P. Recolección de alimentos y respuesta a feromonas en una especie de hormiga expuesta a radiación electromagnética. *Electromagn Biol Med.* 15 de enero de 2013. [Epub antes de impresión] (AS, BE)

Utilizamos la especie de hormiga *Myrmica sabuleti* como modelo para estudiar el impacto de las ondas electromagnéticas en la respuesta de los insectos sociales a sus feromonas y su recolección de alimento. Cuantificamos la respuesta de las obreras de *M. sabuleti* a su rastro, marcaje de área y feromona de alarma en condiciones normales. Luego, cuantificamos las mismas respuestas bajo la influencia de las ondas electromagnéticas. Bajo tal influencia, las hormigas siguieron rastros solo por distancias cortas, ya no llegaron a las áreas marcadas y ya no se orientaron hacia una fuente de feromona de alarma. Además, cuando se expusieron a las ondas electromagnéticas, las hormigas se volvieron incapaces de regresar a su nido y reclutar congéneres; por lo tanto, el número de hormigas que recolectan alimento aumenta solo ligeramente y lentamente. Después de 180 h de exposición, sus colonias se deterioraron. La radiación electromagnética obviamente afecta el comportamiento y la fisiología de los insectos sociales.

(E) Cammaerts MC, Vandenbosch GAE, Volski V. Efecto de la radiación GSM de corto plazo a niveles representativos de la sociedad en un modelo biológico: la hormiga *Myrmica sabuleti*. *J Insect Beh.* 27(4):514-526. 2014. (COMO, CE, BE)

Se establecieron condiciones de exposición electromagnética bien controladas a un nivel de intensidad de radiación GSM socialmente representativo, 1,5 V/m, que es el nivel legalmente permitido en Bruselas. Dos nidos de la especie de hormiga *Myrmica sabuleti* fueron irradiados repetidamente durante 10 minutos antes de que se observara su comportamiento, en base al análisis de las trayectorias de las hormigas. Bajo estas condiciones de exposición, se detectaron efectos conductuales. La locomoción de las hormigas cambió ligeramente.

La orientación hacia su atractiva feromona de alarma se volvió estadísticamente de menor calidad. Las hormigas seguían presentando su comportamiento de seguimiento del rastro, pero con menor eficiencia. En esta cuestión controvertida, las hormigas podrían considerarse como posibles bioindicadoras.

(E) Carballo-Quintás M, Martínez-Silva I, Cadarso-Suárez C, Alvarez-Figueiras M, Ares-Pena FJ, López-Martín E. Estudio de biomarcadores neurotóxicos, c-fos y GFAP tras exposición aguda a radiación GSM a 900 MHz en el modelo de picrotoxina de cerebros de rata. *Neurotoxicology*. 32(4):478-494, 2011. (ES, CH)

Los efectos agudos de la exposición a microondas del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) se estudiaron en ratas, utilizando radiación de 900 MHz a una intensidad similar a las emisiones de los teléfonos móviles. Luego se administraron dosis subconvulsivas agudas de picrotoxina a las ratas y se creó un modelo experimental de propensión a las convulsiones a partir de los datos. Setenta y dos ratas Sprague-Dawley macho adultas se sometieron a pruebas inmunoquímicas de áreas anatómicas relevantes para medir la inducción del marcador neuronal c-fos después de 90 min y 24 h, y de la proteína ácida fibrilar glial (GFAP) 72 h después de la exposición aguda a un campo electromagnético (CEM) de 900 MHz. La configuración experimental facilitó la medición de la potencia absorbida, a partir de la cual se calculó la tasa de absorción específica promedio utilizando el dominio del tiempo de diferencia finita (FDTD) 2 h después de la exposición a la radiación CEM a 1,45 W/kg en ratas tratadas con picrotoxina y 1,38 W/kg en ratas no tratadas. Noventa minutos después de la radiación, se registraron altos niveles de expresión de c-fos en el neocórtex y paleocórtex junto con una baja activación del hipocampo en los animales tratados con picrotoxina. La mayoría de las áreas cerebrales, excepto la región cortical límbica, mostraron aumentos importantes en la activación neuronal 24 horas después de la picrotoxina y la radiación. Tres días después del tratamiento con picrotoxina, los efectos de la radiación todavía eran evidentes en el neocórtex, el giro dentado y el CA3, pero se observó una disminución significativa de la actividad en la corteza piriforme y entorinal. Durante este tiempo, la reactividad glial aumentó con cada convulsión en las regiones cerebrales irradiadas y tratadas con picrotoxina. Nuestros resultados revelan que los marcadores c-fos y gliales fueron desencadenados por el estrés combinado de la irradiación no térmica y el efecto tóxico de la picrotoxina en los tejidos cerebrales.

(E) Çeliker M, Özgür A, Tümkaya L, Terzi S, Yılmaz M, Kalkan Y, Erdoğan E. Efectos de la exposición a un campo electromagnético de radiofrecuencia de 2100 MHz similar al GSM en el sistema auditivo de ratas. *Braz J Otorhinolaryngol*. 5 de noviembre de 2016. pii: S1808-8694(16)30222-1. doi: 10.1016/j.bjorl.2016.10.004.

[Epub antes de impresión] (AS, CE, CC, EE)

INTRODUCCIÓN: El uso de teléfonos móviles se ha generalizado en los últimos años. Aunque son beneficiosos desde el punto de vista de la comunicación, los campos electromagnéticos (CEM) generados por los teléfonos móviles pueden provocar cambios biológicos no deseados en el cuerpo humano. OBJETIVO: En este estudio, nos propusimos evaluar los efectos del campo electromagnético (CEM) de 2100 MHz del Sistema Global de Comunicaciones Móviles (GSM), generado por un generador de CEM, en el sistema auditivo de ratas mediante el uso de métodos electrofisiológicos, histopatológicos e inmunohistoquímicos.

MÉTODOS: Se incluyeron en el estudio catorce ratas albinas Wistar adultas. Las ratas se dividieron aleatoriamente en dos grupos de siete ratas cada uno. El grupo de estudio estuvo expuesto de forma continua durante 30 días a un campo electromagnético de 2100 MHz con un nivel de señal (potencia) de 5,4 dBm (3,47 mW) para simular el modo de conversación de un teléfono móvil. El grupo de control no estuvo expuesto al campo electromagnético antes mencionado.

Después de 30 días, se registraron las Respuestas Auditivas del Tronco Encéfalo (ABRs) de ambos grupos y las ratas fueron sacrificadas. Los núcleos cocleares fueron evaluados por métodos histopatológicos e inmunohistoquímicos. RESULTADOS: Los registros de ABR de los dos grupos no difirieron significativamente. El análisis histopatológico mostró un aumento de los signos de degeneración en el grupo de estudio ($p = 0,007$). Además, el análisis inmunohistoquímico reveló un aumento del índice apoptótico en el grupo de estudio en comparación con el grupo de control ($p = 0,002$). CONCLUSIÓN: Los resultados respaldan que la exposición a largo plazo a un CEM de 2100 MHz similar al GSM provoca un aumento de la degeneración neuronal y la apoptosis en el sistema auditivo.

(E) Cetin H, Naziroğlu M, Celik O, Yüksel M, Pastacı N, Ozkaya MO. Las reservas de antioxidantes del hígado protegen al cerebro del estrés oxidativo inducido por la radiación electromagnética (900 y 1800 MHz) en ratas durante el embarazo y el desarrollo de la descendencia. J Matern Fetal Neonatal Med. 3 de marzo de 2014. [Publicado electrónicamente antes de la impresión] (AS, CE, CH, OX, DE)

Objetivos: El presente estudio determinó los efectos de la telefonía móvil (900 y 1800 MHz) Exposición a radiación electromagnética inducida (REM) sobre el estrés oxidativo en el cerebro y el hígado, así como los niveles de elementos en ratas en crecimiento desde el embarazo hasta las 6 semanas de edad. Métodos: Treinta y dos ratas y sus crías se dividieron equitativamente en 3 grupos diferentes: el grupo de control, 900 MHz y 1800 MHz. Los grupos de 900 MHz y 1800 MHz fueron expuestos a REM durante 60 min/día durante el embarazo y el desarrollo neonatal. En la 4^a, 5^a y 6^a semanas del experimento, se obtuvieron muestras de cerebro. Resultados: Las actividades de glutatión peroxidasa (GSH-Px) en el cerebro y el hígado, así como las concentraciones de vitamina A y β -caroteno en el hígado disminuyeron en los grupos de REM, aunque las concentraciones de hierro, vitamina A y β -caroteno en el cerebro aumentaron en los grupos de REM. En la 6^a semana, las concentraciones de selenio en el cerebro disminuyeron en los grupos de REM. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de glutatión, vitamina E, cromo, cobre, magnesio, manganeso y zinc entre los 3 grupos. Conclusión: el estrés oxidativo inducido por REM en el cerebro y el hígado se redujo durante el desarrollo de las crías. El REM inducido por el teléfono móvil podría considerarse una causa de daño oxidativo cerebral y hepático en ratas en crecimiento.

(E) Chen C, Ma Q, Liu C, Deng P, Zhu G, Zhang L, He M, Lu Y, Duan W, Pei L, Li M, Yu Z, Zhou Z. La exposición a la radiación de radiofrecuencia de 1800 MHz altera el crecimiento de las neuritas en las células madre neuronales embrionarias. Sci Rep. 29 de mayo de 2014;4:5103. doi: 10.1038/srep05103. (CS, ME, DE)

Un campo electromagnético de radiofrecuencia (RF-EMF) de 1800 MHz se utiliza ampliamente en las comunicaciones móviles. Sin embargo, los efectos de los RF-EMF en la biología celular no están claros. Las células madre neuronales embrionarias (eNSC) desempeñan un papel fundamental en el desarrollo del cerebro. Por lo tanto, detectar los efectos de los RF-EMF en las eNSC es importante para explorar los efectos de los RF-EMF en el desarrollo del cerebro. Aquí, expusimos eNSC a RF-EMF de 1800 MHz a valores de tasa de absorción específica (SAR) de 1, 2 y 4 W/kg durante 1, 2 y 3 días. Descubrimos que la exposición a RF-EMF de 1800 MHz no influyó en la apoptosis, la proliferación, el ciclo celular o las expresiones de ARNm de genes relacionados de las eNSC. La exposición a RF-EMF tampoco alteró la proporción de neuronas diferenciadas y astrocitos de eNSC. Sin embargo, el crecimiento de las neuronas diferenciadas de eNSC se inhibió después de una exposición a 4 W/kg de RF-EMF durante 3

días. Además, la expresión de ARNm y proteína de los genes proneurales Ngn1 y NeuroD, que son cruciales para el crecimiento de las neuritas, se redujo después de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia. La expresión de su inhibidor Hes1 se reguló positivamente por la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Estos resultados en conjunto sugirieron que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia de 1800 MHz afecta el crecimiento de las neuritas de las células madre neurales. Se debe prestar más atención a los posibles efectos adversos de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia en el desarrollo cerebral.

(E) Chen C, Ma Q, Deng P, Lin M, Gao P, HeM, Lu Y, Pi H, HeZ, Zhou C, Zhang Y, YuZ, ZhangL El campo electromagnético de radiofrecuencia de 1800 MHz altera el crecimiento de las neuritas al inhibir la señalización de EPHA5. *Front Cell Dev Biol* 2021 9:657623. (CS, DE, CC, ME)

La creciente intensidad de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) ambientales ha aumentado la preocupación pública sobre sus efectos en la salud. De particular preocupación son las influencias de la exposición a RF-EMF en el desarrollo del cerebro. Los mecanismos de cómo RF-EMF actúa sobre el cerebro en desarrollo no se entienden completamente. Aquí, con base en técnicas de secuenciación de ARN de alto rendimiento, revelamos que las transcripciones relacionadas con el desarrollo de neuritas fueron influenciadas significativamente por la exposición a RF-EMF de 1800 MHz durante la diferenciación neuronal. La exposición a RF-EMF disminuyó notablemente la longitud total de neurita y el número de puntos de ramificación en neuronas derivadas de células madre neurales y células Neuro-2A inducidas por ácido retinoico. La expresión de receptores Eph 5 (EPHA5), que es necesaria para el crecimiento de neuritas, se inhibió notablemente después de la exposición a RF-EMF. La mejora de la señalización de EPHA5 rescató los efectos inhibidores de RF-EMF en el crecimiento de neuritas. Además, identificamos que la proteína de unión al elemento de respuesta al AMPc (CREB) y RhoA eran factores críticos posteriores a la señalización de EPHA5 en la mediación de los efectos inhibidores de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en el crecimiento de las neuritas. En conjunto, nuestro hallazgo reveló que la exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia afectó el crecimiento de las neuritas a través de la señalización de EPHA5. Este hallazgo exploró los efectos y los mecanismos clave de cómo la exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia afectó el crecimiento de las neuritas y también proporcionó una nueva pista para comprender las influencias de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en el desarrollo cerebral.

(E) Choi YJ, Choi YS. Efectos de la radiación electromagnética de los teléfonos inteligentes en la capacidad de aprendizaje y la proliferación de células progenitoras del hipocampo en ratones. *Osong Public Health and Research Perspectives*. 7(1):12-17, 2016. (AS, CE, CC, BE)

Objetivos Los dispositivos electrónicos, como los teléfonos inteligentes, emiten radiación no ionizante. En este estudio, nos propusimos dilucidar el efecto de la radiación electromagnética de los teléfonos inteligentes sobre la memoria de trabajo espacial y la proliferación de células progenitoras en el hipocampo. Métodos Se separaron aleatoriamente ratones machos y hembras en dos grupos (radiados y de control) y el grupo irradiado estuvo expuesto a radiación electromagnética durante 9 y 11 semanas para los ratones machos y hembras, respectivamente. Se examinó la memoria de trabajo espacial con un laberinto en Y, y se examinó la proliferación de células progenitoras del hipocampo mediante la administración de 5-bromo-2'-desoxiuridina y la detección inmunohistoquímica. Resultados Cuando se examinó la memoria de trabajo espacial en un laberinto en Y en la novena semana, no hubo diferencias significativas en la puntuación de alternancia espontánea en el laberinto en Y entre los dos grupos. Además, no hubo diferencias significativas en la proliferación de células progenitoras del hipocampo. Sin embargo, la inmunorreactividad a las células gliales

La proteína ácida fibrilar aumentó en los animales expuestos. A continuación, para probar el efecto de la recuperación después de la exposición crónica a la radiación, los ratones hembra restantes fueron expuestos a la radiación electromagnética durante 2 semanas más (11 semanas en total) y se probó la alternancia espontánea 4 semanas después. En este experimento, aunque no hubo una diferencia significativa en las puntuaciones de alternancia espontánea, el número de entradas en los brazos aumentó significativamente.

Conclusión Estos datos indican que, aunque la radiación electromagnética crónica no afecta la memoria de trabajo espacial ni la proliferación de células progenitoras del hipocampo, puede mediar la activación de los astrocitos en el hipocampo y retrasar el comportamiento similar a la hiperactividad.

(NE) Cinel C, Boldini A, Russo R, Fox E. Efectos de los campos electromagnéticos de los teléfonos móviles en una tarea de umbral de orden auditivo. Bioelectromagnetism. 28(6):493-496, 2007. (HU, BE)

Se investigó el efecto de la exposición aguda a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF EMF) generados por teléfonos móviles en una tarea de umbral auditivo. 168 participantes realizaron la tarea mientras estaban expuestos a RF EMF en una sesión de prueba (ya sea sistema global para comunicación móvil (GSM) o señales no moduladas) mientras que en una sesión separada los participantes fueron expuestos a señales simuladas. Los efectos de lateralización se probaron exponiendo a los participantes ya sea en el lado izquierdo o en el lado derecho de la cabeza. No se detectó ningún efecto significativo de la exposición a RF EMF, lo que sugiere que la exposición aguda a RF EMF no afecta el desempeño en la tarea de umbral de orden.

(NE) Cinel C, Russo R, Boldini A, Fox E. Exposición a campos electromagnéticos de teléfonos móviles y síntomas subjetivos: un estudio doble ciego. Psychosom Med. 70(3):345-348, 2008. (HU, BE)

OBJETIVOS: El objetivo de este estudio fue examinar si la exposición aguda a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (REF) emitidos por el teléfono móvil puede afectar a los síntomas subjetivos. MÉTODOS: Tres grandes grupos de voluntarios (496 en total) fueron expuestos a REF emitidos por teléfonos móviles en una sesión y señales simuladas en una sesión diferente. Las sesiones de exposición a REF y simuladas fueron contrabalanceadas y doble ciego. Los participantes fueron expuestos a señales del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) o no moduladas, y el teléfono móvil se colocó en el lado izquierdo o derecho de la cabeza. Antes y después de la exposición a REF y simulada, los participantes completaron un cuestionario para calificar cinco síntomas. Cualquier cambio en la gravedad de los síntomas después de la exposición a REF se comparó con los cambios después de la exposición simulada. RESULTADOS: Para un grupo de participantes (N = 160), se encontró que el mareo se vio afectado por la exposición a GSM, pero esto no se encontró de manera consistente con los otros dos grupos de participantes. No se encontraron otros efectos significativos. CONCLUSIONES: No encontramos evidencia consistente que sugiera que la exposición a los REF de los teléfonos móviles afecte los síntomas subjetivos. Aunque reconocemos que se necesita más investigación, creemos que nuestros resultados brindan una importante contribución a la investigación sobre el uso de teléfonos móviles y los síntomas subjetivos.

(NE) Court-Kowalski S, Finnie JW, Manavis J, Blumbergs PC, Helps SC, Vink R. Efecto de la exposición prolongada (2 años) de cerebros de ratones a un sistema global de comunicación móvil

Campos de radiofrecuencia (GSM) sobre la inmunorreactividad astrocítica. Bioelectromagnetismo. 20 de febrero de 2015. doi: 10.1002/bem.21891. [Publicación electrónica antes de la impresión] (AS, CE, CC)

Este estudio fue diseñado para determinar si la exposición cerebral a largo plazo (2 años) a los campos de radiofrecuencia (RF) de los teléfonos móviles produce alguna activación astrocítica, ya que estas células gliales reaccionan a una amplia gama de perturbaciones neuronales por astrogliosis. Utilizando un sistema de exposición diseñado específicamente a 900 MHz, se administró a los ratones una única exposición corporal total de campo lejano a una tasa de absorción específica de 4 W/kg durante cinco días sucesivos por semana durante 104 semanas. Los ratones de control fueron expuestos de forma simulada o se movieron libremente en una jaula para controlar cualquier estrés causado por la inmovilización en el módulo de exposición. Los cerebros se fijaron por perfusión con paraformaldehído al 4% y se inmunotñieron tres niveles coronales para la proteína ácida fibrilar glial (GFAP). A continuación, se examinaron estos cortes cerebrales con microscopio óptico y se cuantificó la cantidad de este inmunomarcador utilizando un método de deconvolución de color. No hubo cambios en la inmunotinción astrocítica de GFAP en los cerebros después de la exposición prolongada a microondas de telefonía móvil en comparación con el control (ratones expuestos simuladamente o enjaulados en movimiento libre). Se concluyó que la exposición prolongada (2 años) de cerebros murinos a campos de RF de telefonía móvil no produjo ninguna reacción astrocítica (astrogliosis) detectable mediante inmunotinción de GFAP.

(E) Croft RJ, Hamblin DL, Spong J, Wood AW, McKenzie RJ, Stough C. El efecto de los campos electromagnéticos de los teléfonos móviles en el ritmo alfa del electroencefalograma humano. Bioelectromagnetismo. 29(1):1-10, 2008. (HU, EE)

Los teléfonos móviles (MP) emiten campos electromagnéticos de bajo nivel que, según se ha informado, afectan la función neuronal en los seres humanos; sin embargo, las demostraciones de tales efectos no han sido concluyentes. El objetivo del presente estudio fue poner a prueba uno de los hallazgos más sólidos de la literatura: el aumento de la potencia "alfa" en respuesta a la radiación de tipo MP. Se evaluó a participantes sanos (N = 120) utilizando un diseño cruzado de doble ciego contrabalanceado, en el que cada uno recibió una dosis de 30 mg de min Exposición activa y una exposición simulada de 30 min con 1 semana de diferencia, mientras se registraban los datos del electroencefalograma (EEG). Luego se derivó la potencia alfa en reposo (8-12 Hz) como una función del tiempo, para los períodos tanto durante como después de la exposición. Se emplearon análisis no paramétricos ya que los datos no se pudieron normalizar. Se confirmaron informes previos de una mejora general de la potencia alfa durante la exposición a MP (en relación con la exposición simulada), con este efecto mayor en los sitios ipsilaterales que en los contralaterales sobre las regiones posteriores. No se observó ningún cambio general en la potencia alfa después del cese de la exposición; sin embargo, hubo menos potencia alfa contralateral a la fuente de exposición durante este período (en relación con ipsilateral). Empleando una metodología sólida, los hallazgos actuales respaldan la investigación previa que ha informado un efecto de la exposición a MP en la potencia alfa del EEG.

(E) Croft RJ, Leung S, McKenzie RJ, Loughran SP, Iskra S, Hamblin DL, Cooper NR. Efectos de los teléfonos móviles 2G y 3G en los ritmos alfa humanos: EEG en reposo en adolescentes, adultos jóvenes y ancianos. Bioelectromagnetismo. 31(6):434-444, 2010. (HU, EE, AD, WS)

El presente estudio se realizó para determinar si los adolescentes y/o los ancianos son más sensibles a los efectos biológicos relacionados con los teléfonos móviles (MP) que los adultos jóvenes, y para determinar esto tanto para la exposición a GSM de segunda generación (2G) como a W-CDMA de tercera generación (3G).

En este estudio se evaluó la actividad alfa en reposo (banda de 8-12 Hz del electroencefalograma), ya que numerosos estudios han informado que la exposición a MP la mejora. Se evaluó a cuarenta y un jóvenes de entre 13 y 15 años, cuarenta y dos de entre 19 y 40 años y veinte de entre 55 y 70 años utilizando un diseño cruzado doble ciego, en el que cada participante recibió exposiciones simuladas, 2G y 3G, separadas por al menos 4 días. Se registró la actividad alfa, durante la exposición en relación con la línea base, y se comparó entre las condiciones. En consonancia con investigaciones anteriores, el alfa de los adultos jóvenes fue mayor en la condición 2G en comparación con la condición simulada; sin embargo, no se observó ningún efecto en los grupos de adolescentes o de ancianos, y no se encontró ningún efecto de las exposiciones a 3G en ningún grupo. Los resultados brindan más apoyo a un efecto de las exposiciones a 2G sobre la actividad alfa en reposo en adultos jóvenes, pero no respaldan una mejora similar en adolescentes o ancianos, o en cualquier grupo de edad en función de la exposición a 3G.

(NE) Curcio G, Valentini E, Moroni F, Ferrara M, De Gennaro L, Bertini M. El rendimiento psicomotor no se ve afectado por exposiciones breves y repetidas a teléfonos móviles.

Bioelectromagnetismo. 29(3):237-241, 2008. (HU, BE)

El presente estudio investigó la presencia de un efecto acumulativo de exposiciones breves y repetidas a un teléfono móvil GSM (902,40 MHz, modulación de 217 Hz; potencia máxima de 2 W; potencia media de 0,25 W; SAR = 0,5 W/kg) sobre las funciones psicomotoras. Con este fin, después de cada una de las 3 exposiciones de 15 minutos, se administró tanto una tarea de tiempo de reacción simple acústica (SRTT) como una tarea de golpeteo secuencial de dedos (SFTT) a 24 sujetos. El presente estudio no pudo detectar los efectos acumulativos de la exposición breve y repetida a campos electromagnéticos sobre el rendimiento psicomotor humano, aunque hubo una tendencia no estadística a tiempos de reacción más cortos. En resumen, estos datos muestran una ausencia de efectos con estas condiciones de exposición particulares; sin embargo, no se pueden excluir posibles efectos cognitivos inducidos por diferentes características de la señal.

(E) Curcio G, Ferrara M, Limongi T, Tempesta D, Di Sante G, De Gennaro L, Quaresima V, Ferrari M. La exposición aguda a teléfonos móviles afecta la hemodinámica de la corteza frontal, como se evidencia mediante espectroscopia funcional cercana al infrarrojo. J Cereb Blood Flow Metab. 29(5):903-910, 2009.

(Humana, Filipinas)

Este estudio tuvo como objetivo evaluar mediante espectroscopia funcional de infrarrojo cercano (fNIRS), los efectos inducidos por una exposición aguda (40 min) a una señal GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles) emitida por un teléfono móvil (MP) en la oxigenación de la corteza frontal. Once voluntarios sanos se sometieron a dos sesiones (exposición real y simulada) después de un paradigma cruzado, aleatorizado y doble ciego. Todo el procedimiento duró 60 min: 10 min de referencia (Bsl), 40 min (exposición) y 10 min de recuperación (post-exp). Junto con la hemodinámica frontal, también se evaluaron la frecuencia cardíaca, la vigilancia objetiva y subjetiva y la autoevaluación de los síntomas subjetivos. Los resultados de fNIRS mostraron una ligera influencia de la señal GSM en la corteza frontal, con un aumento lineal de [HHb] en función del tiempo en la condición de exposición real ($F(4,40)=2,67$; $P=0,04$). Ninguna otra medida mostró cambios dependientes de la exposición a GSM. Estos resultados sugieren que fNIRS es una herramienta conveniente para investigar de forma segura y no invasiva la activación cortical en entornos experimentales de exposición a MP. Dados los efectos a corto plazo observados en este

estudio, los resultados deberían confirmarse en un tamaño de muestra mayor y utilizando un instrumento multicanal que permita la investigación de una porción más amplia de la corteza frontal.

(NE) Curcio G, Nardo D, Perrucci MG, Pasqualetti P, Chen TL, Del Gratta C, Romani GL, Rossini PM. Efectos de las señales de los teléfonos móviles sobre la respuesta BOLD mientras se realiza una tarea cognitiva.

Clin Neurophysiol. 123(1):129-136, 2012. (HU, BE, PE)

OBJETIVO: El objetivo de este estudio fue investigar los efectos inducidos por una exposición a una señal GSM (Sistema Global para la Comunicación Móvil) en la respuesta BOLD (dependiente del nivel de oxígeno en sangre) del cerebro, así como su evolución temporal mientras se realizaba una tarea Go-NoGo. MÉTODOS: Los participantes fueron evaluados dos veces, una en presencia de una exposición "real" a una señal de radiofrecuencia GSM y otra bajo una exposición "simulada" (condición placebo). La respuesta BOLD de las áreas cerebrales activas y los tiempos de reacción (TR) mientras se realizaba la tarea se midieron tanto antes como después de la exposición. RESULTADOS: Los TR a la tarea somatosensorial no cambiaron en función de la exposición (real vs. simulada) a la señal GSM. Los resultados BOLD revelaron activaciones significativas en el lóbulo parietal inferior, la ínsula, los giros precentral y poscentral asociados con las respuestas Go después de la exposición "real" y "simulada", mientras que no se observaron efectos significativos en el análisis ROI.

CONCLUSIONES: El presente estudio de fMRI no detectó cambios en la actividad cerebral por el uso de teléfonos móviles.

Además, los tiempos de reacción en una tarea somatosensorial no se vieron afectados. SIGNIFICADO: No se observaron cambios en la respuesta BOLD como consecuencia de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia.

(NE) Curcio G, Mazzucchi E, Marca GD, Vollono C, Rossini PM. Campos electromagnéticos y tasa de picos de EEG en pacientes con epilepsia focal. Clínica Neurofisiol. 11 de agosto de 2014. pii: S1388-2457(14)00404-0. doi: 10.1016/j.clinph.2014.07.013. [Publicación electrónica antes de la impresión] (HU, EE)

OBJETIVO: A pesar del aumento en el uso de la tecnología de telefonía móvil y sus posibles efectos sobre la excitabilidad cerebral, ningún estudio ha investigado el impacto de la señal tipo GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles) en la actividad de picos en curso en pacientes epilépticos humanos.

MÉTODOS: Se ha registrado la actividad eléctrica cerebral (electroencefalograma, EEG) de 12 pacientes con epilepsia focal bajo exposición real y simulada siguiendo un diseño doble ciego, cruzado y contrabalanceado: antes de la exposición (sesión de preexposición/línea base), durante la exposición real o simulada de 45 minutos (sesión durante la exposición) y después de la exposición (sesión posterior a la exposición). Se han considerado como variables dependientes tanto la actividad de picos (recuento de picos) como los índices cuantitativos del EEG (datos de potencia espectral y coherencia). RESULTADOS: La actividad de picos tendió a ser menor bajo exposición real que bajo exposición simulada. El análisis del contenido espectral del EEG indicó un aumento significativo de la banda Gamma bajo exposición real, principalmente evidente en las áreas Parieto-occipital y Temporal. Los datos de conectividad indicaron un aumento de la coherencia instantánea interhemisférica (Regiones de Interés, ROI) temporal izquierda a frontal derecha, en la banda de frecuencia Beta durante la exposición con respecto a la sesión de línea base. No se observó ninguna modificación significativa de la coherencia retardada. CONCLUSIONES: La exposición aguda a GSM en pacientes epilépticos influye ligeramente en sus propiedades EEG, sin alcanzar relevancia clínica. SIGNIFICADO: No se encontraron signos de un mayor riesgo de convulsiones entrantes en estos pacientes como consecuencia del uso de teléfonos móviles.

(E) Dalecki A, Verrender A, Loughran SP, Croft RJ. El efecto de la exposición al campo electromagnético GSM en el electroencefalograma en vigilia: influencias metodológicas.

Bioelectromagnetismo 42:317-328, 2021. (HU, EE)

Aunque existe evidencia consistente de que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) aumenta la potencia espectral alfa espontánea en reposo del electroencefalograma (EEG), la confiabilidad de esta evidencia es incierta ya que algunos estudios tampoco han podido observar este efecto. El presente estudio tuvo como objetivo determinar si el efecto de la exposición a RF-EMF en la potencia alfa del EEG depende de si el EEG se deriva de condiciones de ojos abiertos o cerrados y se evalúa antes (<5 min) versus más tarde (>25 min) en el intervalo de exposición. Treinta y seis adultos participaron en tres sesiones experimentales, cada una con una exposición: RF-EMF "simulada", "baja" y "alta" correspondientes a tasas de absorción espacial específica máxima promediadas sobre 10 g de 0, 1 y 2 W/kg, respectivamente. El EEG en reposo se registró al inicio (sin exposición), durante y después de la exposición. Se encontró que el aumento de la potencia alfa era mayor para el EEG con ojos abiertos que con ojos cerrados durante las exposiciones a RF-EMF altas ($P = 0,04$) y bajas ($P = 0,04$). También se observó una tendencia a que la exposición fuera mayor al final, en comparación con el inicio de la exposición "alta" de 30 minutos ($P < 0,01$; condición con los ojos abiertos). Esto sugiere que el uso de condiciones con los ojos cerrados y duraciones insuficientes de exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia son explicaciones probables de la falla de algunos estudios para detectar un aumento de la potencia alfa relacionado con la exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia, ya que tales opciones metodológicas disminuyen las relaciones señal-ruido y aumentan el error de tipo II.

(E) Daniels WM, Pitout IL, Afullo TJ, Mabandla MV. El efecto de la radiación electromagnética en el rango de alcance del teléfono móvil sobre el comportamiento de la rata. Metab Brain Dis. 24(4):629-641, 2009.

(COMO, YO, SER)

La radiación electromagnética (REM) se emite desde campos electromagnéticos que rodean líneas eléctricas, electrodomésticos y teléfonos móviles. Las investigaciones han demostrado que existen conexiones entre la exposición a la REM y el cáncer, y también que la exposición a la REM puede provocar daños estructurales en las neuronas. En un estudio realizado por Salford et al. (Environ Health Perspect 111:881-883, 2003), los autores demostraron la presencia de áreas fuertemente teñidas en los cerebros de ratas expuestas a la REM de teléfonos móviles. Estas neuronas más oscuras prevalecían especialmente en el área del hipocampo del cerebro. El objetivo de nuestro estudio fue investigar más a fondo los efectos de la REM. Dado que el hipocampo está involucrado en el aprendizaje, la memoria y los estados emocionales, planteamos la hipótesis de que la REM tendrá un impacto negativo en el estado de ánimo y la capacidad de aprendizaje del sujeto.

Posteriormente, realizamos pruebas conductuales, histológicas y bioquímicas en ratas macho y hembra expuestas y no expuestas para determinar los efectos de la REM sobre el aprendizaje y la memoria, los estados emocionales y los niveles de corticosterona. No encontramos diferencias significativas en la prueba de memoria espacial, y la evaluación morfológica del cerebro también arrojó diferencias no significativas entre los grupos. Sin embargo, en algunos animales expuestos hubo una disminución de la actividad locomotora, un aumento del acicalamiento y una tendencia al aumento de los niveles basales de corticosterona.

Estos hallazgos sugieren que la exposición a campos electromagnéticos puede provocar un funcionamiento anormal del cerebro.

*(NE) Danker-Hopfe H, Dorn H, Bornkessel C, Sauter C. ¿Las estaciones base de telefonía móvil afectan al sueño de los residentes? Resultados de un estudio de campo experimental, doble ciego y controlado con placebo. Am J Hum Biol. 22(5):613-618, 2010. (HU, BE, LI, SL) (*Los efectos observados probablemente no sean causados por la exposición a RFR).

OBJETIVOS: El objetivo del presente estudio cruzado, aleatorizado, equilibrado, doble ciego y controlado con placebo fue desentrañar los efectos de los campos electromagnéticos (CEM) y los efectos no CEM de las estaciones base de telefonía móvil sobre la calidad objetiva y subjetiva del sueño. MÉTODOS: En total, 397 residentes de entre 18 y 81 años (50,9 % mujeres) de 10 sitios alemanes, donde no se disponía de telefonía móvil. El servicio estaba disponible, se vieron expuestos a una farsa y a GSM (Sistema Global para Móviles). Comunicaciones, señales de estaciones base de 900 MHz y 1.800 MHz) por una estación base experimental mientras se monitoreaba su sueño en sus hogares durante 12 noches. Los participantes fueron expuestos aleatoriamente a exposición real (GSM) o simulada durante cinco noches cada uno. Medición individual de exposición a campos electromagnéticos, cuestionarios sobre trastornos del sueño, calidad general del sueño, actitud hacia los teléfonos móviles comunicación y sobre la calidad subjetiva del sueño (protocolos matutinos y vespertinos), así como datos objetivos del sueño (registros de EEG y EOG frontales). RESULTADOS: El análisis de los datos subjetivos y objetivos del sueño no reveló diferencias significativas entre la condición real y la simulada. Durante las noches de exposición simulada, la eficiencia objetiva y subjetiva del sueño, el despertar después del inicio del sueño y la latencia subjetiva del sueño fueron significativamente peores en los participantes con preocupaciones sobre posibles riesgos para la salud resultantes de las estaciones base que en los participantes que no estaban preocupados. CONCLUSIONES: El estudio no proporcionó ninguna evidencia de efectos fisiológicos a corto plazo de los CEM emitidos por estaciones base de telefonía móvil sobre la calidad objetiva y subjetiva del sueño. Sin embargo, los resultados indican que las estaciones base de telefonía móvil como tales (no los campos electromagnéticos) pueden tener un impacto negativo significativo en la calidad del sueño.

(NE) Danker-Hopfe H, Dorn H, Bahr A, Anderer P, Sauter C. Efectos de los campos electromagnéticos emitidos por los teléfonos móviles (GSM 900 y WCDMA/UMTS) en la macroestructura del sueño. J Sleep Res. 20(1 Pt 1):73-81, 2011. (HU, BE, SL)

En el presente estudio cruzado, doble ciego, aleatorizado y controlado con placebo, se investigaron los posibles efectos de los campos electromagnéticos emitidos por los teléfonos celulares GSM 900 y WCDMA/UMTS sobre la macroestructura del sueño en un entorno de laboratorio. Una noche de adaptación, que sirvió como noche de detección de trastornos del sueño y como noche de ajuste al entorno de laboratorio, fue seguida por 9 noches de estudio (separadas por un intervalo de 2 semanas) en las que los sujetos fueron expuestos a tres condiciones de exposición (simulación, GSM 900 y WCDMA/UMTS). La muestra comprendió 30 sujetos varones sanos dentro del rango de edad de 18 a 30 años (media \pm desviación estándar: 25,3 \pm 2,6 años). Se simuló el uso de un teléfono celular a la máxima potencia de salida de radiofrecuencia (RF) y se ajustó la potencia transmitida para acercarse, pero sin superar, los límites de la tasa de absorción específica (SAR) de las directrices de la Comisión Internacional de Protección contra Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) para la exposición del público en general (SAR(10g) = 2,0 W kg(-1)). En este estudio, se analizaron los posibles efectos de la exposición continua a RF a largo plazo (8 h) en el sistema nervioso central durante el sueño, porque el sueño es un estado en el que intervienen muchos factores intrínsecos y extrínsecos (por ejemplo, motivación,

Se eliminan o controlan los efectos de la personalidad y la actitud. Trece de las 177 variables que caracterizan el inicio y el mantenimiento del sueño en el GSM 900 y tres en la condición de exposición al WCDMA diferían de la condición simulada. Los pocos resultados significativos no son indicativos de un impacto negativo en la arquitectura del sueño. A partir de los resultados actuales, no hay evidencia de un efecto perturbador del sueño de la exposición al GSM 900 y al WCDMA.

(E) Danker-Hopfe H, Dorn H, Bolz T, Peter A, Hansen ML, Eggert T, Sauter C. Efectos de la exposición a teléfonos móviles (GSM 900 y WCDMA/UMTS) en la calidad del sueño basada en polisomnografía: una perspectiva intra e interindividual. Environ Res. 145:50-60, 2015. (HU, SL)

ANTECEDENTES: Los estudios sobre los efectos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) en la macroestructura del sueño hasta el momento han arrojado resultados inconsistentes. Este estudio investigó si los posibles efectos de la exposición a RF-EMF difieren entre individuos. OBJETIVO: En un estudio cruzado, doble ciego, aleatorizado y controlado con placebo, se analizaron los posibles efectos de los campos electromagnéticos emitidos por dispositivos pulsados GSM 900 y WCDMA/UMTS (Sistema universal de telecomunicaciones móviles) sobre el sueño. MÉTODOS: Treinta hombres jóvenes sanos (rango 18-30 años) fueron expuestos tres veces por condición de exposición mientras se registraba su sueño.

El sueño se evaluó de acuerdo con el estándar de la Academia Estadounidense de Medicina del Sueño y se consideraron ocho variables básicas del sueño. RESULTADOS: Los análisis de datos a nivel individual indican que los efectos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia se observan en el 90 % de los individuos y que todas las variables del sueño se ven afectadas en al menos cuatro sujetos. Si bien el sueño de los participantes se vio afectado en diversas cantidades, combinaciones de variables del sueño y en diferentes direcciones, mostrando mejoras pero también deterioros, el único hallazgo consistente fue un aumento del sueño de etapa R bajo la exposición a GSM 900 MHz (9 de 30 sujetos) así como bajo la exposición a WCDMA/UMTS (10 de 30 sujetos).

CONCLUSIONES: Los resultados subrayan que el sueño de las personas puede verse afectado de forma diferente. Las observaciones encontradas aquí pueden indicar un mecanismo térmico subyacente de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en el sueño REM humano. Sin embargo, el efecto de un aumento del sueño en la fase R en un tercio de las personas no indica necesariamente una alteración del sueño.

(E) Dasdag S, Akdag MZ, Ulukaya E, Uzunlar AK, Ocak AR. Efecto de la exposición a teléfonos móviles sobre las células gliales apoptóticas y el estado de estrés oxidativo en el cerebro de ratas. Electromagn Biol Med. 28(4):342-354, 2009. (AS, CE, CC, OX)

El objetivo de este estudio fue investigar los efectos de la exposición a teléfonos móviles en las células gliales del cerebro. El estudio se llevó a cabo en 31 ratas macho adultas Wistar Albino. Las cabezas de las ratas en un carrusel expuestas a microondas de 900 MHz. Para el grupo de estudio (n: 14), las ratas estuvieron expuestas a la radiación 2 h por día (7 días a la semana) durante 10 meses. Para el grupo de simulación (n: 7), las ratas se colocaron en el carrusel y se aplicó el mismo procedimiento excepto que se apagó el generador. Para el grupo de control de la jaula (n: 10), no se aplicó nada a las ratas de este grupo. En este estudio, las ratas fueron sacrificadas después de 10 meses de períodos de exposición y se les extrajo el cerebro. Los tejidos cerebrales fueron

Se tiñeron inmunohistoquímicamente para la caspasa-3 activa (escindida), que es un marcador de apoptosis bien conocido, y p53. La expresión de las proteínas se evaluó mediante un sistema de puntuación semicuantitativo. Sin embargo, se midieron la capacidad antioxidante total (CAT), la catalasa, el estado oxidante total (TOS) y el índice de estrés oxidativo en el cerebro de la rata. La puntuación final de apoptosis en el grupo expuesto fue significativamente menor que en el grupo simulado ($p < 0,001$) y en los grupos de control de la jaula ($p < 0,01$). p53 no cambió significativamente con la exposición ($p > 0,05$). La capacidad antioxidante total y la catalasa en el grupo experimental fueron mayores que en el grupo simulado ($p < 0,001$, $p < 0,05$). En términos del TOS y el índice de estrés oxidativo, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de exposición y simulado ($p > 0,05$). En conclusión, la puntuación final de apoptosis, capacidad antioxidante total y catalasa en el cerebro de rata podría verse alterada por la radiación de 900 MHz producida por un generador para representar la exposición a los sistemas globales de teléfonos celulares de comunicación móvil (GSM).

(E) Dasdag S, Akdag MZ, Kizil G, Kizil M, Cakir DU, Yokus B. Efecto de la radiación de radiofrecuencia de 900 MHz sobre la proteína beta amiloide, la proteína carbonilo y el malondialdehído en el cerebro. Electromagn Biol Med. 31(1):67-74, 2012. (AS, CE, CH, OX)

Recientemente se han realizado muchos estudios en relación con la radiación de radiofrecuencia (RF) de 900 MHz emitida desde un teléfono móvil en el cerebro. Sin embargo, hay pocos datos sobre los posibles mecanismos entre la exposición prolongada a la radiación de RF y las biomoléculas en el cerebro. Por lo tanto, nuestro objetivo fue investigar los efectos a largo plazo de la radiación de radiofrecuencia de 900 MHz sobre la proteína beta amiloide, el carbonilo proteico y el malondialdehído en el cerebro de ratas. El estudio se llevó a cabo en 17 ratas macho adultas Wistar Albino. Las cabezas de las ratas en un carrusel fueron expuestas a la radiación de radiofrecuencia de 900 MHz emitida por un generador, simulando teléfonos móviles. Para el grupo de estudio ($n: 10$), las ratas fueron expuestas a la radiación 2 h por día (7 días a la semana) durante 10 meses. Para el grupo simulado ($n: 7$), las ratas fueron colocadas en el carrusel y se aplicó el mismo procedimiento excepto que el generador fue apagado. En este estudio, las ratas fueron sacrificadas después de 10 meses de exposición y sus cerebros fueron removidos. Se encontró que los niveles de proteína beta amiloide, carbonilo proteico y malondialdehído eran más altos en el cerebro de las ratas expuestas a la radiación de radiofrecuencia de 900 MHz. Sin embargo, sólo el aumento del carbonilo proteico en el cerebro de ratas expuestas a una radiación de radiofrecuencia de 900 MHz resultó ser estadísticamente significativo ($p < 0,001$). En conclusión, la radiación de 900 MHz emitida por los teléfonos móviles/celulares puede ser un agente que altere algunas biomoléculas como las proteínas. Sin embargo, son necesarios más estudios.

(E) Dasdag S, Akdag MZ, Erdal ME, Erdal N, Ay OI, Ay ME, Yilmaz SG, Tasdelen B, Yegin K. El uso prolongado y excesivo de la radiación de radiofrecuencia de 900 MHz altera la expresión de microARN en el cerebro. Int J Radiat Biol. 91(4):306-311, 2015. (AS, CE, CH)

Objetivo: Aún no disponemos de información sobre la interacción entre la radiación de radiofrecuencia (RF) y los miRNA, que desempeñan un papel fundamental en el crecimiento, la diferenciación, la proliferación y la muerte celular al suprimir uno o más genes diana. El objetivo de este estudio es llenar este vacío investigando los efectos de la exposición prolongada a teléfonos móviles de 900 MHz en algunos de los miRNA del tejido cerebral. Materiales y métodos: El estudio se llevó a cabo en catorce ratones Wistar

Se dividieron ratas macho adultas albinas en dos grupos: grupo de tratamiento simulado (n: 7) y grupo de exposición (n: 7). Las ratas del grupo de exposición estuvieron expuestas a una radiación de RF de 900 MHz durante 3 h al día (7 días a la semana) durante doce meses (un año). Se aplicó el mismo procedimiento a las ratas del grupo de tratamiento simulado, excepto que se apagó el generador. Inmediatamente después de la última exposición, se sacrificó a las ratas y se les extrajo el cerebro. Se investigaron en detalle rno-miR-9-5p, rno-miR-29a-3p, rno-miR-106b-5p, rno-miR-107 y rno-miR-125a-3p en el cerebro. Resultados: Los resultados revelaron que la exposición prolongada a la radiación de RF de 900 MHz solo disminuyó el valor de rno-miR107 (adjP*= 0,045), mientras que el valor SAR de cuerpo entero (rms) fue de 0,0369 W/kg. Sin embargo, nuestros resultados indicaron que otros micro ARN evaluados en este estudio no se vieron alterados por la radiación de RF de 900 MHz. Conclusión: La radiación de RF de 900 MHz puede alterar algunos de los micro ARN, lo que, a su vez, puede provocar efectos adversos. Por lo tanto, se deberían realizar más estudios.

(E) Dasgupta S, Leong C, Simonich MT, Truong L, Liu H, Tanguay RL. transcriptómica y déficits conductuales a largo plazo asociados con la exposición a la radiación de radiofrecuencia de 3,5 GHz durante el desarrollo en el pez cebra. Environ Sci Technol Lett 2022 9(4):327-332. (AS, BE, DE)

El rápido despliegue del espectro de quinta generación (5G) por parte de la industria de las telecomunicaciones tiene como objetivo promover una mejor conectividad e integración de datos entre diversas industrias. Sin embargo, persisten las preocupaciones entre el público sobre los efectos de seguridad y salud de las radiaciones de radiofrecuencia (RFR) emitidas por las frecuencias de teléfonos celulares de nueva generación, en parte debido a la falta de datos científicos sólidos. Anteriormente, utilizamos peces cebra en desarrollo para modelar la bioactividad de la RFR de 3,5 GHz, una frecuencia utilizada por los teléfonos celulares habilitados para 5G, en una novedosa cámara de exposición a RFR. Con exposiciones a RFR desde las 6 h posteriores a la fertilización (hpf) hasta las 48 hpf, observamos que, a pesar de no tener efectos teratogénicos, los embriones mostraron una hipoactividad sutil en un ensayo de comportamiento de respuesta de sobresalto, lo que sugiere un comportamiento sensoriomotor anormal. Este estudio se basa en el anterior al investigar la base transcriptómica de los efectos del comportamiento asociados a la RFR y su persistencia en la edad adulta. Utilizando la secuenciación de ARNm, encontramos una disrupción transcriptómica modesta a las 48 hpf, con 28 genes expresados diferencialmente. El análisis de la vía KEGG mostró que las vías bioquímicas relacionadas con el metabolismo estaban significativamente perturbadas. Los embriones se cultivaron hasta la edad adulta y luego una serie de ensayos de comportamiento sugirieron respuestas anormales sutiles pero significativas en los peces expuestos a RFR en los diferentes ensayos evaluados, lo que sugiere posibles efectos conductuales a largo plazo. En general, nuestro estudio sugiere que se deben explorar más a fondo los impactos de los RFR en el cerebro en desarrollo, el comportamiento y el metaboloma.

(NE) de Gannes FP, Billaudel B, Taxile M, Haro E, Ruffié G, Lévêque P, Veyret B, Lagroye I. Efectos de la exposición de ratas a GSM-900 solo en la cabeza sobre la permeabilidad de la barrera hematoencefálica y la degeneración neuronal. Radiat Res. 172(3):359-367, 2009. (AS, CE, ME, CC)

Salford et al. informaron en 2003 que una única exposición de 2 horas a señales de telefonía móvil GSM-900 indujo daño cerebral (aumento de la permeabilidad de la barrera hematoencefálica y presencia de neuronas oscuras) 50 días después de la exposición. En nuestro estudio, 16 ratas Fischer 344 (14 semanas de edad) fueron expuestas solo por la cabeza a la señal GSM-900 durante 2 horas a diferentes SAR promediadas para el cerebro (0, 0,14 y 2,0 W/kg) o se utilizaron como jaulas o controles positivos. La pérdida de albúmina y la degeneración neuronal fueron

Se evaluaron 14 y 50 días después de la exposición. No se encontraron neuronas apoptóticas 14 días después de la última exposición utilizando el método TUNEL. No se observó pérdida de albúmina estadísticamente significativa. La degeneración neuronal, evaluada utilizando violeta de cresilo o el marcador más específico Fluoro-Jade B, no fue significativamente diferente entre los grupos evaluados. No se detectaron neuronas apoptóticas. Los hallazgos de nuestro estudio no confirmaron los resultados previos de Salford et al.

(E) de Tommaso M, Rossi P, Falsaperla R, Francesco Vde V, Santoro R, Federici A.

La exposición a los teléfonos móviles induce cambios de variación negativa contingente en los humanos. *Neurosci Lett.* 464(2):79-83, 2009. (HU, EE)

Los potenciales relacionados con eventos se han empleado ampliamente para probar los efectos de las emisiones GSM en el cerebro humano. El objetivo del presente estudio fue la evaluación de los cambios de variación negativa contingente inicial (iCNV), inducidos por la exposición a GSM de 900 MHz, en un diseño doble ciego en voluntarios sanos, sometidos a una condición experimental triple, EXPUESTO (A), un teléfono GSM real que emitía energía electromagnética, SIMULACIÓN (B), un teléfono real donde la energía electromagnética se disipaba en una carga interna y APAGADO (C), un teléfono completamente apagado. Se evaluaron diez voluntarios diestros sanos. La CNV se registró durante un intervalo de tiempo de 10 minutos en cada una de las tres condiciones experimentales A, B y C, con el fin de evaluar la amplitud y la habituación de la iCNV. La amplitud de la iCNV disminuyó y la habituación aumentó durante las condiciones A y B, en comparación con la condición C. Este efecto fue difuso sobre el cuero cabelludo, y no hubo una prevalencia significativa de reducción de la amplitud de la iCNV en el lado izquierdo, donde se ubicaron los teléfonos. Las exposiciones a teléfonos móviles A y B parecen actuar sobre la actividad eléctrica cerebral, reduciendo la excitación y la expectativa de estímulos de advertencia. Esta evidencia, limitada por el bajo número de sujetos investigados, podría explicarse en términos de un efecto inducido tanto por la señal GSM como por el campo magnético de frecuencia extremadamente baja producido por la batería y los circuitos internos.

(E) Del Vecchio G, Giuliani A, Fernandez M, Mesirca P, Bersani F, Pinto R, Ardoino L, Lovisolo GA, Giardino L, Calzà L. Efecto de la exposición al campo electromagnético de radiofrecuencia en modelos in vitro de enfermedades neurodegenerativas. *Bioelectromagnética.* 30(7):564-572, 2009. (CS, CE, IA, OX)

En este trabajo probamos la viabilidad, proliferación y vulnerabilidad de células neuronales, después de la exposición continua a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF) (señal de 900 MHz modulada por el sistema global para telecomunicaciones móviles (GSM) a una tasa de absorción específica (SAR) de 1 W/kg y una duración máxima de 144 h) generada por células electromagnéticas transversales. Usamos dos sistemas celulares, por ejemplo, la línea celular colinérgica SN56 y neuronas corticales primarias de rata, y desafíos neurotóxicos bien conocidos, como glutamato, beta-amiloide 25-35AA y peróxido de hidrógeno. La exposición a RF no cambió la tasa de viabilidad/proliferación de las células colinérgicas SN56 ni la viabilidad de las neuronas corticales. La coexposición a RF exacerbó el efecto neurotóxico del peróxido de hidrógeno en SN56, pero no en las neuronas corticales primarias, mientras que no se encontraron efectos cooperativos de RF con glutamato y beta-amiloide 25-35AA. Estos datos sugieren que sólo en circunstancias particulares la exposición a la señal modulada GSM de 900 MHz actúa como co-estresor para el daño oxidativo de las células neuronales.

(E) Del Vecchio G, Giuliani A, Fernandez M, Mesirca P, Bersani F, Pinto R, Ardoino L, Lovisolo GA, Giardino L, Calzà L. La exposición continua a EMF modulados por GSM de 900 MHz altera la maduración morfológica de las células neuronales. *Neurosci Lett.* 455(3):173-177, 2009. (CS, ME, DE)

Se han estudiado los efectos de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) sobre la maduración del fenotipo neuronal en dos modelos in vitro diferentes: línea celular colinérgica SN56 murina y neuronas corticales primarias de rata. Las muestras fueron expuestas a una dosis de 1W/kg a 900 MHz GSM modulada. El análisis del fenotipo se llevó a cabo a las 48 y 72 h (24 y 48 h de diferenciación de la línea celular SN56) o a las 24, 72, 120 h (2, 4 y 6 días in vitro para neuronas corticales) de exposición, en neuronas vivas e inmunomarcadas, e incluyó el estudio morfológico de la emisión, crecimiento y ramificación de neuritas. Además, se estudiaron las neuronas corticales para detectar alteraciones en el patrón de expresión de factores reguladores del citoesqueleto, por ejemplo, beta-timosina, y de genes tempranos, por ejemplo, c-Fos y c-Jun a través de PCR en tiempo real en ARNm extraído después de 24 horas de exposición a EMF. Descubrimos que la exposición a RF-EMF redujo el número de neuritas generadas por ambos sistemas celulares, y esta alteración se correlaciona con una mayor expresión de ARNm de beta-timosina.

(E) Delen K, Sirav B, Oruç S, Seymen CM, Kuzay D, Yeğin K, Kaplanoğlu GT. Efectos de la radiación de radiofrecuencia de 2600 MHz en el tejido cerebral de ratas Wistar macho y efectos neuroprotectores de la melatonina. *Bioelectromagnetism.* 42:159-172, 2021. (AS, CE, OX, IA)

El debate sobre los efectos biológicos de la radiación de radiofrecuencia (RFR) aún continúa debido a las diferencias en el diseño de los estudios (frecuencia, densidad de potencia, tasa de absorción específica [SAR], duración de la exposición, tipo de célula, tejido o animal). El estudio actual tuvo como objetivo investigar los efectos de la RFR de 2600 MHz y la melatonina en la bioquímica y la histología del tejido cerebral de ratas macho. Treinta y seis ratas se dividieron aleatoriamente en seis grupos: control en jaula, simulación, RFR, melatonina, melatonina simulada y melatonina RFR. En los grupos RFR, los animales fueron expuestos a 2600 MHz RFR durante 30 días (30 min/día, 5 días/semana) y los animales del grupo melatonina fueron inyectados subcutáneamente con melatonina (7 días/semana, 10 mg/kg/día) durante 30 días. La SAR en materia gris cerebral se calculó en 0,44 y 0,295 W/kg para un promedio de 1 y 10 g, respectivamente. La exposición a RFR disminuyó los niveles de GSH, GSH-Px y SOD y aumentó los niveles de MPO, MDA y NOx ($P < 0,005$) significativamente. La exposición a RFR también condujo a un aumento en la deformación estructural y la apoptosis en el tejido cerebral. Este estudio reveló que la melatonina exógena en dosis altas podría reducir estos efectos adversos de la RFR. Se recomienda limitar la exposición a la RFR tanto como sea posible y tomar suplementos diarios de melatonina puede ser beneficioso.

(E) Deniz OG, Kaplan S, Selcuk MB, Terzi M, Altun, Yurt KK, Aslan K, Davis D. Efectos de la exposición a campos electromagnéticos a corto y largo plazo en el hipocampo humano. *J Microsc Ultrastru* (2017, en prensa) (HU, ME, BE)

El uso creciente de teléfonos móviles puede tener una serie de efectos fisiológicos y psicológicos sobre la salud humana. Muchos estudios en animales y humanos han informado de diversos efectos sobre el sistema nervioso central y el rendimiento cognitivo derivados de la exposición a los campos electromagnéticos (CEM) emitidos por los teléfonos móviles. El objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos de

El impacto de los teléfonos móviles sobre la morfología del cerebro humano y el rendimiento cognitivo mediante métodos estereológicos y espectroscópicos y pruebas neurocognitivas. Sesenta estudiantes de medicina sanas de entre 18 y 25 años se dividieron en un grupo de baja exposición (30 sujetos, <30 minutos de uso diario de la cabeza) y un grupo de alta exposición (30 sujetos, >90 minutos de uso diario de la cabeza).

Imágenes de resonancia magnética (MRI) del cerebro analizadas en la estación de trabajo OsiriX 3.2.1.

Se realizaron pruebas neuropsicológicas para cada sujeto. Además, se analizaron tres metabolitos específicos dominantes, colina a 3,21 ppm, creatina a 3,04 ppm y N-acetil aspartato a 2,02 ppm. El análisis de los resultados espectroscópicos no reveló diferencias significativas en metabolitos específicos entre los grupos ($p > 0,05$). Tampoco hubo diferencias significativas en términos de volumen del hipocampo entre los grupos ($p > 0,05$). Por el contrario, los resultados de las pruebas neurocognitivas de estrop y de span de dígitos (hacia atrás) del grupo de alta exposición para evaluar la atención fueron significativamente peores que los del grupo de baja exposición ($p < 0,05$). Con base en estos resultados, concluimos que puede ocurrir una falta de atención y concentración en sujetos que hablan por teléfonos móviles durante más tiempo, en comparación con aquellos que usan los teléfonos relativamente menos.

(E) Deniz OG, Kaplan S Los efectos de diferentes hierbas en el hipocampo de ratas expuestas a un campo electromagnético durante una hora durante el período prenatal. J Chem Neuroanat 2021 19 de noviembre;102043. doi: 10.1016/j.jchemneu.2021.102043. En línea antes de su impresión. (AS, CE, ME, CE, IA)

El objetivo de este estudio fue destacar los posibles efectos sobre el hipocampo del campo electromagnético (CEM) emitido por los teléfonos móviles e investigar si estos efectos potenciales pueden reducirse utilizando diversas sustancias antioxidantes. Se dividieron veintisiete ratas albinas Wistar hembras en nueve grupos iguales, cada uno de los cuales contenía tres ratas preñadas de entre 8 y 10 semanas de edad y un peso de entre 200 y 250 gramos. Los grupos de CEM fueron expuestos a 900 megahercios (MHz) Campos electromagnéticos durante 1 hora (h) al día durante 21 días. No se aplicó exposición a campos electromagnéticos al grupo control ni a los grupos que recibieron solo Garcinia kola (GK), Momordica charantia (MC) y timoquinona (TQ). El grupo Sham se mantuvo en el sistema de policarbonato de exposición a campos electromagnéticos, pero no se expuso a campos electromagnéticos. Cuatro semanas después del nacimiento, las crías de rata fueron sometidas a pruebas de comportamiento. Se evaluaron muestras de tejido cerebral mediante métodos histológicos, estereológicos, funcionales e inmunohistoquímicos. Se determinó el número de neuronas piramidales en el cornu ammonis (CA) de rata utilizando el método del fraccionador óptico. También se evaluaron las actividades de las enzimas superóxido dismutasa (SOD) y catalasa (CAT) en las muestras de sangre. Los datos del análisis indicaron que el número total de neuronas piramidales disminuyó significativamente en el CA del grupo EMF (1 h) ($p < 0,01$). Nuestros resultados también mostraron que el efecto protector del MC fue más potente que el de las otras sustancias antioxidantes ($p < 0,01$). Un EMF de 900 MHz puede causar cambios nocivos en el cerebro. También se puede sugerir que GK, MC y TQ son capaces de reducir estos efectos adversos.

(NE) de Pomerai DI, Iqbal N, Lafayette I, Nagarajan A, Kaviani Moghadam M, Fineberg A, Reader T, Greedy S, Smartt C, Thomas DW. Los campos de microondas tienen poco efecto sobre la agregación de α -sinucleína en un modelo de enfermedad de Parkinson basado en *Caenorhabditis elegans*. Bioelectromagnetismo. Febrero de 2016;37(2):116-129.(AS, CH)

Los posibles efectos sobre la salud de la radiación de radiofrecuencia (RF) de los teléfonos móviles despiertan una preocupación generalizada entre el público. Los campos de RF de los dispositivos portátiles cerca del cerebro podrían desencadenar o agravar tumores cerebrales o enfermedades neurodegenerativas como la enfermedad de Parkinson (EP). La agregación de α -

La sinucleína (S) es fundamental para la fisiopatología de la EP, y los modelos de invertebrados que expresan S humana han ayudado a dilucidar los factores que afectan al proceso de agregación. Recientemente hemos desarrollado una cepa transgénica de *Caenorhabditis elegans* que lleva dos construcciones S: SC marcada con proteína fluorescente azul cian (CFP) y SV con la variante Venus (V) de proteína fluorescente amarilla (YFP). Durante la agregación S en estos gusanos SC+SV, las etiquetas CFP e YFP se acercan lo suficiente para permitir la transferencia de energía por resonancia de Foerster (FRET). Como control positivo, la agregación S se promovió a bajas concentraciones de Hg(2+), mientras que concentraciones más altas activaron genes de respuesta al estrés. Utilizando dos sistemas de exposición diferentes descritos anteriormente, probamos si los campos de RF (1,0 GHz CW, 0,002-0,02 W kg(-1); 1,8 GHz CW o GSM, 1,8 W kg(-1)) podría influir en la agregación de S en gusanos SC+SV. La fluorescencia de YFP en gusanos similares que solo tenían SV proporcionó controles internos, que deberían mostrar cambios opuestos debido a la extinción de FRET durante la agregación de S. No se observaron cambios estadísticamente significativos en varias ejecuciones independientes a las 2,5, 24 o 96 h. Aunque nuestro modelo de gusano es sensible a los promotores químicos de la agregación, no se pudieron atribuir efectos similares a las exposiciones a RF.

(E) Deshmukh PS, Banerjee BD, Abegaonkar MP, Megha K, Ahmed RS, Tripathi AK, Mediratta PK. Efecto de la exposición a radiación de microondas de bajo nivel sobre la función cognitiva y el estrés oxidativo en ratas. *Indian J Biochem Biophys.* 50(2):114-119, 2013a. (AS, LI, CE, BE, OX)

El uso de dispositivos de comunicación inalámbricos está aumentando a un ritmo exponencial en la actualidad y está generando serias preocupaciones sobre los posibles efectos adversos de la radiación de microondas (MW) emitida por estos dispositivos en la salud humana. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos de la exposición a la radiación de microondas de 900 MHz en la función cognitiva y el estrés oxidativo en la sangre de ratas Fischer. Los animales se dividieron en dos grupos (6 animales/grupo): Grupo I (expuestos a MW) y Grupo II (expuestos a Sham). Los animales fueron sometidos a exposición a MW (Frecuencia 900 MHz; tasa de absorción específica $8,4738 \times 10(-5)$ W/kg) en celda electromagnética transversal de gigahercios (GTEM) durante 30 días (2 h/día, 5 días/semana). Posteriormente, se examinaron los parámetros de función cognitiva y estrés oxidativo para cada grupo. Los resultados mostraron un deterioro significativo en la función cognitiva y un aumento en el estrés oxidativo, como lo demuestra el aumento en los niveles de MDA (un marcador de peroxidación lipídica) y carbonilo proteico (un marcador de oxidación proteica) y el contenido de GSH en sangre no se alteró. Por lo tanto, el estudio demostró que la radiación de bajo nivel de MW tenía un efecto significativo en la función cognitiva y también era capaz de provocar estrés oxidativo.

(E) Deshmukh PS, Megha K, Banerjee BD, Ahmed RS, Chandna S, Abegaonkar MP, Tripathi AK. Detección de daño al ácido desoxirribonucleico inducido por radiación de microondas de bajo nivel en relación con la genotoxicidad en el cerebro de ratas Fischer. *Toxicol Int.* 20(1):19-24, 2013b. (AS, LI, CE, CH)

ANTECEDENTES: La radiación de radiofrecuencia no ionizante se ha utilizado cada vez más en la industria, el comercio, la medicina y, especialmente, en la tecnología de telefonía móvil, y se ha convertido en un tema de gran preocupación en la actualidad. OBJETIVO: El presente estudio fue diseñado para investigar los posibles efectos dañinos del ácido desoxirribonucleico (ADN) de la radiación de microondas de bajo nivel en el cerebro de ratas Fischer. MATERIALES Y MÉTODOS: Se realizaron experimentos en ratas Fischer macho expuestas a radiación de microondas durante 30 días a tres frecuencias diferentes: 900, 1800 y 2450 MHz. Los animales se dividieron en 4 grupos: Grupo I (exposición simulada): Animales no expuestos

a la radiación de microondas pero mantenidos en las mismas condiciones que los otros grupos, Grupo II: Animales expuestos a la radiación de microondas a una frecuencia de 900 MHz a una tasa de absorción específica (SAR) de $5,953 \times 10^{-4}$ W/kg, Grupo III: Animales expuestos a 1800 MHz a una SAR de $5,835 \times 10^{-4}$ W/kg y Grupo IV: Animales expuestos a 2450 MHz a una SAR de $6,672 \times 10^{-4}$ W/kg. Al final del periodo de exposición, los animales fueron sacrificados inmediatamente y se evaluó el daño del ADN en el tejido cerebral utilizando el ensayo del cometa alcalino. RESULTADOS: En el presente estudio, demostramos los efectos dañinos del ADN de la radiación de microondas de bajo nivel en el cerebro. CONCLUSIÓN: Concluimos que la exposición a la radiación de microondas de bajo SAR a estas frecuencias puede inducir roturas de la cadena de ADN en el tejido cerebral.

(E) Deshmukh PS, Nasare N, Megha K, Banerjee BD, Ahmed RS, Singh D, Abegaonkar MP, Tripathi AK, Mediratta PK. Deterioro cognitivo y efectos neurogenotóxicos en ratas expuestas a radiación de microondas de baja intensidad. *Int J Toxicol.* 5 de marzo de 2015. pii: 1091581815574348.

[Epub antes de impresión] (AS, CE, LI, BE, CH)

El riesgo para la salud de la radiación de microondas (MWR) se ha convertido en un tema de interés reciente como resultado del enorme aumento en el uso de teléfonos móviles. El presente estudio tuvo como objetivo investigar los efectos de la exposición crónica a microondas de baja intensidad en la función cognitiva, la proteína de choque térmico 70 (HSP70) y el daño del ADN en el cerebro de ratas. Los experimentos se realizaron en ratas Fischer macho expuestas a MWR durante 180 días a 3 frecuencias diferentes, a saber, 900, 1800 MHz y 2450 MHz. Los animales se dividieron en 4 grupos: grupo I: exposición simulada; grupo II: expuesto a MWR a 900 MHz, tasa de absorción específica (SAR) $5,953 \times 10^{-4}$ W/kg; grupo III: expuesto a 1800 MHz, SAR $5,835 \times 10^{-4}$ W/kg; y grupo IV: expuesto a 2450 MHz, SAR $6,672 \times 10^{-4}$ W/kg. Todas las ratas fueron sometidas a pruebas de función cognitiva al final del período de exposición y posteriormente fueron sacrificadas para recolectar el cerebro. El nivel de HSP70 se estimó mediante un ensayo de inmunoanálisis ligado a enzimas y el daño del ADN se evaluó mediante un ensayo de cometa alcalino en todos los grupos. Los resultados mostraron una disminución de la función cognitiva, un nivel elevado de HSP70 y daño del ADN en el cerebro de los animales expuestos a microondas. Los resultados indicaron que la exposición crónica a microondas de baja intensidad en el rango de frecuencia de 900 a 2450 MHz puede causar efectos nocivos en el cerebro.

(E) Deshmukh PS, Megha K, Nasare N, Banerjee BD, Ahmed RS, Abegaonkar MP, Tripathi AK, Mediratta PK. Efecto de la radiación de microondas subcrónica de bajo nivel en el cerebro de ratas. *Biomed Environ Sci.*

29(12):858-867, 2016. (AS, LI, CE, BE, CC)

OBJETIVO: El presente estudio fue diseñado para investigar los efectos de la radiación de microondas de bajo nivel subcrónica (MWR) en la función cognitiva, el nivel de proteína de choque térmico 70 (HSP70) y el daño del ADN en el cerebro de ratas Fischer. MÉTODOS: Los experimentos se realizaron en ratas Fischer macho expuestas a radiación de microondas durante 90 días a tres frecuencias diferentes: 900, 1800 y 2450 MHz. Los animales se dividieron en 4 grupos: Grupo I: exposición simulada, Grupo II: animales expuestos a radiación de microondas a 900 MHz y tasa de absorción específica (SAR) $5,953 \times 10^{-4}$ W/kg, Grupo III: animales expuestos a 1800 MHz a SAR $5,835 \times 10^{-4}$ W/kg y Grupo IV: animales expuestos a 2450 MHz a SAR $6,672 \times 10^{-4}$ W/kg. Todos los animales fueron evaluados para la función cognitiva utilizando el laberinto en cruz elevada y el laberinto acuático de Morris al final del periodo de exposición y posteriormente sacrificados para recolectar tejidos cerebrales. Los niveles de HSP70 se estimaron mediante ELISA y

El daño del ADN se evaluó mediante un ensayo de cometa alcalino. RESULTADOS: Exposición a microondas a 900- Los valores SAR de 2450 MHz mencionados anteriormente provocan una disminución de la función cognitiva, un aumento del nivel de HSP70 y daños en el ADN del cerebro. CONCLUSIÓN: Los resultados del presente estudio sugieren que la exposición a microondas de bajo nivel en frecuencias de 900, 1800 y 2450 MHz puede provocar efectos nocivos en el cerebro.

(E) Divan HA, Kheifets L, Obel C, Olsen J. Exposición prenatal y posnatal al uso de teléfonos celulares y problemas de conducta en niños. Epidemiología. 19(4):523-529, 2008. (HU, DE, BE)

ANTECEDENTES: La Organización Mundial de la Salud ha destacado la necesidad de investigar los posibles efectos de los campos de radiofrecuencia en los niños. Analizamos la asociación entre la exposición prenatal y posnatal a los teléfonos móviles y los problemas de conducta en los niños pequeños.

MÉTODOS: Las madres fueron reclutadas para la cohorte nacional de nacimientos de Dinamarca al comienzo del embarazo. Cuando los hijos de esos embarazos cumplieron 7 años de edad en 2005 y 2006, se pidió a las madres que completaran un cuestionario sobre el estado actual de salud y comportamiento de sus hijos.

niños, así como la exposición previa al uso del teléfono celular. Las madres evaluaron el comportamiento del niño Problemas de conducta utilizando el Cuestionario de fortalezas y dificultades. RESULTADOS: Las madres de 13.159 niños completaron el cuestionario de seguimiento informando sobre el uso de teléfonos celulares durante el embarazo, así como el uso actual del teléfono celular por parte del niño. Se observaron mayores razones de probabilidades para problemas de conducta en los niños que tuvieron una posible exposición prenatal o postnatal al uso de teléfonos celulares. Después del ajuste por posibles factores de confusión, la razón de probabilidades para una puntuación general más alta de problemas de conducta fue de 1,80 (intervalo de confianza del 95% = 1,45-2,23) en niños con exposición prenatal y postnatal a teléfonos celulares. CONCLUSIONES: La exposición a teléfonos celulares prenatalmente -y, en menor grado, postnatalmente- se asoció con dificultades de conducta como problemas emocionales y de hiperactividad alrededor de la edad de ingreso a la escuela. Estas asociaciones pueden no ser causales y pueden deberse a factores de confusión no medidos. Si fueran reales, serían un problema de salud pública dado el uso generalizado de esta tecnología.

(NE) Divan HA, Kheifets L, Olsen J. Uso prenatal de teléfonos celulares y retrasos en los hitos del desarrollo entre los bebés. Scand J Work Environ Health. 37(4):341-348, 2011. (HU, DE, BE)

OBJETIVO: El objetivo de este estudio fue examinar si el uso prenatal de teléfonos celulares por parte de madres embarazadas está asociado con retrasos en los hitos del desarrollo entre los hijos hasta los 18 meses de edad. MÉTODOS: Nuestro trabajo se basa en la cohorte nacional de nacimientos danesa (DNBC), que reclutó a madres embarazadas entre 1996 y 2002, y se inició para recopilar una variedad de información detallada sobre exposiciones en el útero y varios resultados de salud. A fines de 2008, se había realizado un seguimiento de más de 41.000 nacimientos únicos vivos con el cuestionario Age-7, que recogía la exposición al uso de teléfonos celulares por parte de las madres durante el embarazo. Los resultados para los hitos del desarrollo se obtuvieron a partir de entrevistas telefónicas completadas por las madres a los 6 años y a los 18 meses después del parto. RESULTADOS: Un modelo de regresión logística estimó los odds ratios (OR) para los retrasos en los hitos del desarrollo, ajustados para posibles factores de confusión. Menos del 5% de los niños a los 6 y 18 meses de edad tenían retrasos cognitivos/del lenguaje o del desarrollo motor. A los 6 meses, el OR ajustado fue de 0,8 [intervalo de confianza del 95% (IC del 95%) 0,7-1,0] para el retraso cognitivo/del lenguaje

y 0,9 (IC del 95 %: 0,8-1,1) para el retraso del desarrollo motor. A los 18 meses, el OR ajustado fue de 1,1 (IC del 95 %: 0,9-1,3) y 0,9 (IC del 95 %: 0,8-1,0) para el retraso del desarrollo cognitivo/del lenguaje y motor, respectivamente.

CONCLUSIONES: No se observó evidencia de una asociación entre el uso prenatal del teléfono móvil y los retrasos del desarrollo motor o cognitivo/del lenguaje entre los bebés de 6 y 18 meses de edad. Incluso cuando se consideraron las asociaciones dosis-respuesta para el teléfono móvil, las asociaciones fueron nulas.

(E) Divan HA, Kheifets L, Obel C, Olsen J. Uso de teléfonos móviles y problemas de conducta en niños pequeños. J Epidemiol Community Health. 66(6):524-529, 2012. (HU, DE, BE)

ANTECEDENTES: Los posibles efectos del uso de teléfonos móviles en la salud de los niños no se han estudiado adecuadamente. Dado que los niños utilizan teléfonos móviles a edades más tempranas, las organizaciones nacionales e internacionales han identificado la investigación en este grupo como la máxima prioridad. Los autores informaron anteriormente de los resultados de la cohorte nacional de nacimientos danesa (DNBC), que analizó la exposición prenatal y posnatal al uso de teléfonos móviles y los problemas de conducta a la edad de 7 años.

La exposición a teléfonos móviles antes del nacimiento y, en menor medida, después del nacimiento, se asoció con más dificultades de conducta. El análisis original incluyó a casi 13.000 niños que habían cumplido 7 años en noviembre de 2006. MÉTODOS: Para ver si un grupo más grande y separado de niños con DNBC produciría resultados similares después de considerar factores de confusión adicionales, se analizaron los hijos de madres que podrían representar mejor a los usuarios actuales de teléfonos móviles. Este "nuevo" conjunto de datos consistió en 28.745 niños con cuestionarios de 7 años completados hasta diciembre de 2008.

RESULTADOS: El OR más alto para problemas de conducta se observó en los niños que habían estado expuestos a teléfonos celulares tanto prenatal como posnatalmente, en comparación con los niños que no habían estado expuestos durante ninguno de los períodos de tiempo. La estimación del efecto ajustado fue de 1,5 (IC del 95%: 1,4 a 1,7).

CONCLUSIONES: Los hallazgos de la publicación anterior se replicaron en este grupo separado de participantes, lo que demostró que el uso de teléfonos celulares estaba asociado con problemas de conducta a los 7 años de edad en los niños, y que esta asociación no se limitaba a los primeros usuarios de la tecnología. Aunque más débiles en el nuevo conjunto de datos, incluso con un mayor control de un conjunto ampliado de posibles factores de confusión, las asociaciones se mantuvieron.

(NE) Dogan M, Turtay MG, Oguzturk H, Samdanci E, Turkoz Y, Tasdemir S, Alkan A, Bakir S.

Efectos de la radiación electromagnética producida por los teléfonos móviles 3G en cerebros de ratas: espectroscopia de resonancia magnética, evaluación bioquímica e histopatológica. Hum Exp Toxicol.

31(6):557-564, 2012. (ES, CE, OX, CC, CH)

Objetivo: Se investigaron los efectos de la radiación electromagnética (REM) producida por un teléfono móvil (MP) de tercera generación (3G) en los tejidos cerebrales de ratas en términos de espectroscopia de resonancia magnética (MRS), bioquímica y evaluaciones histopatológicas. Métodos: Las ratas fueron asignadas aleatoriamente a dos grupos: el grupo 1 está compuesto por ratas expuestas a 3G-EMR (n = 9) y el grupo 2 es el grupo de control (n = 9). El primer grupo fue sometido a EMR durante 20 días. El grupo de control no fue expuesto a EMR. Los niveles de colina (Cho), creatinina (Cr) y N-acetilaspártato (NAA) se evaluaron mediante MRS. Las actividades de las enzimas catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GSH-Px) se midieron mediante un método espectrofotométrico. Se llevaron a cabo análisis histopatológicos para evaluar la apoptosis en los tejidos cerebrales de ambos grupos. Resultados: En MRS, las relaciones NAA/Cr, Cho/Cr y NAA/Cho no fueron significativamente diferentes entre los grupos 1 y 2.

Ni los parámetros de estrés oxidativo, CAT y GSH-Px, ni el número de células apoptóticas fueron significativamente diferentes entre los grupos 1 y 2. Conclusiones: El uso de 3G MP a corto plazo no parece tener un efecto nocivo sobre el tejido cerebral de la rata.

(E) Dragicevic N, Bradshaw PC, Mamcarz M, Lin X, Wang L, Cao C, Arendash GW. El tratamiento a largo plazo con campos electromagnéticos mejora la función mitocondrial cerebral tanto de ratones transgénicos con Alzheimer como de ratones normales: ¿un mecanismo para el beneficio cognitivo inducido por campos electromagnéticos? Neuroscience 185:135-149, 2011. (AS, CE, CC, OX, MA)

Recientemente hemos informado que la exposición prolongada a campos electromagnéticos de alta frecuencia El tratamiento con campos electromagnéticos (EMF) no solo previene o revierte el deterioro cognitivo en ratones transgénicos (Tg) con Alzheimer, sino que también mejora la memoria en ratones normales. Para dilucidar el posible mecanismo o mecanismos de estos beneficios cognitivos inducidos por los EMF, se evaluó la función mitocondrial cerebral en ratones Tg viejos y en compañeros de camada no transgénicos (NT) después de 1 mes de exposición diaria a los EMF. En los ratones Tg, el tratamiento con EMF mejoró la función mitocondrial cerebral en un 50-150% en seis medidas establecidas, siendo mayor en áreas cerebrales cognitivamente importantes (por ejemplo, corteza cerebral e hipocampo). El tratamiento con EMF también aumentó la función mitocondrial cerebral en ratones normales de edad avanzada, aunque la mejora no fue tan sólida y menos generalizada en comparación con la de los ratones Tg. La mejora inducida por los EMF de la función mitocondrial cerebral en ratones Tg estuvo acompañada de aumentos de 5 a 10 veces en A β 1-40 soluble dentro de las mismas preparaciones mitocondriales. Estos aumentos en el péptido amiloide- β soluble mitocondrial (A β) aparentemente se debieron a la capacidad del tratamiento con EMF para desagregar los oligómeros de A β , que se cree que son la forma de A β causante de la disfunción mitocondrial en la enfermedad de Alzheimer (EA). Finalmente, la mejora mitocondrial inducida por EMF tanto en ratones Tg como normales se produjo a través de efectos no térmicos porque las temperaturas cerebrales fueron estables o disminuyeron durante/después del tratamiento con EMF. Estos resultados sugieren colectivamente que la mejora mitocondrial cerebral puede ser un mecanismo primario a través del cual el tratamiento con EMF proporciona un beneficio cognitivo tanto a los ratones Tg como a los NT. Especialmente en el contexto de que la disfunción mitocondrial es una característica temprana y prominente de la patogénesis del Alzheimer, el tratamiento con EMF podría tener un profundo valor en la prevención y el tratamiento de la enfermedad a través de la intervención a nivel mitocondrial.

(E) Eberhardt JL, Persson BR, Brun AE, Salford LG, Malmgren LO. Permeabilidad de la barrera hematoencefálica y daño a las células nerviosas en el cerebro de ratas 14 y 28 días después de la exposición a microondas de teléfonos móviles GSM. Electromagn Biol Med. 27(3):215-229, 2008. (AS, ME, CC, LI)

Investigamos los efectos de la exposición a microondas del sistema global de comunicación móvil (GSM) sobre la permeabilidad de la barrera hematoencefálica y los signos de daño neuronal en ratas utilizando un teléfono móvil GSM programable real en la banda de 900 MHz. Noventa y seis ratas no anestesiadas fueron expuestas a microondas o expuestas simuladamente en células TEM durante 2 h a tasas de absorción específicas de tasas de absorción específica (SAR) promedio de cuerpo entero de 0,12, 1,2, 12 o 120 mW/kg. Las ratas fueron sacrificadas después de un tiempo de recuperación de 14 o 28 días, después de la exposición y se evaluó la extravasación de albúmina, su captación en las neuronas y la aparición de neuronas dañadas. Se observó que la extravasación de albúmina y también su captación en las neuronas aumentaban después de 14 días (prueba de Kruskal Wallis: p = 0,02 y 0,002, respectivamente), pero no

después de un período de recuperación de 28 días. Por otro lado, la aparición de neuronas oscuras en los cerebros de las ratas aumentó más tarde, después de 28 días ($p = 0,02$). Además, en las muestras de cerebro de 28 días, la captación de albúmina neuronal se correlacionó significativamente con la aparición de neuronas dañadas (Spearman $r = 0,41$; $p < 0,01$).

(E) Echchgadda I, Cantu JC, Tolstykh GP, Butterworth JW, Payne JA, Ibey BL.

Cambios en la excitabilidad de las neuronas hipocampales primarias tras la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia de 3,0 GHz. Sci Rep 12(1):3506, 2022. (CS, LI, EE)

La exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF, 100 kHz a 6 GHz) se ha asociado con efectos tanto positivos como negativos en el comportamiento cognitivo. Para dilucidar el mecanismo de interacción RF-EMF, algunos estudios han examinado su impacto en la actividad neuronal y la plasticidad sináptica. Sin embargo, todavía existe la necesidad de investigación básica adicional que mejore nuestra comprensión de los mecanismos subyacentes de RF-EMF en el sistema neuronal. El presente estudio investigó los cambios en la actividad neuronal y la transmisión sináptica después de una exposición de 60 minutos a RF-EMF de 3,0 GHz a una dosis baja (tasa de absorción específica (SAR) < 1 W/kg). Mostramos que la exposición a RF-EMF disminuyó la amplitud del potencial de acción (PA), despolarizó el potencial de membrana en reposo neuronal (MP) y aumentó la excitabilidad neuronal y la transmisión sináptica en neuronas hipocampales primarias (PHN) cultivadas. Los resultados muestran que la exposición a RF-EMF puede alterar la actividad neuronal y destacan que se deben realizar más investigaciones para explorar completamente los efectos y mecanismos de RF-EMF.

(NE) Eltiti S, Wallace D, Ridgewell A, Zougkou K, Russo R, Sepulveda F, Fox E. La exposición a corto plazo a las señales de estaciones base de telefonía móvil no afecta el funcionamiento cognitivo ni las medidas fisiológicas en personas que informan sensibilidad a los campos electromagnéticos y controles.

Bioelectromagnetismo. 30(7):556-563, 2009. (HU, BE, LI)

Las personas que informan sensibilidad a los campos electromagnéticos a menudo informan de deterioros cognitivos que creen que se deben a la exposición a la tecnología de los teléfonos móviles. Sin embargo, las investigaciones anteriores en esta área han revelado resultados mixtos, ya que la mayoría de las investigaciones solo evaluaron a individuos de control. Dos estudios que utilizaron participantes de control y autodeclarados sensibles encontraron efectos inconsistentes de las estaciones base de teléfonos móviles en el funcionamiento cognitivo. El objetivo del presente estudio fue aclarar si la exposición a corto plazo (50 minutos) a 10 mW/m² a señales de estación base típicas del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) y del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) afecta la atención, la memoria y los puntos finales fisiológicos en participantes sensibles y de control. Se analizaron los datos de 44 participantes sensibles y 44 participantes de control emparejados que realizaron la tarea de sustitución de símbolos de dígitos (DSST), la tarea de amplitud de dígitos (DS) y una tarea de aritmética mental (MA), mientras estaban expuestos a señales GSM, UMTS y simuladas en condiciones de doble ciego. En general, el funcionamiento cognitivo no se vio afectado por la exposición a corto plazo a señales GSM o UMTS en el estudio actual. La exposición tampoco afectó las mediciones fisiológicas del pulso del volumen sanguíneo (BVP), la frecuencia cardíaca (FC) y la conductancia de la piel (SC) que se tomaron mientras los participantes realizaban las tareas cognitivas.

(NE) Eggert T, Dorn H, Sauter C, Schmid G, Danker-Hopfe H. Efectos de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia en el sueño: ¡la edad no importa en los hombres! Environ Res. 12 de septiembre de 2020;110173. doi: 10.1016/j.envres.2020.110173. En línea antes de su publicación. (HU, SL, AD)

Antecedentes: Aunque existen varios estudios experimentales en humanos sobre los efectos a corto plazo de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) en el sueño, aún no se ha considerado el papel de la modificación del efecto por sexo o edad en este contexto. En un estudio anterior, observamos diferencias de sexo en los efectos de RF-EMF en sujetos de edad avanzada. El presente estudio investigó posibles modificaciones del efecto de RF-EMF por edad en hombres. Métodos: Los datos disponibles para el presente análisis provienen de tres estudios cruzados, aleatorizados y doble ciego, en los que se investigaron los efectos de diferentes señales de exposición a RF-EMF en el sueño en voluntarios varones sanos jóvenes [muestra 1: 25,3 (media) \pm 2,6 (DE) años; muestra 2: 25,4 \pm 2,6 años; n = 30, respectivamente] y mayores (69,1 \pm 5,5 años; n = 30). Los estudios comprendieron una noche de detección/adaptación seguida de nueve noches experimentales en intervalos de dos semanas. Se analizaron las modificaciones del efecto de la exposición a RF-EMF por edad para dos señales de exposición diferentes (GSM900 a 2 W/kg, TETRA a 6 W/kg), cada una comparada con una exposición simulada. Se realizó una polisomnografía, durante la cual las señales de exposición fueron entregadas por una antena que se usa en la cabeza, así como la estadificación del sueño según el estándar AASM. Se analizaron estadísticamente cuatro parámetros subjetivos y 30 objetivos del sueño relacionados con posibles efectos de RF-EMF. Resultados: Las comparaciones de los parámetros del sueño observados bajo exposición simulada revelaron diferencias fisiológicas muy pronunciadas entre hombres jóvenes y ancianos. Se encontró un efecto de exposición consistente en ambos grupos de edad para una latencia más corta hasta el sueño persistente bajo exposición a TETRA que refleja un efecto promotor del sueño. Se observaron modificaciones del efecto de exposición por edad para dos de los cuatro parámetros del sueño auto-reportados después de la exposición a GSM900 y para los despertares durante el sueño REM bajo exposición a TETRA. Conclusiones: Como los efectos de una exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia durante toda la noche durante el sueño se produjeron solo esporádicamente en hombres jóvenes y mayores, parece que la edad no importa en este sentido. Sin embargo, mientras no haya datos correspondientes de mujeres jóvenes y sanas que permitan una comparación con los datos de mujeres mayores, esta suposición no se puede verificar de manera concluyente. No obstante, los resultados actuales no son indicativos de ningún efecto adverso para la salud.

(E) Elamin AAE, Deniz OG, Kaplan S. Efectos de la goma arábica, la curcumina (*Curcuma longa*) y la *Garcinia kola* en el hipocampo de ratas después de la exposición a campos electromagnéticos: un estudio estereológico e histológico. J Chem Neuroanat 120:102060, 2021. (AS, CE, ME, OX)

El presente estudio fue diseñado para centrarse en los efectos potenciales del campo electromagnético (CEM) emitido por los teléfonos móviles sobre las neuronas piramidales del hipocampo e investigar el papel de la curcumina (Cur), la *Garcinia kola* (GK) y la goma arábica (GA) en la reducción de estos efectos adversos.

Se utilizaron cincuenta y cuatro ratas albinas Wistar macho de 12 semanas de edad. Se dividieron aleatoriamente en nueve grupos de seis ratas cada uno. Los grupos de control, Cur, GK y GA no fueron expuestos a campos electromagnéticos, mientras que el grupo simulado se mantuvo en el sistema de exposición a campos electromagnéticos sin estar expuesto a campos electromagnéticos. Los grupos EMF+Cur, EMF+GK, EMF+GA y EMF fueron expuestos a campos electromagnéticos de 900 MHz durante una hora al día durante 28 días. Se estimó el número de neuronas piramidales en el cuerno de amonio (CA) del hipocampo utilizando la técnica del fraccionador óptico. Los cambios histopatológicos se evaluaron con microscopios ópticos y electrónicos. También se evaluaron las actividades de las enzimas superóxido dismutasa (SOD) y catalasa (CAT) a partir de muestras de suero. Los niveles significativos

Se observaron actividades CAT y SOD en el grupo EMF en comparación con el grupo de control ($p = 0,000$; $p = 0,001$) respectivamente. Las observaciones microscópicas mostraron que los núcleos de color oscuro con límites neuronales poco claros se observaron con frecuencia en el grupo EMF. El análisis de datos estereológicos reveló una disminución significativa en el número total de neuronas piramidales del CA en el grupo EMF en comparación con los grupos de control y simulado ($p = 0,000$; $p = 0,000$) respectivamente. Se observó que Cur y GK proporcionaban una protección significativa en los grupos EMF+Cur y EMF+GK en comparación con el grupo EMF ($p = 0,000$; $p = 0,000$) respectivamente. No se observó ninguna diferencia significativa entre el grupo EMF+GA y el grupo EMF ($p = 0,989$). La exposición a EMF de 900 MHz provoca alteraciones graves en el número y la estructura de las neuronas piramidales del hipocampo. Cur y GK exhiben un efecto protector contra estos efectos nocivos, pero GA no mostró ningún efecto protector.

(E) Erdem Koç G, Kaplan S, Altun G, Gümüş H, Gülsüm Deniz Ö, Aydın I, Emin Onger M, Altunkaynak Z. Efectos neuroprotectores de la melatonina y los omega-3 en las células del hipocampo expuestas prenatalmente a campos electromagnéticos de 900 MHz. *Int J Radiat Biol.* 21 de julio de 2016:1-6.

[Epub antes de impresión] (AS, CE, DE, CC, IA)

OBJETIVO: Los efectos adversos sobre la salud humana causados por los campos electromagnéticos (CEM) asociados con el uso de teléfonos móviles, particularmente entre los jóvenes, están aumentando todo el tiempo. Los posibles efectos nocivos de la exposición a los CEM resultantes del uso de teléfonos móviles en las proximidades del cerebro requieren una evaluación particular. Sin embargo, solo un número limitado de estudios han investigado los efectos de la exposición prenatal a los CEM en el desarrollo de las células piramidales utilizando melatonina (MEL) y omega-3 (ω -3). **MATERIALES Y MÉTODOS:** Establecimos siete grupos de ratas preñadas que consistían en tres animales cada uno; control (CONT), SHAM, CEM, CEM + MEL, MEL, CEM + ω -3 y ω -3 solo. Las ratas en los grupos CEM, CEM + MEL, CEM + ω -3 fueron expuestas a CEM de 900 MHz durante 60 min/día en un tubo de exposición durante el período de gestación. Las ratas de los grupos CONT, MEL y ω -3 no fueron colocadas dentro del tubo de exposición ni expuestas a campos electromagnéticos durante el período de estudio. Después del parto, solo se seleccionaron crías de rata macho que nacieron espontáneamente para el establecimiento de otros grupos. Cada grupo de crías consistió en seis animales. La técnica del fraccionador óptico se utilizó para determinar el número total de neuronas piramidales en la región del hipocampo de la rata. **RESULTADOS:** El número total de células piramidales en el cornu ammonis (CA) en el grupo EMF fue significativamente menor que en los grupos CONT, SHAM, EMF + MEL y EMF + ω -3. No se observó ninguna diferencia significativa entre los grupos EMF, MEL y ω -3. Tampoco se observó ninguna diferencia entre ningún grupo en términos de peso corporal o cerebral de las ratas. **CONCLUSIÓN:** MEL y ω -3 pueden proteger a la célula contra el daño neuronal en el hipocampo inducido por campos electromagnéticos de 900 MHz. Sin embargo, ahora se necesitan más estudios para evaluar los efectos crónicos de los campos electromagnéticos de 900 MHz en el cerebro durante el período prenatal.

(E) Eser O, Songur A, Aktas C, Karavelioglu E, Caglar V, Aylak F, Ozguner F, Kanter M. El efecto de la radiación electromagnética en el cerebro de la rata: un estudio experimental. *Neurocirugía turca.*

23(6):707-715, 2013. (COMO, CE, OX, ME)

OBJETIVO: El objetivo de este estudio es determinar los cambios estructurales de las ondas electromagnéticas en la corteza frontal, el tronco encefálico y el cerebelo. **MATERIAL Y MÉTODOS:** 24 ratas macho adultas Wistar Albino se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos: el grupo I consistió en ratas de control y los grupos

II-IV comprendió irradiación electromagnética (EMR) con 900, 1800 y 2450 MHz. Las cabezas de las ratas fueron expuestas a irradiación de microondas de 900, 1800 y 2450 MHz durante 1 hora por día durante 2 meses. RESULTADOS: Mientras que los cambios histopatológicos en la corteza frontal y el tronco encefálico fueron normales en el grupo de control, hubo cambios degenerativos severos, citoplasma encogido y núcleos picnóticos extensamente oscuros en los grupos EMR. El análisis bioquímico demostró que el nivel de capacidad antioxidante total disminuyó significativamente en los grupos EMR y también los niveles de capacidad oxidativa total y el índice de estrés oxidativo aumentaron significativamente en la corteza frontal, el tronco encefálico y el cerebelo. El nivel de IL-1 β aumentó significativamente en los grupos EMR en el tronco encefálico. CONCLUSIÓN: La EMR causa cambios estructurales en la corteza frontal, el tronco encefálico y el cerebelo y deteriora el estrés oxidativo y el sistema de citocinas inflamatorias. Este deterioro puede provocar enfermedades, incluida la pérdida de la función de estas áreas y el desarrollo de cáncer.

Farashi S, Bashirian S, Khazaei S, Khazaei M, Farhadinasab A. Radiación electromagnética de los teléfonos móviles y riesgo de dolor de cabeza: una revisión sistemática y metanálisis.

Int Arch Occup Environ Health 22 de enero de 2022. doi: 10.1007/s00420-022-01835-x. En línea antes de su publicación.

(revisión)

Objetivo: Los efectos de los campos electromagnéticos de los teléfonos móviles sobre los dolores de cabeza han atraído a los investigadores durante las últimas décadas. Sin embargo, hasta ahora se han publicado resultados contradictorios.

Métodos: En esta revisión sistemática y metaanálisis, se realizaron búsquedas en las principales bases de datos, incluidas PubMed, Scopus y Web of Science, utilizando términos de búsqueda adecuados y las directrices PRISMA para recuperar estudios elegibles sobre el efecto del uso del teléfono móvil en el dolor de cabeza. Después de la revisión del resumen y el texto completo, se recuperaron 33 estudios y se extrajo el tamaño del efecto en términos de razón de probabilidades (OR). La heterogeneidad entre estudios se evaluó utilizando la estadística I² y la prueba Q, mientras que el sesgo de publicación se evaluó mediante el gráfico de embudo y las pruebas de Egger y Begg. Resultados: Entre 33 estudios elegibles, 30 estudios elegibles se incluyeron en el metanálisis. Al considerar todos los estudios, se obtuvo un tamaño del efecto agrupado de OR = 1,30 (IC del 95%: 1,21-1,39), mientras que la heterogeneidad entre los estudios fue significativa. Se realizaron análisis de subgrupos considerando la edad de los participantes y la duración de la exposición a los CEM para encontrar la fuente de heterogeneidad. Los odds ratios cuando la edad de los participantes fue la variable fueron 1,33 (IC del 95%: 1,14-1,53) y 1,29 (IC del 95%: 1,20-1,37), para edades > 18 y edad \leq 18 años, respectivamente. Cuando se consideró la duración de la exposición a los CEM, el análisis de subgrupos obtuvo un tamaño del efecto agrupado de OR = 1,41 (IC del 95%:

1,22-1,61) y 1,23 (IC del 95 %: 1,12-1,34), para una duración de exposición a campos electromagnéticos > 100 y \leq 100 minutos por semana, respectivamente. Los tamaños del efecto agrupados enfatizaron el efecto del uso del teléfono móvil en los dolores de cabeza para todas las edades y duraciones de exposición. Conclusión: Los resultados revelaron que la edad y la duración de la exposición (principalmente la duración de la llamada), ambas fueron la fuente de heterogeneidad entre los estudios. Además, los resultados mostraron que el aumento de la duración de las llamadas y el uso del teléfono móvil en personas mayores aumentaba el riesgo de sufrir dolor de cabeza.

(NE) Fasseas MK, Fragopoulou AF, Manta AK, Skouropoliakou A, Vekrellis K, Margaritis LH, Syntichaki P. Respuesta de *Caenorhabditis elegans* a la exposición a la radiación de dispositivos inalámbricos. Int J Radiat Biol. 91:286-293, 2015. (COMO, CE, SER, OX)

Objetivo: El objetivo de este estudio fue examinar el impacto de la radiación electromagnética producida por teléfonos móviles GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles), enrutadores Wi-Fi (Fidelidad Inalámbrica) y teléfonos inalámbricos DECT (Telecomunicaciones Inalámbricas Digitales Mejoradas), en el nematodo *C. elegans*. **Materiales y métodos:** Expusimos poblaciones sincronizadas, de diferentes etapas de desarrollo, a estos dispositivos inalámbricos a niveles de campo E por debajo de las pautas de la ICNIRP (Comisión Internacional de Protección contra Radiación No Ionizante) durante varios períodos de tiempo. Se examinaron gusanos WT (de tipo salvaje) y gusanos mutantes sensibles al envejecimiento o al estrés para detectar cambios en el crecimiento, la fertilidad, la esperanza de vida, la quimiotaxis, la memoria a corto plazo, el aumento de la producción de ROS (especies reactivas de oxígeno) y la apoptosis mediante el uso de genes marcadores fluorescentes o qRT-PCR (reacción en cadena de la polimerasa con transcripción inversa cuantitativa). **Resultados:** No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los animales expuestos y los animales de control en ninguno de los experimentos en lo que respecta a la esperanza de vida, la fertilidad, el crecimiento, la memoria, las ROS, la apoptosis o la expresión génica. **Conclusiones:** El gusano parece ser resistente a esta forma de radiación (pulsada), al menos en las condiciones de exposición utilizadas.

(E) Favre D. Abejas obreras inducidas por teléfonos móviles *Apidologie* 42:270–279, 2011.

(COMO, SER)

El mantenimiento de la abeja melífera en todo el mundo tiene importantes implicaciones ecológicas, económicas y políticas. En el presente estudio, se probaron las ondas electromagnéticas que se originan en los teléfonos móviles para determinar sus posibles efectos sobre el comportamiento de las abejas. Se colocaron teléfonos móviles cerca de las abejas. Se grabó y analizó el sonido que emitían las abejas. Los audiogramas y espectrogramas revelaron que los teléfonos móviles activos tienen un impacto dramático en el comportamiento de las abejas, en particular al inducir la señal de pito de las obreras. En condiciones naturales, el pito de las obreras anuncia el proceso de enjambre de la colonia de abejas o es una señal de una colonia de abejas perturbada.

(NE) Finnie JW, Blumbergs PC, Cai Z, Manavis J. Expresión de la proteína del canal de agua, acuaporina-4, en cerebros de ratones expuestos a campos de radiofrecuencia de teléfonos móviles. *Patología*.

41(5):473-475, 2009a. (COMO, CE, CC)

OBJETIVO: Determinar si la exposición a campos de radiofrecuencia (RF) de teléfonos móviles, ya sea de forma aguda o prolongada, produce una regulación positiva de la proteína del canal de agua, acuaporina-4 (AQP-4). **MÉTODOS:** Utilizando un sistema de exposición diseñado específicamente a 900 MHz, se administró a los ratones una única exposición corporal total de campo lejano a una tasa de absorción específica de 4 W/kg durante 60 minutos o una exposición similar durante 5 días sucesivos por semana durante 104 semanas. Los ratones de control fueron expuestos de forma simulada o se movieron libremente en una jaula para controlar cualquier estrés causado por la restricción en el módulo de exposición. A un grupo de control positivo se le administró una toxina clostridial que se sabe que causa daño endotelial microvascular, edema vasogénico grave y regulación positiva de AQP-4. Los cerebros se fijaron por perfusión con paraformaldehído al 4%, se cortaron secciones coronales de seis niveles y se inmunotñeron para la principal proteína del canal de agua en el cerebro, AQP-4. **RESULTADOS:** No hubo aumento en la expresión de AQP-4 en cerebros expuestos a microondas de teléfonos móviles en comparación con cerebros de control (ratones enjaulados expuestos simuladamente y que se movían libremente) después de una exposición corta o prolongada, mientras que AQP-4 fue sustancialme

CONCLUSIÓN: Los cerebros expuestos a campos de RF de teléfonos móviles durante un período corto (60 minutos) o largo (2 años) no mostraron ninguna regulación positiva detectable inmunohistoquímicamente de la proteína del canal de agua, AQP-4, lo que sugiere que no hubo un aumento significativo en la permeabilidad de la barrera hematoencefálica.

(NE) Finnie JW, Chidlow G, Blumbergs PC, Manavis J, Cai Z. Inducción de proteína de choque térmico en cerebro fetal de ratón como medida de estrés después de la exposición durante toda la gestación a campos de radiofrecuencia de telefonía móvil. *Patología*. 41(3):276-279, 2009b. (AS, LE, CC, DE)

OBJETIVO: Determinar si la exposición del cerebro fetal de ratón a los campos de radiofrecuencia de los teléfonos móviles durante toda la gestación produce una respuesta de estrés detectable por la inducción de proteínas de choque térmico (HSP). MÉTODOS: Utilizando un sistema de exposición diseñado específicamente a 900 MHz, se administró a ratones preñados una única exposición corporal total de campo lejano a una tasa de absorción específica de 4 W/kg durante 60 min/día desde el día 1 hasta el día 19 de gestación. Los ratones de control fueron expuestos simuladamente o se movieron libremente en una jaula para controlar cualquier estrés causado por la restricción en el módulo de exposición. Inmediatamente antes del parto, el día 19, se recogieron los cerebros fetales, se fijaron en paraformaldehído al 4% y se incluyeron en parafina. Se cortaron tres secciones coronales que abarcaban una amplia gama de regiones anatómicas de cada cerebro y se detectó cualquier respuesta al estrés mediante inmunotinción para HSP25, 32 y 70. RESULTADOS: No hubo inducción de HSP32 o 70 en ningún cerebro, mientras que la expresión de HSP25 se limitó a dos núcleos del tronco encefálico y se produjo de forma constante en cerebros expuestos y no expuestos. CONCLUSIÓN: La exposición durante toda la gestación de cerebros de fetos de ratón a campos de radiofrecuencia de teléfonos móviles no produjo ninguna respuesta al estrés utilizando HSP como marcador inmunohistoquímico.

(NE) Finnie JW, Cai Z, Manavis J, Helps S, Blumbergs PC. Activación microglial como medida de estrés en cerebros de ratones expuestos de forma aguda (60 minutos) y prolongada (2 años) a campos de radiofrecuencia de teléfonos móviles. *Patología*. 42(2):151-154, 2010. (AS, CE, CC)

OBJETIVO: Determinar si la exposición aguda o prolongada del cerebro a los campos de radiofrecuencia (RF) de los teléfonos móviles produce la activación de la microglia, que normalmente responde rápidamente a cualquier cambio en su microambiente. MÉTODOS: Utilizando un sistema de exposición diseñado específicamente a 900 MHz, se administró a los ratones una única exposición corporal total de campo lejano a una tasa de absorción específica (SAR) de 4 W/kg durante 60 min (aguda) o cinco días sucesivos por semana durante 104 semanas (a largo plazo). Los ratones de control fueron expuestos simuladamente o se movieron libremente en una jaula para controlar cualquier estrés causado por la inmovilización en el módulo de exposición. También se incluyeron cerebros de control positivo sometidos a una herida de arma blanca para confirmar la capacidad de la microglia para reaccionar a cualquier estrés neuronal. Los cerebros se fijaron por perfusión con paraformaldehído al 4% y se inmunotincieron regiones representativas de la corteza cerebral y el hipocampo para detectar la molécula adaptadora de unión al calcio ionizado (Iba1), un marcador microglial específico. RESULTADOS: No hubo un aumento en la expresión microglial de Iba1 en cerebros expuestos a corto o largo plazo a microondas de telefonía móvil en comparación con cerebros de control (ratones expuestos simuladamente o enjaulados en movimiento libre), mientras que se produjo una activación microglial sustancial en el tejido neural de control positivo dañado. CONCLUSIÓN: La exposición aguda (60 minutos) o de mayor duración (2 años) de cerebros murinos a campos de RF de teléfonos móviles no produjo ninguna activación microglial detectable por inmunotinción de Iba1.

(E) Fragopoulou AF, Miltiadous P, Stamatakis A, Stylianopoulou F, Koussoulakos SL, Margaritis LH. La exposición de todo el cuerpo a GSM 900MHz afecta la memoria espacial en ratones.

Fisiopatología. 17(3):179-187, 2010. (AS, BE)

Se han realizado amplios trabajos a nivel mundial sobre los efectos de la radiación de los teléfonos móviles sobre las funciones cognitivas de las ratas, sin embargo existe una gran controversia sobre la existencia o no de déficits.

El presente trabajo ha sido diseñado para probar los efectos de la radiación de los teléfonos móviles en el aprendizaje y la memoria espacial en ratones *Mus musculus* Balb/c utilizando el laberinto acuático de Morris (una tarea de memoria espacial dependiente del hipocampo), ya que solo existe otro estudio en ratones con un nivel de SAR muy bajo (0,05 W/kg) que no muestra efectos. Hemos aplicado una dosis diaria de 2 h de radiación GSM de 900 MHz pulsada de un teléfono móvil disponible comercialmente durante 4 días a valores de SAR que oscilan entre 0,41 y 0,98 W/kg. El análisis estadístico reveló que durante el aprendizaje, los animales expuestos mostraron un déficit en la transferencia de la información espacial adquirida a lo largo de los días de entrenamiento.

(mayor latencia de escape y distancia nadada, en comparación con los animales expuestos al placebo, en la primera prueba de los días 2 a 4 de entrenamiento). Además, durante la prueba de sondeo de memoria, los animales expuestos al placebo mostraron la preferencia esperada por el cuadrante objetivo, mientras que los animales expuestos no mostraron preferencia, lo que indica que los ratones expuestos tenían déficits en la consolidación y/o recuperación de la información espacial aprendida. Nuestros resultados proporcionan una base para investigaciones más exhaustivas que consideren los informes sobre los efectos no térmicos de los campos electromagnéticos (CEM).

(E) Fragopoulou AF, Samara A, Antonelou MH, Xanthopoulou A, Papadopoulou A, Vougas K, Koutsogiannopoulou E, Anastasiadou E, Stravopodis DJ, Tsangaris GT, Margaritis LH. Respuesta del proteoma cerebral después de la exposición de todo el cuerpo de ratones a teléfonos móviles o radiación base DECT inalámbrica. *Electromagn Biol Med*. 31(4):250-274, 2012. (AS, CE, CH, LI)

El objetivo de este estudio fue investigar los efectos de dos fuentes de campos electromagnéticos (CEM) en el proteoma del cerebelo, hipocampo y lóbulo frontal en ratones Balb/c después de la irradiación corporal completa a largo plazo. Se utilizaron tres grupos de animales divididos equitativamente (6 animales/grupo); el primer grupo fue expuesto a un teléfono móvil típico, a un rango de nivel SAR de 0,17-0,37 W/kg durante 3 h diarias durante 8 meses, el segundo grupo fue expuesto a una base DECT inalámbrica (teléfono/telecomunicaciones inalámbricas digitales mejoradas) a un rango de nivel SAR de 0,012-0,028 W/kg durante 8 h/día también durante 8 meses y el tercer grupo comprendió los animales expuestos simuladamente. El análisis proteómico comparativo reveló que la irradiación a largo plazo de ambas fuentes de campos electromagnéticos alteró significativamente ($p < 0,05$) la expresión de 143 proteínas en total (tan solo 0,003 veces la regulación negativa hasta 114 veces la sobreexpresión). Varias proteínas relacionadas con la función neuronal (es decir, proteína ácida fibrilar glial [GFAP], alfa-sinucleína, factor de maduración glial beta [GMF] y apolipoproteína E [apoE]), proteínas de choque térmico y proteínas del citoesqueleto (es decir, neurofilamentos y tropomodulina) se incluyen en esta lista, así como proteínas del metabolismo cerebral (es decir, aspartato aminotransferasa, glutamato deshidrogenasa) en casi todas las regiones cerebrales estudiadas. El análisis de transferencia Western en proteínas seleccionadas confirmó los datos proteómicos. Los cambios observados en la expresión de proteínas pueden estar relacionados con alteraciones de la plasticidad cerebral, indicativas de estrés oxidativo en el sistema nervioso o involucradas en la apoptosis y podrían explicar potencialmente los riesgos para la salud humana reportados hasta ahora, como dolores de cabeza, alteraciones del sueño, fatiga, déficits de memoria e inducción de tumores cerebrales a largo plazo en condiciones de exposición similares.

(NE) Fritzer G, Göder R, Friege L, Wachter J, Hansen V, Hinze-Selch D, Aldenhoff JB. Efectos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia pulsada a corto y largo plazo sobre el sueño nocturno y las funciones cognitivas en sujetos sanos. *Bioelectromagnetics*. 28(4):316-325, 2007. (HU, BE, EE, SL)

Ha habido un amplio debate público sobre si los campos electromagnéticos de los teléfonos móviles Los teléfonos y sus estaciones base afectan el sueño humano o el funcionamiento cognitivo. Si bien existen evidencias de que el sueño, y en particular el sueño REM, tiene efectos de consolidación de la memoria y el aprendizaje, la alteración del sueño por campos electromagnéticos de radiofrecuencia también podría afectar las funciones cognitivas. Los estudios del sueño realizados anteriormente arrojaron resultados inconsistentes con respecto a la exposición a corto plazo. Además, faltan datos sobre el efecto que la exposición a corto y largo plazo podría tener sobre el sueño y las funciones cognitivas. Por lo tanto, se incluyeron 10 sujetos varones jóvenes y sanos y se registró el sueño nocturno durante ocho noches consecutivas. En la segunda, tercera y última noche, investigamos el sueño nocturno polisomnográfico y las funciones cognitivas.

Después de las noches de adaptación y de referencia, los participantes fueron expuestos a un campo electromagnético de radiofrecuencia definido durante las seis noches siguientes. Analizamos el sueño nocturno polisomnográfico según Rechtschaffen y Kales [1968, Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep of Human Subjects], así como por espectros de potencia y dimensión de correlación. Las funciones cognitivas se investigaron mediante una serie de pruebas neuropsicológicas. El análisis de datos se realizó comparando la noche de referencia con la primera y la última noche de exposición y los dos primeros ciclos de sueño de las respectivas noches. No encontramos efectos significativos, ni en los parámetros de sueño convencionales ni en los espectros de potencia y la dimensión de correlación, ni tampoco hubo efectos significativos en las funciones cognitivas. Con nuestros resultados, no podemos revelar efectos a corto plazo ni acumulativos a largo plazo de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en el sueño nocturno y las funciones cognitivas en sujetos varones jóvenes sanos.

(E) Furtado-Filho OV, Borba JB, Maraschin T, Souza LM, Jose JA, Moreira CF, Saffi J. Efectos de la exposición crónica a la radiación electromagnética de frecuencia ultraalta de 950 MHz en el metabolismo de especies reactivas de oxígeno en la corteza cerebral derecha e izquierda de ratas jóvenes de diferentes edades. *Int J Radiat Biol*. 14 de agosto de 2015:1-17. [Publicado electrónicamente antes de la impresión] (AS, CE, OX, CH, AD)

OBJETIVO: Evaluar el efecto de la radiación electromagnética de ultraalta frecuencia (UHF-EMR) de 950 MHz sobre biomarcadores de daño oxidativo al ADN, proteínas y lípidos en la corteza cerebral izquierda (LCC) y la corteza cerebral derecha (RCC) de ratas neonatas y de 6 días de edad. MATERIALES Y MÉTODOS: Doce ratas se dividieron equitativamente en dos grupos como controles (CR) y expuestas (ER), para cada edad (0 y 6 días). La LCC y la RCC se examinaron en ER y CR después de la exposición.

La exposición a la radiación duró media hora por día durante hasta 27 días (durante todo el embarazo y 6 días después del nacimiento). La tasa de absorción específica varió de 1,32 a 1,14 W/kg. El daño a los lípidos, proteínas y ADN se verificó mediante sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico, proteínas carboniladas (CP) y cometas, respectivamente. La concentración de glucosa en la sangre periférica de las ratas se midió mediante el Accu-Chek Active Kit debido al aumento de CP en RCC. RESULTADOS: En los neonatos, no se detectó ninguna modificación de los biomarcadores evaluados. Por otro lado, hubo un aumento en los niveles de CP en el RCC del ER de 6 días de edad. Curiosamente, la

La concentración de glucosa en sangre disminuyó en este grupo. CONCLUSIONES: Nuestros resultados indican que no hay genotoxicidad ni estrés oxidativo en neonatos y ratas de 6 días. Sin embargo, el RCC tuvo la concentración más alta de CP que no parece ser una consecuencia del estrés oxidativo.

Este estudio es el primero en demostrar que el uso de UHF-EMR provoca diferentes respuestas de daño a las proteínas en el LCC y el RCC.

(E) Gao X, Luo R, Ma B, Wang H, Liu T, Zhang J, Lian Z, Cui X. [Interferencia de la vitamina E en el daño del tejido cerebral por la radiación electromagnética del teléfono celular en ratas embarazadas y fetales].

Wei Sheng Yan Jiu. 42(4):642-646, 2013.[Artículo en chino] (AS, CE, ME, OX, DE)

OBJETIVO: Investigar la interferencia de la vitamina E en el daño del tejido cerebral por la radiación electromagnética de los teléfonos celulares en ratas preñadas y fetales. MÉTODOS: 40 ratas preñadas se dividieron aleatoriamente en cinco grupos (control positivo, control negativo, grupos de dosis baja, media y alta de vitamina E). Los grupos de dosis baja, media y alta de vitamina E fueron suplementados con 5, 15 y 30 mg/ml de vitamina E respectivamente desde el primer día de embarazo.

Y al grupo de control negativo y al grupo de control positivo se les dio aceite de maní sin vitamina E. Todos los grupos, excepto el grupo de control negativo, fueron expuestos a una intensidad de radiación de teléfono celular de 900 MHz durante una hora cada vez, tres veces al día durante 21 días. Después del parto, se tomó el tejido del hipocampo derecho de las ratas fetales de cada grupo y se observó con un microscopio electrónico. Se probó la vitalidad de la superóxido dismutasa (SOD) y la glutatión peroxidasa (GSH-Px), y el contenido de malondialdehído (MDA) en el tejido cerebral de ratas preñadas y fetales. RESULTADOS: En comparación con el grupo de control negativo, los condriosomas en las neuronas y la neuroglia de los tejidos cerebrales estaban hinchados, se encontró un edema leve alrededor del capilar, se concentró y recolectó la cromatina y se formaron burbujas en las células endoteliales vasculares (VEC) en el grupo de control positivo de ratas fetales, mientras que el fenómeno anterior fue poco visible en los grupos de dosis media y alta de vitamina E. Podemos ver cromatina uniforme, mitocondrias abundantes, retículo endoplasmático rugoso y ribosomas libres en el grupo de dosis alta. La apoptosis no se ha encontrado en las secciones de todos los grupos. En el análisis de la actividad antioxidante, en comparación con el grupo de control negativo, la vitalidad de SOD y GSH-Px disminuyó significativamente y el contenido de MDA aumentó significativamente tanto en el grupo de control positivo de ratas preñadas como fetales ($P < 0,05$). En ratas fetales, la vitalidad de SOD y GSH-Px aumentó significativamente en los tejidos cerebrales de los tres grupos de dosis diferentes de vitamina E en comparación con el grupo de control positivo, y se encontró que el contenido de MDA disminuyó significativamente en los grupos de dosis media y alta de vitamina E ($P < 0,05$). También se han encontrado los mismos resultados en el grupo de ratas preñadas de dosis alta, pero en el grupo de dosis media solo se encontró que la actividad de SOD aumentó de manera significativa ($P < 0,05$). Con el aumento de la dosis de vitamina E, la vitalidad de SOD y GSH-Px aumentó y el contenido de MDA disminuyó. CONCLUSIÓN: Bajo la dosis experimental, la vitamina E tiene cierta interferencia en el daño a la capacidad antioxidante y metabolización energética inducida por la radiación electromagnética del teléfono celular en ratas preñadas y ratas fetales.

(E) Geronikolou SA, Chamakou A, Mantzou A, Chrousos G, KanakaGantenbein C. El uso frecuente de teléfonos celulares modifica la respuesta del eje hipotálamo-hipofisario-adrenal a un teléfono celular

Llamada después del estrés mental en niños y adolescentes sanos: un estudio piloto. *Sci Total Environ.* 536:182-188, 2015. (Humana, Bélgica, Filipinas)

OBJETIVO: El eje hipotálamo-hipofisario-adrenal (HPA) es el principal "guardián" de la respuesta del organismo a todo estrés somático o mental. Este estudio prospectivo tiene como objetivo investigar la respuesta del eje HPA a la exposición a una llamada de teléfono celular después del estrés mental en niños y adolescentes sanos y evaluar el posible papel predictivo de los marcadores endocrinos basales para esta respuesta. **SUJETOS Y MÉTODOS:** Se incluyeron en el estudio dos grupos de niños sanos en edad escolar de 11 a 14 años ($12,5 \pm 1,5$), uno que comprendía a los usuarios ocasionales de un teléfono celular (Grupo A; $n = 16$) mientras que el segundo grupo los que lo usan regularmente (Grupo B; $n = 12$). Se obtuvieron muestras de sangre de todos los participantes a las 8:00 am después de un ayuno nocturno de 12 horas para la determinación de los niveles de hormona tiroidea, glucosa, insulina y cortisol. Los participantes realizaron la prueba de estrés social de Trier para niños (TSST-C) (5 minutos de prueba oral seguida de 5 minutos de prueba aritmética). Se obtuvieron muestras de cortisol salivar al inicio, 10 y 20 minutos después de la prueba TSST-C y 10 y 20 minutos después de una llamada telefónica celular de 5 minutos. **RESULTADOS:** Se observaron cambios significativos en los niveles de cortisol salival entre 10 y 20 minutos después de la llamada telefónica celular con diferentes respuestas entre los dos grupos. Los niveles basales de hormona tiroidea parecen predecir la respuesta del cortisol al estrés mental principalmente en el grupo A, mientras que HOMA (evaluación del modelo de homeostasis) no tuvo impacto en la respuesta del cortisol salival en ninguna fase de la prueba, en ninguno de los grupos. **CONCLUSIONES:** La respuesta del eje HPA al teléfono celular después del estrés mental en niños y adolescentes sigue un patrón diferente en usuarios frecuentes que en usuarios ocasionales que parece estar influenciado por los niveles basales de hormona tiroidea.

(E) Gevrek F. Análisis histopatológico, inmunohistoquímico y estereológico del efecto de *Ginkgo biloba* (Egb761) en el hipocampo de ratas expuestas a la radiación de teléfonos celulares a largo plazo. *Histol Histopathol.* 2017 Nov 9;11943. (AS, CE, CC, CH)

Los teléfonos celulares son fuentes importantes de radiación electromagnética (REM) que puede penetrar en el cuerpo humano y plantear graves riesgos para la salud. El uso cada vez más extendido de los sistemas de comunicación móvil ha suscitado inquietudes sobre los efectos de la radiofrecuencia (RF) de los teléfonos celulares en el hipocampo debido a su proximidad a la radiación durante el uso del teléfono celular. Se pretendía investigar los efectos de la exposición a la REM de los teléfonos celulares en el hipocampo de ratas y los posibles efectos contrarrestantes del *ginkgo biloba* (Egb761). Las ratas se dividieron en tres grupos: control, REM y REM+Egb761. Los grupos REM y EMR+Egb761 estuvieron expuestos a la REM de los teléfonos celulares durante un mes. También se administró Egb761 al grupo EMR+Egb761.

En concreto, evaluamos el efecto de la exposición a RF en el hipocampo de ratas a niveles de EMR nocivos (tasa de absorción específica [SAR] de 0,96 W/kg) durante un mes y también investigamos el posible impacto del *ginkgo biloba* (Egb761) utilizando métodos estereológicos, de tinción TUNEL e inmunohistoquímicos. Se observó un aumento de las proteínas apoptóticas (Bax, Acas-3) y una disminución de la inmunorreactividad de la proteína antiapoptótica (Bcl-2) junto con una disminución del recuento total de células piramidales y granulares en el grupo EMR. Se observó una disminución de la inmunorreactividad de Bax y Acas-3 y un aumento de la Bcl-2 en ratas tratadas con Egb761, además de una disminución de las células apoptóticas teñidas con TUNEL y un mayor número total de células viables. En conclusión,

La exposición crónica a los rayos electromagnéticos de los teléfonos móviles puede afectar la viabilidad de las células del hipocampo, y Egb761 puede utilizarse para mitigar algunos de los efectos nocivos.

(E) Ghazizadeh V, Naziroğlu M. La radiación electromagnética (Wi-Fi) y la epilepsia inducen la entrada de calcio y la apoptosis a través de la activación del canal TRPV1 en el hipocampo y el ganglio de la raíz dorsal de ratas. *Metab Brain Dis.* 3 de mayo de 2014. [Publicado electrónicamente antes de la impresión] (AS, CC, CH, OX)

Las tasas de incidencia de la epilepsia y el uso de Wi-Fi en todo el mundo han ido aumentando. TRPV1 es un Ca²⁺ canal permeable y no selectivo, controlado por calor nocivo, estrés oxidativo y capsaicina (CAP). La hipertermia y los efectos oxidantes del Wi-Fi pueden inducir apoptosis y entrada de Ca²⁺ a través de la activación del canal TRPV1 en la epilepsia. Por lo tanto, probamos los efectos de la exposición al Wi-Fi (2,45 GHz) en la afluencia de Ca²⁺, el estrés oxidativo y la apoptosis a través del canal TRPV1 en el ganglio de la raíz dorsal (DRG) murino y el hipocampo de ratas epilépticas inducidas con pentilentetrazol (PTZ). Las ratas en el presente estudio se dividieron en dos grupos como controles y PTZ. Los grupos PTZ se dividieron en dos subgrupos, a saber, PTZ + Wi-Fi y PTZ + Wi-Fi + capsazepina (CPZ). Las neuronas del hipocampo y del DRG se aislaron recientemente de las ratas. El DRG y el hipocampo en los grupos PTZ + Wi-Fi y PTZ + Wi-Fi + CPZ fueron expuestos a Wi-Fi durante 1 hora antes de la estimulación con CAP. Los valores de Ca²⁺ libre citosólico, producción de especies reactivas de oxígeno, apoptosis, despolarización de la membrana mitocondrial, caspasa-3 y -9 en el hipocampo fueron mayores en el grupo PTZ que en el control, aunque los valores de viabilidad celular disminuyeron. La exposición a Wi-Fi indujo efectos adicionales en el aumento de Ca²⁺ citosólico. Sin embargo, el pretratamiento de las neuronas con CPZ da como resultado una protección contra la entrada de Ca²⁺ inducida por la epilepsia, la apoptosis y los daños oxidativos. En los resultados de los experimentos de fijación de parche de célula completa, el tratamiento de DRG con antagonistas del canal de Ca²⁺ [thapsigargin, verapamil + diltiazem, 2-APB, MK-801] indicó que la exposición a Wi-Fi indujo la entrada de Ca²⁺ a través de los canales TRPV1. En conclusión, la epilepsia y el Wi-Fi en nuestro modelo experimental están involucrados en la entrada de Ca²⁺ y la muerte del hipocampo y DRG inducida por estrés oxidativo a través de la activación de los canales TRPV1, y la modulación negativa de la actividad de este canal por el pretratamiento con CPZ puede explicar la actividad neuroprotectora contra el estrés oxidativo.

estrés.

(E) Ghosn R, Yahia-Cherif L, Hugueville L, Ducorps A, Lemaréchal JD, Thuróczy G, de Seze R, Selmaoui B. La señal de radiofrecuencia afecta la banda alfa en el electroencefalograma en reposo. *J Neurofisiol.* 113(7):2753-2759, 2015. (HU, EE)

El objetivo del presente trabajo fue investigar los efectos de los campos electromagnéticos (CEM) de radiofrecuencia (RF) en el EEG en reposo humano con un control de algunos parámetros que se sabe que afectan la banda alfa, como la impedancia de los electrodos, el cortisol salival y la cafeína. Se registraron datos de EEG en reposo con los ojos abiertos y con los ojos cerrados en 26 sujetos jóvenes sanos en dos condiciones: exposición simulada y exposición real en un diseño cruzado, contrabalanceado y doble ciego.

Se calculó la potencia espectral de los ritmos del EEG para la banda alfa (8-12 Hz). Se recogieron muestras de saliva antes y después del estudio. Se evaluaron el cortisol y la cafeína en la saliva mediante ELISA y HPLC, respectivamente. Se registró la impedancia de los electrodos al comienzo de cada ejecución.

En comparación con la sesión simulada, la sesión de exposición mostró una disminución estadísticamente significativa ($P < 0,0001$) de la potencia espectral de la banda alfa durante la condición de ojos cerrados. Este efecto persistió en la sesión posterior a la exposición ($P < 0,0001$). No se detectaron cambios significativos en

Impedancia de electrodos, cortisol salival y cafeína en la sesión simulada en comparación con la sesión de exposición. Estos resultados sugieren que los campos electromagnéticos GSM de un teléfono móvil afectan la banda alfa dentro de la potencia espectral del EEG humano en reposo.

(E) Gökçek-Saraç Ç, Er H, Kencebay Manas C, Kantar Gok D, Özen Ş, Derin N.

Efectos de la exposición aguda y crónica a la radiación electromagnética de 900 MHz y 2100 MHz sobre la vía de señalización del receptor de glutamato. Int J Radiat Biol. 93(9):980-989, 2017. (AC, CE, CC, CH)

OBJETIVO: Demostrar los efectos moleculares de la exposición aguda y crónica a la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) de 900 y 2100 MHz sobre el nivel/actividad hipocampal de algunas de las enzimas -incluyendo PKA, CaMKII α , CREB y p44/42 MAPK- de las vías de señalización relacionadas con el receptor de N-metil-D-aspartato (NMDAR). MATERIALES Y MÉTODOS: Las ratas se dividieron en los siguientes grupos: ratas simuladas y ratas expuestas a 900 y 2100 MHz RF-EMR durante 2 h/día para la exposición aguda (1 semana) o crónica (10 semanas), respectivamente. Se utilizaron ensayos de Western blot y medición de actividad para evaluar el nivel/actividad de las enzimas seleccionadas. RESULTADOS: Los resultados obtenidos revelaron que el nivel/actividad hipocampal de las enzimas seleccionadas fue significativamente mayor en los grupos crónicos en comparación con los grupos agudos tanto en la exposición a RF-EMR de 900 como de 2100 MHz. Además, el nivel/actividad hipocampal de enzimas seleccionadas fue significativamente mayor a 2100 MHz RF-EMR que a 900 MHz RF-EMR tanto en los grupos agudos como crónicos. CONCLUSIONES: El presente estudio proporciona evidencia experimental de que tanto la duración de la exposición (1 semana frente a 10 semanas) como las diferentes frecuencias portadoras (900 frente a 1000 MHz) son significativamente más altas que las de los pacientes con RF-EMR. 2100 MHz) tuvo diferentes efectos sobre la expresión de proteínas del hipocampo en ratas Wistar, lo que podría alentar más investigaciones sobre la protección contra la exposición a RF-EMR.

(E) Gökçek-Saraç Ç, Akçay G, Karakurt S, AteşK, Özen Ş, Derin N. Posibles efectos de diferentes dosis de radiación electromagnética de 2,1 GHz en el aprendizaje y niveles de biomarcadores colinérgicos en el hipocampo en ratas Wistar. Electromagn Biol Med 2 de enero de 2021;40(1):179-190.

(América, Europa, Asia y América del Norte)

El presente estudio evaluó si la exposición a corto plazo a diferentes dosis de radiación electromagnética de radiofrecuencia de 2,1 GHz (RF-EMR) tiene diferentes efectos sobre el comportamiento de las ratas y los niveles hipocampales de biomarcadores colinérgicos centrales. Los animales se dividieron en tres grupos iguales, a saber: el grupo 1 fue el grupo de exposición simulada, el grupo 2-3 fue expuesto a dosis de 45 V/m y 65 V/m de frecuencia de 2,1 GHz durante 1 semana respectivamente. Se llevaron a cabo simulaciones de dosimetría numérica. La ubicación de objetos y el laberinto en Y se utilizaron como tareas de comportamiento. Los niveles de expresión de proteínas y ARNm de AChE, ChAT y VAcHT en el hipocampo se probaron mediante Western Blotting y PCR en tiempo real. Se observó el deterioro del rendimiento de las ratas sometidas a una dosis de 65 V/m de RF-EMR de 2,1 GHz tanto en la ubicación de objetos como en las tareas del laberinto en Y. Los niveles hipocampales de AChE, ChAT y VAcHT fueron significativamente más bajos en ratas expuestas a una dosis de 65 V/m de RF-EMR de 2,1 GHz que en otras. El efecto más fuerte de la dosis de "65 V/m" tanto en el desempeño conductual dependiente del hipocampo de la rata como en los niveles hipocampales de biomarcadores colinérgicos puede deberse al efecto más fuerte de la dosis de "65 V/m" donde los hocicos de las ratas se ubicaron a la distancia más cercana de la antena monopolar. Además, los valores simulados de SAR fueron altos para intensidades de campo eléctrico de 65 V/m. Por primera vez, informamos los posibles efectos dependientes de la dosis de la exposición a corto plazo a la radiación de 2,1 GHz en el desempeño conductual de las ratas, así como en

Niveles de biomarcadores colinérgicos en el hipocampo. Se necesitan más estudios para comprender los mecanismos por los cuales la RF-EMR influye en la función del sistema colinérgico central en el cerebro.

(NE) Grafström G, Nittby H, Brun A, Malmgren L, Persson BR, Salford LG, Eberhardt J.

Exámenes histopatológicos de cerebros de ratas después de una exposición prolongada a la radiación de teléfonos móviles GSM-900. Brain Res Bull. 77(5):257-263, 2008. (AS, CE, ME, CH, LI)

Para imitar la situación de la vida real, con exposición a menudo durante toda la vida a los campos electromagnéticos emitidos por los teléfonos móviles, hemos investigado en un modelo de rata los efectos de exposiciones repetidas durante un largo período a la radiación del Sistema Global para Comunicaciones Móviles de 900 MHz (GSM-900). De un total de 56 ratas, 32 fueron expuestas una vez por semana en un período de 2 horas, durante un total de 55 semanas, a diferentes tasas de absorción específica (SAR) promedio de cuerpo entero (de una media de 0,6 y 60 mW/kg al inicio del período experimental). Los animales fueron expuestos en una cámara de línea de transmisión electromagnética transversal (célula TEM) a la radiación emitida por un teléfono de prueba GSM-900. Dieciséis animales fueron expuestos simuladamente y ocho animales fueron controles de jaula, que nunca salieron de la casa de los animales. Después de las pruebas de comportamiento, 5-7 semanas después de la última exposición, se evaluaron los cerebros en busca de alteraciones histopatológicas como extravasación de albúmina, neuronas oscuras, agregación de lipofuscina y signos de cambios neuronales citoesqueléticos y neuríticos del tipo observado en el envejecimiento humano. En este estudio, no se encontró ninguna alteración significativa de ninguno de estos parámetros histopatológicos al comparar los animales expuestos a GSM con los controles expuestos simuladamente.

(NE) Gupta N, Goyal D, Sharma R, Arora KS. Efecto del uso prolongado del teléfono móvil en los potenciales evocados auditivos del tronco encefálico. J Clin Diagn Res. 9(5):CC07-9, 2015. (HU, CE, EE)

OBJETIVOS: Los teléfonos móviles se utilizan ampliamente en todo el mundo. Las ondas electromagnéticas generadas por los teléfonos móviles han suscitado preocupación, ya que pueden tener efectos adversos en el sistema auditivo humano debido al uso diario de los teléfonos móviles. El objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos del uso prolongado del teléfono móvil en las respuestas auditivas evocadas del tronco encefálico (ABR). MATERIALES Y MÉTODOS: Se llevó a cabo un estudio retrospectivo, transversal y de casos y controles en un hospital de atención terciaria. Se seleccionaron 100 sujetos sanos de 18 a 30 años de ambos sexos, de los cuales 67 sujetos eran usuarios de teléfonos móviles GSM de largo plazo (utilizando el teléfono móvil durante más de 1 año) y 33 eran controles que no utilizaban teléfonos móviles. Se investigó la ABR de ambos grupos y se estudiaron los cambios en ambos oídos de los casos y los controles para determinar los efectos de la exposición electromagnética.

RESULTADOS: No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en las latencias, latencias interpico y amplitudes de las ondas ABR entre casos y controles. CONCLUSIÓN: Nuestro estudio muestra que el uso prolongado de teléfonos móviles no afecta la propagación de estímulos eléctricos a lo largo del nervio auditivo hasta los centros auditivos del tronco encefálico.

(E) Gupta SK, Mesharam MK, Krishnamurthy S. La exposición a la radiación electromagnética de 2450 MHz provoca déficit cognitivo con disfunción mitocondrial y activación de la vía intrínseca de apoptosis en ratas. J Biosci. 43(2):263-276, 2018. (AS, CE, BE, MA, CC)

La radiación electromagnética (REM) puede inducir o modular varios trastornos neuroconductuales.

La duración y frecuencia de la exposición a la radiación electromagnética es crítica para el desarrollo de trastornos cognitivos. Aunque la radiación electromagnética de 2450 MHz se utiliza ampliamente, sus efectos sobre la cognición en relación con la función mitocondrial y la apoptosis proporcionarían una mejor comprensión de sus efectos fisiopatológicos. Por lo tanto, un estudio comparativo de diferentes frecuencias de exposición a la radiación electromagnética proporcionaría información valiosa sobre los efectos de frecuencias discretas de la radiación electromagnética sobre la cognición. Se expusieron ratas macho a la radiación electromagnética (900, 1800 y 2450 MHz) todos los días durante 1 h durante 28 días consecutivos. Se evaluó el comportamiento cognitivo en términos de nuevas entradas en los brazos del paradigma del laberinto en Y cada semana después de 1 h de la última exposición a la radiación electromagnética. Los animales expuestos a la radiación electromagnética de 2450 MHz mostraron déficits cognitivos significativos. La radiación electromagnética de 2450 MHz provocó la pérdida de la función y la integridad mitocondriales, un aumento en la expresión de beta amiloide. Hubo liberación de citocromo-c y activación de factores apoptóticos como la caspasa-9 y -3 en el hipocampo. Además, hubo una disminución en los niveles de acetilcolinesterasa y aumento de la actividad de la acetilcolinesterasa, lo que indica deterioro del sistema colinérgico.

Por lo tanto, la exposición a EMR-2450 en ratas provocó un déficit cognitivo con cambios fisiopatológicos relacionados en la función mitocondrial y colinérgica y en la amiloidogénesis.

(NE) Guxens M, van Eijsden M, Vermeulen R, Loomans E, Vrijkotte TG, Komhout H, van Strien RT, Huss A. Uso materno de teléfonos móviles e inalámbricos durante el embarazo y problemas de conducta en niños de 5 años. *J Epidemiol Salud Comunitaria*. 5 de febrero de 2013. [Publicación electrónica antes de la impresión] (HU, DE, BE)

ANTECEDENTES: Un estudio previo encontró una asociación entre el uso materno del teléfono celular durante el embarazo y los problemas de conducta infantiles informados por la madre a los 7 años.

Los teléfonos móviles y los teléfonos inalámbricos representan la principal fuente de exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en la cabeza. Por lo tanto, evaluamos la asociación entre el uso materno de teléfonos móviles e inalámbricos durante el embarazo y los problemas de conducta infantiles informados por los profesores y las madres a los 5 años. MÉTODOS: El estudio se integró en el estudio Amsterdam Born Children and their Development, un estudio de cohorte de nacimiento basado en la población en Ámsterdam, Países Bajos (2003-2004). Los profesores y las madres informaron de los problemas de conducta de los niños utilizando el Cuestionario de fortalezas y dificultades a los 5 años. Se preguntó sobre el uso materno de teléfonos móviles e inalámbricos durante el embarazo cuando los niños tenían 7 años. RESULTADOS: Se incluyó un total de 2618 niños. En comparación con los no usuarios, aquellos expuestos al uso prenatal de teléfonos celulares mostraron una asociación mayor pero no significativa de tener problemas generales de conducta informados por el maestro, aunque sin relación dosis-respuesta con el número de llamadas (OR = 2,12 (IC del 95%: 0,95 a 4,74) para <1 llamada/día, OR = 1,58 (IC del 95%: 0,69 a 3,60) para 1-4 llamadas/día y OR = 2,04 (IC del 95%: 0,86 a 4,80) para ≥5 llamadas/día). Los OR para tener problemas generales de conducta informados por el maestro en todas las categorías de uso de teléfonos inalámbricos fueron inferiores a 1 o cercanos a la unidad. Las asociaciones del uso materno de teléfonos celulares e inalámbricos con problemas generales de conducta informados por la madre siguieron siendo no significativas. Se encontraron asociaciones no significativas para las subescalas de problemas de conducta específicos. CONCLUSIÓN: Nuestros resultados no sugieren que el uso materno de teléfonos celulares o teléfonos inalámbricos durante el embarazo aumente las probabilidades de problemas de conducta en sus hijos.

(NE) Haarala C, Takio F, Rintee T, Laine M, Koivisto M, Revonsuo A, Hämäläinen H. Exposición a teléfonos móviles de onda continua y pulsada en el hemisferio izquierdo versus derecho: efectos sobre la función cognitiva humana. *Bioelectromagnética*. 28(4):289-295, 2007. (HU, BE)

Se estudiaron los posibles efectos de los campos electromagnéticos (CEM) de onda continua (CW) y modulados por pulsos (PM) sobre la cognición humana en 36 sujetos varones sanos. Realizaron tareas cognitivas mientras estaban expuestos a CW, PM y CEM simulados. Los sujetos realizaron las mismas tareas dos veces durante cada sesión; una con exposición del lado izquierdo y otra con exposición del lado derecho. Las condiciones de CEM se distribuyeron en tres sesiones de prueba, cada sesión separada por una semana. El hemisferio expuesto, la condición de CEM y el orden de prueba se equilibraron en todos los sujetos.

Utilizamos un diseño doble ciego: tanto el sujeto como el experimentador desconocían la condición del campo electromagnético. El campo electromagnético se creó con un generador de señales conectado a través de un amplificador a una antena de teléfono ficticia, creando una distribución de potencia de salida similar a la del teléfono móvil comercial original. El campo electromagnético tenía una potencia de salida continua de 0,25 W (CW) o una potencia de salida pulsada con una media de 0,25 W. Un grupo de control adicional de 16 voluntarios varones sanos realizó las mismas tareas sin ningún equipo de exposición para ver si la mera presencia del equipo podría haber afectado al rendimiento de los sujetos. No se encontraron efectos entre las diferentes condiciones de campo electromagnético, las exposiciones de hemisferios separados o entre el grupo de control y el experimental. En conclusión, los resultados actuales indican que los teléfonos móviles normales no tienen un efecto discernible sobre la función cognitiva humana medida mediante pruebas de comportamiento.

(E) Haghani M, Shabani M, Moazzami K. La exposición materna a teléfonos móviles afecta negativamente a las propiedades electrofisiológicas de las neuronas de Purkinje en crías de ratas. *Neuroscience*. 29 de julio de 2013. pii: S0306-4522(13)00643-X. doi: 10.1016/j.neuroscience.2013.07.049. [Publicado electrónicamente antes de la impresión] (AS, CE, EE, CC, DE) **sin efecto conductual.**

Las radiaciones de campos electromagnéticos (CEM) emitidas por los teléfonos móviles pueden causar daños estructurales a las neuronas. Con el aumento del uso de teléfonos móviles en todo el mundo, aumentan las preocupaciones sobre sus posibles efectos en el sistema nervioso. En el presente estudio, nos propusimos dilucidar los posibles efectos de la exposición prenatal a CEM en el cerebelo de crías de ratas Wistar. Las ratas del grupo CEM estuvieron expuestas a una radiación CEM pulsada de 900 MHz durante seis horas al día durante todo el período de gestación. Se evaluaron diez crías de cada grupo para realizar evaluaciones conductuales y electrofisiológicas. Las disfunciones conductuales relacionadas con el cerebelo se analizaron mediante tareas funcionales dependientes del cerebelo y de aprendizaje motor (pruebas de Rotarod acelerado, de suspensión y de campo abierto). Se utilizaron registros de fijación de parche de célula completa para las evaluaciones electrofisiológicas. Los resultados del presente estudio no mostraron ninguna anomalía conductual en ratas expuestas a radiación CEM crónica. Sin embargo, los registros de fijación de parche de célula completa revelaron una disminución de la excitabilidad neuronal de las células de Purkinje en ratas expuestas a CEM.

Los cambios más destacados incluyeron la amplitud de la hiperpolarización posterior, la frecuencia de las puntas, la mitad del ancho y la latencia de la primera punta. En conclusión, los resultados del presente estudio muestran que la exposición prenatal a los campos electromagnéticos produce alteraciones en las propiedades electrofisiológicas de las neuronas de Purkinje. Sin embargo, estos cambios pueden no ser lo suficientemente graves como para alterar las tareas funcionales dependientes del cerebelo.

(E) Hao D, Yang L, Chen S, Tong J, Tian Y, Su B, Wu S, Zeng Y. Efectos de la exposición prolongada a campos electromagnéticos en el aprendizaje espacial y la memoria en ratas. *Neurol Sci.* 34:157-164, 2013. (AS, CE, BE, CC, EE)

Con el desarrollo de la industria de las comunicaciones, el teléfono móvil desempeña un papel importante en la vida diaria. Se ha convertido en una gran preocupación si la radiación electromagnética emitida por el teléfono móvil causa o no efectos adversos en la función cerebral. Este artículo investigó el efecto del campo electromagnético en el aprendizaje espacial y la memoria en ratas. Se dividieron 32 ratas Wistar entrenadas en dos grupos: grupo de exposición y grupo de control. El grupo de exposición estuvo expuesto a un campo electromagnético (CEM) de teléfono móvil de 916 MHz y 10 W/m² durante 6 h al día, 5 días a la semana, 10 semanas. Se registró el tiempo de finalización, el número total de errores y las señales de descarga neuronal mientras las ratas buscaban comida en un laberinto radial de ocho brazos cada fin de semana. Las señales neuronales de una rata expuesta y una rata de control en el laberinto se obtuvieron mediante los conjuntos de microelectrodos implantados en sus regiones hipocámpales. Se puede ver que durante las semanas 4 y 5 del experimento, el tiempo de finalización promedio y la tasa de error del grupo de exposición fueron más largos y mayores que los del grupo de control ($p < 0,05$). Durante las semanas 1-3 y 6-

9, estaban cerca una de la otra. Las neuronas del hipocampo mostraron patrones de activación irregulares y más picos con intervalos entre picos más cortos durante todo el período del experimento. Esto indica que el campo electromagnético de 916 MHz influye en el aprendizaje y la memoria de las ratas hasta cierto punto durante un período de exposición, y las ratas pueden adaptarse a la exposición a los campos electromagnéticos a largo plazo.

(E) Hao Y, Yang X, Chen C, Yuan-Wang, Wang X, Li M, Yu Z. La vía de señalización STAT3 está involucrada en la activación de la microglía inducida por campos electromagnéticos de 2,45 GHz. *Int J Radiat Biol.* 86(1):27-36, 2010. (CS, CH, OX)

OBJETIVO: La activación de la microglía desempeña un papel fundamental en el inicio y la progresión de la lesión del sistema nervioso central (SNC). El objetivo del presente trabajo fue investigar la activación de la microglía y la participación del transductor de señales y activador de la transcripción 3 (STAT3) en la activación de la microglía después de la exposición a campos electromagnéticos (CEM) de 2,45 GHz. **MATERIALES Y MÉTODOS:** En este estudio, las células microgliales murinas N9 se expusieron a CEM de 2,45 GHz, las expresiones proteicas de STAT3, Janus Tirocina quinasa 1 y 2 (JAK1 y JAK2), fósforo-(Try705)STAT3 y la actividad de unión al ADN de STAT3 se examinaron mediante análisis de transferencia Western y ensayo de desplazamiento de movilidad por electroforesis (EMSA). Los niveles del derivado de óxido nítrico (NO) nítrico se determinaron en el medio de cultivo mediante la reacción de Griess. La expresión de ARNm del factor de necrosis tumoral alfa (TNF-alfa) y de la óxido nítrico sintasa inducible (iNOS) se detectó mediante transcripción inversa y reacción en cadena de la polimerasa (RT-PCR). **RESULTADOS:** Se observó un aumento significativo de la capacidad de unión del STAT3 al ADN después de la exposición. En consonancia con esto, los campos electromagnéticos indujeron rápidamente la fosforilación de STAT3 y activaron JAK1 y JAK2. Además, la exposición a campos electromagnéticos aumentó los niveles de transcripción de los genes asociados a la inflamación, iNOS y TNF-alfa, que se informa que contienen elementos de unión a STAT en su región promotora. P6, un inhibidor de JAK, redujo la inducción de iNOS y TNF-alfa, la actividad de unión al factor nuclear y la activación de STAT3 en la microglía estimulada por campos electromagnéticos.

CONCLUSIÓN: Estos resultados proporcionan evidencia de que la exposición a campos electromagnéticos puede iniciar la

La activación de las células de microglia y la señalización STAT3 intervienen en la activación microglial inducida por EMF.

(E) Hardell L, Söderqvist F, Carlberg M, Zetterberg H, Mild KH. Exposición a las emisiones de teléfonos inalámbricos y a la proteína beta-traza sérica. *Int J Mol Med.* 26(2):301-306, 2010. (HU, CH, SL)

La proteína beta-traza, o tipo lipocalina de la sintetasa de prostaglandina D, se sintetiza en el plexo coroideo, las leptomeninges y los oligodendrocitos del sistema nervioso central y se secreta en el líquido cefalorraquídeo. La proteína beta-traza es la enzima clave en la síntesis de prostaglandina D₂, una neurohormona endógena promotora del sueño en el cerebro.

En algunos estudios, los campos electromagnéticos (CEM) en el rango de radiofrecuencia (RF) se han asociado con trastornos del sueño. Estudiamos la concentración de proteína beta-traza en sangre en relación con las emisiones de los teléfonos inalámbricos. Este estudio incluyó a 62 personas de entre 18 y 30 años.

La concentración de proteína beta-traza disminuyó con el aumento del número de años de uso de un teléfono inalámbrico, lo que arrojó un coeficiente beta negativo = -0,32, intervalo de confianza del 95%: -0,60 a -

0,04. Además, el uso acumulado en horas arrojó un coeficiente beta negativo, aunque no estadísticamente significativo. De las 62 personas, 40 participaron en un estudio experimental con exposición de 30 minutos a una señal GSM de 890 MHz. No se encontró ningún cambio estadísticamente significativo de la proteína beta-traza. En un estudio similar de los 22 participantes restantes sin exposición, la proteína beta-traza aumentó significativamente con el tiempo, probablemente debido a una situación relajada. Las emisiones de campos electromagnéticos pueden regular a la baja la síntesis de la proteína beta-traza. Este mecanismo podría estar involucrado en los trastornos del sueño informados en personas expuestas a campos de RF. Los resultados deben interpretarse con cautela, ya que el uso de teléfonos móviles e inalámbricos fue informado por los propios participantes. El conocimiento de la condición de exposición en el estudio experimental puede haber influido en las concentraciones de proteína beta-traza.

(NE) Hareuveny R, Eliyahu I, Luria R, Meiran N, Margalot M. Efectos cognitivos de las células

Teléfonos: un posible papel de los factores de radiación no relacionados con la radiofrecuencia. *Bioelectromagnetismo.* 32(7):585-588, 2011. (Véase también: Luria et al., 2009) (HU, BE)

Algunos estudios han demostrado que las funciones cognitivas de los seres humanos pueden verse alteradas cuando se exponen a la radiación de radiofrecuencia (RFR) emitida por los teléfonos móviles. En dos estudios recientes, hemos descubierto que la duración del experimento y el lado de exposición (es decir, la ubicación del teléfono, derecha o izquierda) pueden tener una influencia importante en la detección de dichos efectos. En este breve experimento de seguimiento, 29 sujetos masculinos diestros se dividieron en dos grupos. Cada sujeto tenía dos teléfonos móviles estándar conectados a ambos lados de su cabeza. Los sujetos realizaron una tarea de memoria de trabajo espacial que requería una respuesta de la mano izquierda o de la mano derecha bajo una de las dos condiciones de exposición: lado izquierdo de la cabeza o lado derecho. A diferencia de nuestros estudios anteriores, en este trabajo se conectaron antenas externas ubicadas lejos de los sujetos a los teléfonos móviles.

teléfonos. Esta configuración evita cualquier emisión de RFR desde la antena interna, reduciendo drásticamente la exposición a RFR. A pesar de eso, los resultados siguen siendo similares a los obtenidos en nuestro trabajo anterior. Estos resultados indican que algunos de los efectos atribuidos anteriormente a RFR pueden ser el resultado de algunos factores de confusión.

(E) Hasan I, Jahan MR, Islam MN, Islam MR. Efecto de la exposición a la radiación de teléfonos móviles de 2400 MHz sobre el comportamiento y la morfología del hipocampo en el modelo de ratón suizo.

Revista Saudí de Ciencias Biológicas 2022, 29(1):102-110. (Asociación de científicos, científicos, ingenieros y mecánicos)

La exposición del sistema nervioso a campos electromagnéticos puede provocar cambios neurológicos. En la mayoría de los estudios se han estudiado los efectos de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja, como la radiación de segunda y tercera generación. El estudio actual tuvo como objetivo explorar la radiación de teléfonos celulares de cuarta generación sobre la morfología y el comportamiento del hipocampo en ratones. Se clasificaron aleatoriamente ratones macho albinos suizos (n = 30) en 3 grupos: control, 40 min y 60 min de exposición a radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) de 2400 MHz diariamente durante 60 días. Los ratones de control se alojaron en los mismos entornos pero no se expusieron a nada. Se evaluaron los comportamientos similares a la ansiedad utilizando el laberinto elevado en cruz. Para el examen histológico y estereológico, se diseccionó el cerebro de la cavidad craneal. En cortes cerebrales teñidos con violeta de cresilo, se contó el número de neuronas piramidales en el cuerno de amonio del hipocampo. En los ratones expuestos en comparación con los ratones de control, se observó un aumento significativo en el comportamiento similar a la ansiedad. Las observaciones histológicas mostraron muchas células citoplasmáticas negras y azul oscuro con alteraciones degenerativas de morfología encogida en el hipocampo neuronal en los ratones expuestos a la radiación. En el hipocampo del ratón RF-EMR, los análisis estereológicos revelaron una disminución significativa en las neuronas piramidales y granulares en comparación con los controles. Nuestros hallazgos sugieren que la radiación de los teléfonos celulares RF-EMR de 2400 MHz afecta la integridad estructural del hipocampo, lo que podría provocar cambios de comportamiento como la ansiedad. Sin embargo, nos alerta sobre los posibles efectos perjudiciales a largo plazo de la exposición a la RF-EMR.

(E) Hassanshahi A, Shafeie SA, Fatemi I, Hassanshahi E, Allahtavakoli M, Shabani M, Roohbakhsh A, Shamsizadeh A. El efecto de las ondas electromagnéticas de Wi-Fi en tareas de reconocimiento de objetos unimodales y multimodales en ratas macho. Ciencia neuronal. 22 de marzo de 2017. doi: 10.1007/s10072-017-2920-y. [Epub antes de la impresión] (AS, CE, BE, CC)

Las ondas electromagnéticas de Internet inalámbrica (Wi-Fi) (2,45 GHz) tienen un uso generalizado en casi todas partes, especialmente en nuestros hogares. Teniendo en cuenta los informes recientes sobre algunos efectos nocivos de las señales de Wi-Fi en el sistema nervioso, este estudio tuvo como objetivo investigar el efecto de la radiación de Wi-Fi de 2,4 GHz en la integración multisensorial en ratas. Este estudio experimental se realizó en 80 ratas Wistar macho que se asignaron a grupos de exposición y simulación. La exposición a Wi-Fi a microondas de 2,4 GHz [en modo de identificador de conjunto de servicios (23,6 dBm y 3% para potencia y ciclo de trabajo, respectivamente)] se realizó durante 30 días (12 h/día). La tarea de reconocimiento de objetos visotáctiles (CMOR) intermodal se realizó mediante cuatro variaciones de la prueba de reconocimiento de objetos espontáneos (SOR), que incluyen pruebas SOR estándar, SOR táctil, SOR visual y CMOR. Se calculó una relación de discriminación para evaluar la preferencia del animal por el objeto nuevo. Los niveles de expresión del ARNm de M1 y GAT1 en el hipocampo se evaluaron mediante RT-PCR cuantitativa en tiempo real.

Los resultados demostraron que las ratas en los grupos de exposición a Wi-Fi no pudieron discriminar significativamente entre los objetos nuevos y familiares en ninguna de las pruebas SOR estándar, SOR táctil, SOR visual y CMOR. La expresión de los receptores M1 aumentó

tras la exposición a Wi-Fi. En conclusión, los resultados de este estudio mostraron que la exposición crónica a las ondas electromagnéticas de Wi-Fi podría perjudicar la codificación unimodal y transmodal de la información.

(E) Hässig M, Wullschleger M, Naegeli H, Kupper J, Spiess B, Kuster N, Capstick M, Murbach M. Influencia de la radiación no ionizante de las estaciones base en la actividad de las proteínas redox en bovinos. BMC Vet Res. 19 de junio de 2014;10:136. (AS, CE, BE, OX)

ANTECEDENTES: La influencia de los campos electromagnéticos en la salud de los seres humanos y los animales sigue siendo un tema intensamente debatido e investigado científicamente (Prakt Tierarzt 11:15-20, 2003; Umwelt Medizin Gesellschaft 17:326-332, 2004; J Toxicol Environment Health, Part B 12:572-597, 2009). Estamos rodeados de numerosos campos electromagnéticos de intensidad variable, procedentes de equipos electrónicos y sus cables de alimentación, de líneas eléctricas de alta tensión y de antenas de radio, televisión y comunicaciones móviles. En particular, estas últimas son las que causan controversia, ya que a todo el mundo le gusta tener una buena recepción móvil en cualquier momento y en cualquier lugar, mientras que nadie quiere tener una antena de estación base de este tipo cerca.

RESULTADOS: En este experimento, el NIR ha provocado cambios en las actividades enzimáticas. Algunas enzimas fueron desactivadas, otras activadas por el NIR. Además, se observaron patrones de comportamiento individuales. Mientras que algunas vacas reaccionaron a la radiación NIR, otras no reaccionaron en absoluto, o incluso de forma inversa. **CONCLUSIÓN:** Los resultados actuales coinciden con la información de la literatura, según la cual la radiación NIR produce cambios en las proteínas redox, y que hay individuos que son sensibles a la radiación y otros que no lo son. Sin embargo, esto último no se pudo atribuir de forma distintiva: hay vacas que reaccionan claramente con una enzima mientras que no reaccionan en absoluto con otra enzima, o incluso a la inversa. El enfoque del estudio de probar diez vacas cada diez veces durante tres fases ha demostrado ser adecuado. No obstante, los estudios futuros deberían establecer la fase posterior a la exposición más adelante.

(E) He GL, Luo Z, Shen TT, Li P, Yang J, Luo X, Chen CH, Gao P, Yang XS. Inhibición de STAT3- y la síntesis de PGE2 dependiente de MAPK mejora la fagocitosis del péptido β -amiloide fibrilar (1-42) a través del receptor EP2 en células microgliales N9 estimuladas por EMF. J Neuroinflammation. 13(1):296, 2016. (CS, CH)

ANTECEDENTES: Los procesos neuroinflamatorios relacionados con la prostaglandina E2 (PGE2) son frecuentes en varias enfermedades y afecciones neurológicas. La carga amiloide se correlaciona con la activación de los receptores E-prostanoides (EP) 2 por la PGE2 en la enfermedad de Alzheimer. Previamente demostramos que la exposición a campos electromagnéticos (CEM) puede inducir respuestas proinflamatorias y la depresión de la fagocitosis en células microgliales, pero las vías de señalización involucradas en la fagocitosis de β -amiloide fibrilar ($fA\beta$) en células microgliales expuestas a CEM son poco conocidas. Dado el importante papel de la PGE2 en los procesos fisiopatológicos neuronales, investigamos el mecanismo de señalización relacionado con la PGE2 en la fagocitosis inmunomoduladora de células microgliales N9 estimuladas por CEM (células N9).

MÉTODOS: Las células N9 fueron expuestas a campos electromagnéticos con o sin pretratamiento con inhibidores selectivos de la ciclooxigenasa-2 (COX-2), la quinasa Janus 2 (JAK2), el transductor de señales y activador de la transcripción 3 (STAT3) y las quinasas de proteínas activadas por mitógenos (MAPK) y antagonistas de los receptores de PG EP1-4.

La PGE2 endógena se cuantificó mediante inmunoensayos enzimáticos. La capacidad fagocítica de las células N9 se evaluó en función de la intensidad de fluorescencia del péptido β -amiloide fibrilar marcado con fluorescencia (1-42) (fA β 42) engullido, medido utilizando un citómetro de flujo y un microscopio de fluorescencia. Los efectos de los agentes farmacológicos sobre la microglia activada por EMF se investigaron en función de las expresiones de JAK2, STAT3, p38/ERK/JNK MAPKs, COX-2, prostaglandina E sintasa-1 microsomal (mPGES-1) y EP2 utilizando PCR en tiempo real y/o transferencia Western. **RESULTADOS:** La exposición a EMF aumentó significativamente la producción de PGE2 y disminuyó la fagocitosis de fA β 42 marcado con fluorescencia por las células N9. Los inhibidores selectivos de COX-2, JAK2, STAT3 y MAPK redujeron claramente la liberación de PGE2 y mejoraron la fagocitosis de la microglia después de la exposición a los campos electromagnéticos. Los agentes farmacológicos suprimieron la fosforilación de JAK2-STAT3 y MAPK, lo que condujo a la mejora de la capacidad fagocítica de las células N9 estimuladas por los campos electromagnéticos.

Los estudios antagonistas de los receptores EP1-4 mostraron que los EMF deprimieron la fagocitosis de fA β 42 a través del sistema PGE2, que está vinculado a los receptores EP2. **CONCLUSIONES:** Este estudio indica que la exposición a EMF podría inducir depresión fagocítica a través de JAK2-

Vías de señalización del receptor PGE2-EP2 dependientes de STAT3 y MAPK en la microglía.

Por lo tanto, la inhibición farmacológica de la síntesis de PGE2 y de los receptores EP2 puede ser una estrategia terapéutica potencial para combatir el deterioro neurobiológico que sigue a la exposición a los EMF.

(NE) Heinrich S, Thomas S, Heumann C, von Kries R, Radon K. Asociación entre la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia evaluados por dosimetría y los síntomas agudos en niños y adolescentes: un estudio transversal de base poblacional. *Environ Health*. 9:75, 2010. (HU, BE)

ANTECEDENTES: El aumento en el número de usuarios de teléfonos móviles estuvo acompañado de cierta preocupación por la posibilidad de que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF CEM) pudiera afectar negativamente a la salud aguda, especialmente en niños y adolescentes. Los autores investigaron esta posible asociación utilizando dosímetros personales. **MÉTODOS:** Se generó un perfil de exposición de 24 horas de 1484 niños y 1508 adolescentes en un estudio transversal de base poblacional en Alemania entre 2006 y 2008 (participación del 52%). Se recopilaron datos de entrevistas personales sobre características sociodemográficas, exposición autoinformada y posibles factores de confusión. Los síntomas agudos se evaluaron dos veces durante el día de estudio utilizando un diario de síntomas. **RESULTADOS:** Solo unas pocas del gran número de asociaciones investigadas resultaron ser estadísticamente significativas. Al mediodía, los adolescentes con una exposición medida en el cuartil más alto durante las horas de la mañana informaron una intensidad estadísticamente significativamente mayor de dolor de cabeza (odd ratio: 1,50; intervalo de confianza del 95%: 1,03, 2,19). A la hora de acostarse, los adolescentes con una exposición medida en el cuartil más alto durante las horas de la tarde informaron una intensidad estadísticamente significativa mayor de irritación por la noche (4º cuartil 1,79; 1,23, 2,61), mientras que los niños informaron una intensidad estadísticamente significativa mayor de problemas de concentración (4º cuartil 1,55; 1,02, 2,33). **CONCLUSIONES:** Se observaron pocos resultados estadísticamente significativos que no son consistentes en los dos puntos temporales. Además, cuando se toma en consideración el 10% de los participantes con la exposición más alta, no se pudieron confirmar los resultados significativos del análisis principal. Basándonos en el patrón de estos resultados, asumimos que las pocas asociaciones significativas observadas no son causales sino que ocurrieron por casualidad.

(E) Hidisoglu E, Kantar Gok D, Er H, Akpinar D, Uysal F, Akkoyunlu G, Ozen S, Agar A, Yargicoglu P. Los campos electromagnéticos de 2100 MHz tienen diferentes efectos sobre los potenciales evocados visuales y el estado oxidante/antioxidante según la duración de la exposición. *Brain Res.* 14 de enero de 2016. pii: S0006-8993(16)00031-7. doi: 10.1016/j.brainres.2016.01.018. [Publicación electrónica antes de la impresión] (AS, CE, EE, OX)

El propósito del presente estudio fue investigar los efectos de la duración del campo electromagnético (CEM) de 2100 MHz sobre los potenciales evocados visuales (PEV) y evaluar la peroxidación lipídica (POL), la producción de óxido nítrico (NO) y el estado antioxidante de ratas expuestas a CEM. Las ratas fueron asignadas aleatoriamente a los siguientes grupos: ratas simuladas (S1 y S10) y ratas expuestas a CEM de 2100 MHz (E1 y E10) durante 2 h/día durante 1 o 10 semanas, respectivamente. Al final de los períodos experimentales, se registraron los PEV bajo anestesia. Las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico cerebral (TBARS) y 4-HNE disminuyeron significativamente en el E1, mientras que aumentaron en el E10 en comparación con sus grupos de control. Mientras que las actividades de catalasa cerebral (CAT), glutatión peroxidasa (GSH-Px) y los niveles de NO y glutatión (GSH) aumentaron significativamente en el E1, se detectó una reducción de la actividad de superóxido dismutasa (SOD) en el mismo grupo en comparación con el S1. Por el contrario, se observaron actividades de CAT, GSH-Px y niveles de NO disminuidos en el E10 en comparación con el S10. Las latencias de todos los componentes de VEP se acortaron en el E1 en comparación con el S1, mientras que las latencias de todos los componentes de VEP, excepto P1, se prolongaron en el E10 en comparación con el S10. Hubo una correlación positiva entre todas las latencias de VEP y los valores de TBARS y 4-HNE cerebrales. En consecuencia, se podría concluir que los diferentes efectos de los CEM sobre los VEP dependen de la duración de la exposición. Además, nuestros resultados indicaron que los EMF a corto plazo podrían proporcionar efectos protectores, mientras que los EMF a largo plazo podrían tener un efecto adverso sobre los VEP y el estado oxidante/antioxidante.

(NE) Hirose H, Sakuma N, Kaji N, Nakayama K, Inoue K, Sekijima M, Nojima T, Miyakoshi J. La radiación emitida por la estación base de telefonía móvil no induce la fosforilación de Hsp27. *Bioelectromagnetism.* 28(2):99-108, 2007. (CS, CH, LI)

Se realizó un estudio in vitro centrado en los efectos de los campos de radiofrecuencia (RF) de bajo nivel de las estaciones base de radio móviles que emplean el sistema celular de Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (IMT-2000) para probar la hipótesis de que los campos de RF modulados actúan para inducir la fosforilación y la sobreexpresión de la proteína de choque térmico hsp27. En primer lugar, evaluamos las respuestas de las células humanas a la exposición a microondas a una tasa de absorción específica (SAR) de 80 mW/kg, que corresponde al límite de la SAR promedio de cuerpo entero para la exposición del público en general definida como una restricción básica en las directrices de la Comisión Internacional de Protección contra Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP). En segundo lugar, investigamos si los campos de RF de señal modulada de onda continua (CW) y Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (W-CDMA) a 2,1425 GHz inducían la activación o la expresión génica de hsp27 y otras proteínas de choque térmico (hsps). Las células de glioblastoma humano A172 se expusieron a radiación W-CDMA a SAR de 80 y 800 mW/kg durante 2-48 h, y a radiación CW a 80 mW/kg durante 24 h. Los fibroblastos humanos IMR-90 de pulmones fetales se expusieron a W-CDMA a 80 y 800 mW/kg durante 2 o 28 h, y a radiación CW a 80 mW/kg durante 28 h. En las condiciones de exposición al campo de RF descritas anteriormente, no se observaron diferencias significativas en los niveles de expresión de hsp27 fosforilada en la serina 82 (hsp27[pS82]).

entre los grupos de prueba expuestos a la señal W-CDMA o CW y los controles negativos expuestos simuladamente, según se evaluó inmediatamente después de los períodos de exposición mediante ensayos multiplex basados en perlas. Además, no se observaron diferencias notables en la expresión génica de hsp entre los grupos de prueba y los controles negativos mediante el análisis de DNA Chip. Nuestros resultados confirman que la exposición a un campo de RF de bajo nivel de hasta 800 mW/kg no induce la fosforilación de hsp27 ni la expresión de la familia de genes hsp.

(NE) Hirose H, Sasaki A, Ishii N, Sekijima M, Iyama T, Nojima T, Ugawa Y. El campo IMT-2000 de 1950 MHz no activa las células microgliales in vitro. *Bioelectromagnética*. 31(2):104-112, 2010. (CS, CC)

Dado el uso generalizado del teléfono celular en la actualidad, la investigación de los posibles efectos biológicos de los campos de radiofrecuencia (RF) ha adquirido cada vez mayor importancia. En particular, se han llevado a cabo muchas investigaciones sobre los efectos de la RF en la función cerebral. Para examinar los efectos biológicos en el sistema nervioso central (SNC) inducidos por las señales de modulación de 1950 MHz, que están controladas por el sistema celular de Telecomunicaciones Móviles Internacionales-2000 (IMT-2000), investigamos el efecto de los campos de RF en las células microgliales del cerebro. Evaluamos los cambios funcionales en las células microgliales examinando los cambios en la expresión de moléculas relacionadas con la reacción inmunitaria y la producción de citocinas después de la exposición a un campo de RF de acceso múltiple por división de código de banda ancha (W-CDMA) de 1950 MHz, a tasas de absorción específicas (SAR) de 0,2, 0,8 y 2,0 W/kg.

Los cultivos primarios de células microgliales preparados a partir de ratas neonatales se sometieron a un campo de RF o simulado durante 2 h. Las muestras de ensayo obtenidas 24 y 72 h después de la exposición se procesaron de manera ciega. Los resultados mostraron que el porcentaje de células positivas para el complejo mayor de histocompatibilidad (MHC) de clase II, que es el marcador más común para las células microgliales activadas, fue similar entre las células expuestas a la radiación W-CDMA y los controles expuestos simuladamente. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los grupos de exposición al campo de RF y los controles expuestos simuladamente en el porcentaje de células positivas para MHC de clase II. Además, no se observaron diferencias notables en la producción de factor de necrosis tumoral alfa (TNF-alfa), interleucina-1 beta (IL-1 beta) e interleucina-6 (IL-6) entre los grupos de prueba expuestos a la señal W-CDMA y los controles negativos expuestos simuladamente. Estos hallazgos sugieren que la exposición a campos de RF de hasta 2 W/kg no activa las células microgliales in vitro.

(E) Hountala CD, Maganioti AE, Papageorgiou CC, Nanou ED, Kyprianou MA, Tsiafakis VG, Rabavilas AD, Capsalis CN. La coherencia de potencia espectral del EEG bajo diferentes condiciones EMF. *Neurosci Lett*. 441(2):188-192, 2008. (HU, EE)

El presente estudio introduce el concepto de coherencia de potencia espectral (CPE), que refleja el patrón de coordinación de las cuatro bandas básicas del EEG (delta, theta, alfa y beta) en una ubicación específica del cerebro. La CPE se calculó para la señal del EEG previa al estímulo durante una tarea de memoria auditiva en diferentes condiciones de campo electromagnético (900 MHz y 1800 MHz).

Los resultados mostraron que el ritmo delta tiene menos consecuencias en la cooperación general entre las bandas que los ritmos theta, alfa y beta de frecuencias más altas. Además, se ha demostrado que el efecto de la radiación en el SPC es diferente para los dos géneros. En ausencia de

Los hombres que reciben radiación presentan un SPC general más alto que las mujeres. Estas diferencias desaparecen en presencia de 900 MHz y se invierten en presencia de 1800 MHz.

(E) Hu S, Peng R, Wang C, Wang S, Gao Y, Dong J, Zhou H, Su Z, Qiao S, Zhang S, Wang L, Wen X. Efectos neuroprotectores del suplemento dietético Kang-fu-ling contra microondas de alta potencia a través de la acción antioxidante. *Food Funct.* 24 de julio de 2014. [Epub antes de la impresión] (AS, CE, CE, BE, ME, OX, IA)

Kang-fu-ling (KFL) es un suplemento dietético polibotánico con propiedades antioxidantes. Este estudio tuvo como objetivo evaluar los posibles efectos protectores de KFL sobre el déficit cognitivo inducido por microondas de alta potencia (HPM) y el mecanismo subyacente de esta neuroprotección. Se empleó la técnica de resonancia de espín electrónico para evaluar la actividad de eliminación de radicales libres de KFL in vitro y KFL exhibió actividad de eliminación de radicales hidroxilo. KFL en dosis de 0,75, 1,5 y 3 g kg⁻¹ y vehículo se administraron por vía oral una vez al día durante 14 días a ratas Wistar macho después de haber sido expuestas a 30 mW cm⁻² HPM durante 15 minutos. KFL revirtió la pérdida de memoria inducida por HPM y los cambios histopatológicos en el hipocampo de ratas. Además, KFL mostró un efecto protector contra el estrés oxidativo inducido por HPM y activó el factor nuclear E2-relacionado con el factor 2 (Nrf2) y sus genes diana en el hipocampo de ratas. La vía de señalización del elemento de respuesta antioxidante (ARE) Nrf2 puede estar involucrada en los efectos neuroprotectores de KFL contra el estrés oxidativo inducido por HPM. En resumen, el suplemento dietético KFL es un complejo natural prometedor, que mejora el estrés oxidativo, con efectos neuroprotectores contra HPM.

(E) Hung CS, Anderson C, Horne JA, McEvoy P. La señal del "modo de conversación" del teléfono móvil retrasa el inicio del sueño determinado por EEG. *Neurosci Lett.* 421(1):82-86, 2007. (HU, EE, BE, WS, SL)

Las señales de los teléfonos móviles son microondas moduladas por pulsos, y los estudios de EEG sugieren que la modulación de pulsos de frecuencia extremadamente baja (ELF) tiene efectos sobre el sueño. Sin embargo, los modos "hablar", "escuchar" y "espera" difieren en los componentes espectrales ELF (2, 8 y 217 Hz) y las tasas de absorción específicas, pero ningún estudio del sueño ha diferenciado estos modos. Utilizamos un teléfono móvil GSM900 controlado por un simulador de estación base y una tarjeta SIM de prueba para simular estos tres modos específicos, transmitidos al 12,5% (23dBm) de potencia máxima. A intervalos semanales, 10 adultos jóvenes sanos, con sueño restringido a 6 h, fueron expuestos aleatoriamente y a simple ciego a uno de los modos: hablar, escuchar, esperar y simular (señal nula), durante 30 min, a las 13:30 h, mientras estaban acostados en un dormitorio insonorizado e iluminado, con un teléfono silencioso con aislamiento térmico junto a la oreja derecha. Se registraron EEG bipolares de forma continua y se obtuvieron calificaciones subjetivas de somnolencia cada 3 min (antes, durante y después de la exposición). Después de la exposición, el teléfono y la estación base se apagaron, el dormitorio se oscureció y siguió una oportunidad de dormir 90 min. Informamos sobre el inicio del sueño utilizando: (i) latencia calificada visualmente hasta el inicio del sueño de etapa 2, (ii) análisis espectral de potencia del EEG. No hubo efecto de la condición para la somnolencia subjetiva. Después de la exposición, la latencia del sueño después del modo de conversación se retrasó notablemente y significativamente más que en los modos de escucha y simulación. Este efecto de la condición a lo largo del tiempo también fue bastante evidente en la potencia frontal del EEG de 1-4 Hz, que es un rango de frecue

Sensible al inicio del sueño. Es posible que la modulación de 2, 8 y 217 Hz pueda afectar de forma diferente el sueño.
comienzo.

(E) Ibitayo AO, Afolabi OB, Akinyemi AJ, Ojjezeh TI, Adekoya KO, Ojewunmi OO. Perfiles RAPD, fragmentación de ADN y examen histomorfológico en cerebros de ratas Wistar expuestas a la radiación de dispositivos Wi-Fi de 2,5 GHz en interiores. Biomed Res Int. 2017;2017:8653286. (AS, CE, ME)

La aparición de dispositivos de alta tecnología conectados a Wi-Fi en la ejecución de actividades cotidianas está evolucionando rápidamente, especialmente en los países en desarrollo del mundo y, por lo tanto, es necesario evaluar su seguridad, entre otras cosas. El presente estudio se realizó para investigar el efecto nocivo de las emisiones de radiofrecuencia de los dispositivos Wi-Fi instalados en los cerebros de ratas macho jóvenes. Los animales se dividieron en cuatro grupos iguales; el grupo 1 sirvió como control, mientras que los grupos 2, 3 y 4 estuvieron expuestos a 2,5 GHz a intervalos de 30, 45 y 60 días consecutivos con libre acceso a comida y agua ad libitum. Las alteraciones en los tejidos cerebrales recolectados se confirmaron mediante análisis histopatológicos que mostraron congestión vascular y daño del ADN en el cerebro que se analizó mediante electroforesis en gel de agarosa. Los análisis histomorfológicos de sus tejidos cerebrales también mostraron congestión perivascular y daño tisular.

(E) İkinici A, Odacı E, Yıldırım M, Kaya H, Akça M, Hancı H, Aslan A, Sönmez OF, Baş O. Los efectos de la exposición prenatal a un campo electromagnético de 900 megahercios en la morfología del hipocampo y el comportamiento de aprendizaje en crías de rata. Neurocuantología. 11(4):582-590, 2013. (COMO, BE, ME, CE, DE)

El propósito de este estudio fue examinar el efecto sobre la morfología del hipocampo y la conducta de aprendizaje en crías de rata luego de la exposición prenatal a un campo electromagnético (CEM) de 900 megahercios (MHz). Se dejó que ratas Sprague Dawley hembras que pesaban entre 180 y 250 g se aparearan con machos. Al día siguiente, las ratas preñadas identificadas como tales mediante la prueba de frotis vaginal se dividieron en dos grupos, control (n = 3) y CEM (n = 3). No se realizó ningún procedimiento en el grupo de control. Las ratas del grupo CEM fueron expuestas a CEM de 900 MHz entre los días 13 y 21 de embarazo, durante 1 hora al día. Las crías de rata hembra fueron separadas de sus madres a los 22 días de edad. Luego establecimos dos grupos de ratas recién nacidas, un grupo de control de 13 miembros y un grupo CEM de 10 miembros. Se utilizaron pruebas de laberinto de brazos radiales y de evitación pasiva para medir el rendimiento de aprendizaje y memoria de las crías de rata. Todas las ratas fueron decapitadas el día 32 postnatal. Se realizaron procedimientos histológicos de rutina en los tejidos cerebrales y las secciones se tiñeron con violeta rápido de cresilo. Se administraron las pruebas de laberinto de brazos radiales (p = 0,007) y de evitación pasiva (p = 0,032) a ambos grupos en condiciones idénticas y se determinó un comportamiento de aprendizaje comprometido en las ratas del grupo EMF. También se determinó el compromiso morfológico en las secciones del grupo EMF. Nuestros resultados muestran que la aplicación de un EMF de 900 MHz en el período prenatal afectó negativamente al comportamiento de aprendizaje de las crías hembras y también provocó cambios histopatológicos que aparecieron en el hipocampo.

E) İkinci A, Mercantepe T, Unal D, Erol HS, Şahin A, Aslan A, Baş O, Erdem H, Sönmez OF, Kaya H, Odacı E. Alteraciones morfológicas y antioxidantes en la médula espinal de crías de ratas macho tras la exposición a un campo electromagnético continuo de 900 MHz durante la adolescencia temprana y media. 75(Pt B):99-104, 2016. (AS, CE, CH, OX)

Los efectos de los dispositivos que emiten campos electromagnéticos (CEM) sobre la salud humana se han convertido en objeto de intensa investigación entre los científicos debido al rápido aumento de su uso. Los niños y adolescentes se sienten especialmente atraídos por el uso de dispositivos que emiten CEM, como los teléfonos móviles.

El objetivo de este estudio fue, por lo tanto, investigar los cambios en las médulas espinales de crías de ratas macho expuestas al efecto de campos electromagnéticos de 900 MHz. El estudio comenzó con 24 ratas macho Sprague-Dawley de 3 semanas de edad. Se establecieron tres grupos que contenían el mismo número de ratas: grupo de control (GC), grupo simulado (GE) y grupo de campos electromagnéticos (GEM). Las ratas EMFG se colocaron dentro de una jaula EMF todos los días entre los días posnatales (PD) 21 y 46 y se expusieron al efecto de campos electromagnéticos de 900 MHz durante 1 hora. Las ratas SG se mantuvieron en la jaula EMF durante 1 hora sin estar expuestas al efecto de los EMF. Al final del estudio, se extirparon las médulas espinales de la región torácica superior de todas las ratas. Se recogieron tejidos para su examen bioquímico, microscopía óptica (LM) y microscopía electrónica de transmisión (TEM). Los resultados bioquímicos revelaron niveles significativamente mayores de malondialdehído y glutatión en EMFG en comparación con CG y SG, mientras que los niveles de catalasa y superóxido dismutasa en SG y EMFG fueron significativamente más altos que en CG. En EMFG, LM reveló atrofia en la médula espinal, vacuolización, engrosamiento de la mielina e irregularidades en el pericarion.

La TEM reveló una marcada pérdida de la integridad de la vaina de mielina y una invaginación en el axón y vacuolas anchas en el axoplasma. Los resultados del estudio muestran que pueden producirse alteraciones bioquímicas y cambios patológicos en la médula espinal de ratas macho tras la exposición a campos electromagnéticos de 900 MHz durante una hora al día en el día 21-46.

(E) Imge EB, Kiliçoğlu B, Devrim E, Cetin R, Durak I. Efectos del uso del teléfono móvil en el tejido cerebral de la rata y un posible papel protector de la vitamina C: un estudio preliminar. Int J Radiat Biol. 86(12):1044-1049, 2010. (AS, CE, CH, OX)

OBJETIVO: Evaluar los efectos del uso del teléfono móvil sobre el tejido cerebral y un posible papel protector de la vitamina C. MATERIALES Y MÉTODOS: Cuarenta ratas hembras fueron divididas aleatoriamente en cuatro grupos (Control, teléfono móvil, teléfono móvil más vitamina C y, vitamina C sola). El grupo del teléfono móvil fue expuesto a una señal de teléfono móvil (900 MHz), el grupo del teléfono móvil más vitamina C fue expuesto a una señal de teléfono móvil (900 MHz) y tratado con vitamina C administrada por vía oral (per os). El grupo de vitamina C también fue tratado con vitamina C per os durante cuatro semanas. Luego, los animales fueron sacrificados y los tejidos cerebrales fueron disecados para ser utilizados en los análisis de malondialdehído (MDA), potencial antioxidante (AOP), superóxido dismutasa, catalasa (CAT), glutatión peroxidasa (GSH-Px), xantina oxidasa, adenosina deaminasa (ADA) y 5'nucleotidasa (5'-NT). RESULTADOS: El uso del teléfono móvil provocó una inhibición de las actividades de 5'-NT y CAT en comparación con el grupo de control. También se encontró que la actividad de GSH-Px y el nivel de MDA estaban reducidos en el grupo del teléfono móvil, pero no de manera significativa. La vitamina C provocó un aumento significativo de la actividad de GSH-Px y un aumento no significativo de las actividades de las enzimas 5'-NT, ADA y CAT. CONCLUSIÓN: Nuestros resultados sugieren que la vitamina C puede desempeñar un papel protector contra los efectos perjudiciales de la radiación del teléfono móvil en el tejido cerebral.

(NE) Inomata-Terada S, Okabe S, Arai N, Hanajima R, Terao Y, Frubayashi T, Ugawa Y. Efectos del campo electromagnético (EMF) de alta frecuencia emitido por teléfonos móviles en la corteza motora humana. *Bioelectromagnética*. 28(7):553-561, 2007. (HU, EE)

Investigamos si el campo electromagnético (CEM) pulsado de alta frecuencia emitido por un teléfono móvil tiene efectos a corto plazo en la corteza motora humana. Medimos los potenciales evocados motores (PEM) provocados por estimulación magnética transcraneal (EMT) de pulso único, antes y después de la exposición al teléfono móvil (activa y simulada) en 10 voluntarios normales. Se estimularon tres sitios (corteza motora (CTX), tronco encefálico (BST) y nervio espinal (Sp)). La inhibición intracortical de intervalo corto (SICI) de la corteza motora que refleja la función interneuronal GABAérgica también se estudió mediante el método de EMT de pulso pareado. Los PEM a la EMT de pulso único también se registraron en dos pacientes con esclerosis múltiple que mostraban síntomas neurológicos dependientes de la temperatura (efecto de baño caliente). Ni los PEM a la EMT de pulso único ni la SICI se vieron afectados por 30 minutos de exposición a EMF de teléfonos móviles o exposición simulada. En dos pacientes con EM, la exposición al teléfono móvil no tuvo ningún efecto sobre ningún parámetro de los MEP, a pesar de que se produjo un bloqueo de la conducción en los tractos corticoespinales después de tomar un baño. En lo que respecta a los métodos disponibles, no detectamos ningún efecto a corto plazo de la exposición al teléfono móvil durante 30 minutos sobre las neuronas motoras de salida corticales humanas o las interneuronas, aunque no podemos excluir la posibilidad de que no hayamos podido detectar algunos efectos leves debido al pequeño tamaño de la muestra en el presente estudio. Este es el primer estudio de los MEP después de la exposición electromagnética de un teléfono móvil en pacientes

(NE) Irlenbusch L, Bartsch B, Cooper J, Herget I, Marx B, Raczek J, Thoss F. Influencia de una señal GSM de 902,4 MHz en el sistema visual humano: investigación del umbral de discriminación. *Bioelectromagnética*. 28(8):648-654, 2007. (HU, EE, LI)

La proximidad de un teléfono móvil al ojo humano plantea la cuestión de si los campos electromagnéticos (CEM) de radiofrecuencia (RF) afectan al sistema visual. Una característica básica del ojo humano es su sensibilidad a la luz, lo que hace que el umbral de discriminación visual (VDThr) sea un parámetro adecuado para la investigación de los efectos potenciales de la exposición a RF en el ojo. El VDThr se midió en 33 sujetos en condiciones estandarizadas. Cada sujeto participó en dos experimentos (experimento de exposición a RF y experimento de exposición simulada) en días diferentes. En cada experimento, el VDThr se midió de forma continua en intervalos de tiempo de unos 10 s durante dos períodos de 30 min, con un descanso de 5 min entre ellos. La secuencia de los dos experimentos fue aleatoria y el estudio fue simple ciego. Durante la exposición a RF, se aplicó a los sujetos una señal GSM de 902,4 MHz (pulsada con 217 Hz). La densidad de flujo de potencia del campo electromagnético en la ubicación del sujeto (en ausencia del sujeto) fue de 1 W/m^2 , y los cálculos de dosimetría numérica determinaron valores máximos de tasa de absorción específica (SAR) promedio local correspondientes en la retina de $\text{SAR}(1 \text{ g}) = 0,007 \text{ W/kg}$ y $\text{SAR}(10 \text{ g}) = 0,003 \text{ W/kg}$.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el VDThr al comparar los datos obtenidos para la exposición a RF con los de la exposición simulada.

(E) Jeong YJ, Kang GY, Kwon JH, Choi HD, Pack JK, Kim N, Lee YS, Lee HJ. Los campos electromagnéticos de 1950 MHz mejoran la patología de A β en ratones con enfermedad de Alzheimer. *Curr Alzheimer Res*. 12(5):481-492, 2015. (AS, CE, CH, MA)

La participación de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) en la enfermedad neurodegenerativa, especialmente la enfermedad de Alzheimer (EA), ha recibido una amplia consideración, sin embargo, los resultados de varias investigaciones no han mostrado consistencia. En este estudio, determinamos si RF-EMF influyó en la patología de la EA in vivo utilizando ratones Tg-5xFAD como modelo de patología amiloide β ($A\beta$) similar a la EA. Los ratones transgénicos (Tg)-5xFAD y de tipo salvaje (WT) fueron expuestos crónicamente a RF-EMF durante 8 meses (1950 MHz, SAR 5W/kg, 2 horas/día, 5 días/semana). En particular, la exposición crónica a RFEMF redujo significativamente no solo las placas $A\beta$, APP y los fragmentos carboxilo-terminales de APP (CTF) en todo el cerebro, incluido el hipocampo y la corteza entorinal, sino también la proporción de péptidos $A\beta$ 42 y $A\beta$ 40 en el hipocampo de ratones Tg-5xFAD. También encontramos que la expresión parenquimatosa de la enzima 1 de escisión de la proteína precursora β -amiloide (BACE1) y la neuroinflamación fueron inhibidas por la exposición a RF-EMF en Tg-5xFAD. Además, se demostró que RF-EMF rescata el deterioro de la memoria en Tg-5xFAD. Además, el perfil genético de los datos de microarray utilizando hipocampo de WT y Tg- 5xFAD después de la exposición a RF-EMF reveló que 5 genes (Tshz2, Gm12695, St3gal1, Isx y Tll1), que están involucrados en $A\beta$, están significativamente alterados en ratones Tg-5xFAD, exhibiendo diferentes respuestas a RF-EMF en ratones WT o Tg-5xFAD; la exposición a RF-EMF en ratones WT mostró patrones similares a los ratones Tg-5xFAD de control, sin embargo, la exposición a RF-EMF en ratones Tg- 5xFAD mostró patrones de expresión opuestos. Estos hallazgos indican que la exposición crónica a campos electromagnéticos de radiofrecuencia afecta directamente la patología $A\beta$ en la enfermedad de Alzheimer, pero no en el cerebro normal. Por lo tanto, los campos electromagnéticos de radiofrecuencia tienen efectos preventivos contra la patología similar a la enfermedad de Alzheimer en ratones con enfermedad de Alzheimer avanzada con una alta expresión de $A\beta$. lo que sugiere que los campos electromagnéticos de radiofrecuencia pueden tener una influencia beneficiosa en la enfermedad de Alzheimer.

(E) Jeong, Y. J., Son, Y., Choi, HD., Kim, N., Lee, YS., Ko, Y. G., Lee, H. J. (2020).

Cambios de comportamiento y alteraciones del perfil genético tras la exposición crónica a radiofrecuencias de 1.950 MHz: una observación en ratones C57BL/6. *Brain Behav.* 2020;10(11):e01815. (AS, CE, BE, AD, MA)

Introducción: Debido a las preocupaciones públicas sobre las consecuencias biológicas nocivas de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF), los efectos potenciales de RF-EMF en el sistema nervioso central han recibido amplia consideración. Métodos: Aquí, dos grupos de ratones C57BL/6, de 2 y 12 meses de edad, fueron expuestos a RF-EMF de 1.950 MHz a una tasa de absorción específica de 5,0 W/kg durante períodos crónicos (2 h/día y 5 días/semana durante 8 meses). Luego se evaluaron los cambios de comportamiento en los ratones a los 10 meses (simulado o RF-10M) y a los 20 meses (simulado o RF-20M), en la prueba de campo abierto, la prueba del laberinto en Y y una tarea de memoria de reconocimiento de objetos, mientras que los efectos biológicos se analizaron mediante el perfil genético de microarrays del hipocampo. Resultados: Los resultados de la prueba de campo abierto mostraron una disminución en la duración del tiempo pasado en el centro, mientras que hubo una disminución en la memoria mejorada mostrada por la prueba del laberinto en Y y la prueba de reconocimiento de objetos nuevos en los ratones RF-20M, en comparación con los ratones expuestos al placebo, pero no hubo cambios significativos en el grupo RF-10M. Con base en un punto de corte de cambio de dos veces, los datos de microarray revelaron que 15 genes, que se enumeran como involucrados en la neurogénesis en Gene Ontology, se alteraron en ambos grupos.

La PCR para validación mostró una mayor expresión de Epha8 y Wnt6 en el hipocampo de los ratones del grupo RF-20M, aunque 13 genes adicionales no mostraron cambios significativos después de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Conclusión: Por lo tanto, la mejora cognitiva después de la exposición crónica durante 8 meses a campos electromagnéticos de radiofrecuencia desde la mediana edad puede estar asociada con aumentos en las señales relacionadas con la neurogénesis en el hipocampo de los ratones C57BL/6.

(E) Jing J, Yuhua Z, Xiao-qian Y, Rongping J, Dong-mei G, Xi C. La influencia de la radiación de microondas de los teléfonos celulares en el cerebro fetal de ratas. *Electromagn Biol Med.* 31(1):57-66, 2012. (AS, CE, CH, OX, DE)

El uso creciente de teléfonos celulares en nuestra sociedad ha puesto de relieve los posibles efectos perjudiciales para la salud humana de la radiación de microondas. El objetivo de nuestro estudio fue evaluar la intensidad del estrés oxidativo y el nivel de neurotransmisores en los cerebros de ratas fetales expuestas crónicamente a teléfonos celulares. El experimento se realizó en ratas preñadas expuestas a diferentes intensidades de radiación de microondas de teléfonos celulares. Treinta y dos ratas preñadas se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos: CG, GL, GM y GH. CG no aceptó radiación de microondas, el grupo GL irradió 10 minutos cada vez, el grupo GM irradió 30 minutos y el grupo GH irradió 60 minutos. Los 3 grupos experimentales fueron irradiados 3 veces al día desde el primer día de embarazo durante 20 días consecutivos, y el día 21, se tomaron las ratas fetales y luego se analizaron los contenidos de superóxido dismutasa (SOD), glutatión peroxidasa (GSH-Px), malondialdehído (MDA), noradrenalina (NE), dopamina (DA) y ácido 5-hidroxiindol acético (5-HT) en el cerebro. En comparación con CG, se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) en los contenidos de SOD, GSH-Px y MDA en GM y GH; los contenidos de SOD y GSH-Px disminuyeron y el contenido de MDA aumentó. Las diferencias significativas de contenido de NE y DA se encontraron en los cerebros de ratas fetales en los grupos GL y GH, con el grupo GL aumentó y el grupo GH disminuyó. A través de este estudio, concluimos que recibir un cierto período de radiación de microondas de los teléfonos celulares durante el embarazo tiene ciertos daños en los cerebros de ratas fetales.

(E) Jorge-Mora T, Folgueiras MA, Leiro-Vidal JM, Jorge-Barreiro FJ, Ares-Peña FJ, López-Martín

E. La exposición a la radiación de microondas de 2,45 GHz provoca cambios cerebrales en la inducción de la proteína de choque térmico Hsp-90 α/β en ratas. *Prog Electromagn Res*, 100:351-379, 2010. (AS, CC, CH)

Los agentes físicos como la radiación de onda continua no ionizante de 2,45 GHz pueden causar daños que alteren la homeostasis celular y pueden desencadenar la activación de los genes que codifican las proteínas de choque térmico (HSP). Utilizamos el ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas (ELISA) y

Se realizó inmunohistoquímica para analizar los cambios en los niveles de HSP-90 y su distribución en el cerebro de ratas Sprague-Dawley, noventa minutos y veinticuatro horas después de la exposición continua aguda (30 min) a la radiación de 2,45 GHz en una célula electromagnética transversal de gigahercios (GTEM). Además, estudiamos otros indicadores de daño neuronal: neuronas oscuras, condensación de la cromatina y fragmentación del núcleo, que se observaron bajo microscopía óptica convencional o de fluorescencia después de la tinción con DAPI. La distribución celular de la proteína HSP-90 en el cerebro aumentó con cada SAR correspondiente (0,034 + 3,10⁻³, 0,069 + 5,10⁻³, 0,27

+ 21,10-3 W/kg), en los núcleos hipotalámicos, la corteza límbica y la corteza somatosensorial después de la exposición a la radiación. A las veinticuatro horas posteriores a la irradiación, los niveles de proteína HSP-90 se mantuvieron altos en todos los núcleos hipotalámicos para todos los SAR, y en la corteza parietal, excepto el sistema límbico, los niveles de HSP-90 fueron más bajos que en las ratas no irradiadas, casi la mitad de los niveles en ratas expuestas a la radiación de mayor potencia. Se encontraron núcleos celulares no apoptóticos y algunas neuronas oscuras noventa minutos y veinticuatro horas después de la exposición máxima al SAR. Los resultados sugieren que la exposición aguda a campos electromagnéticos desencadenó un desequilibrio en los niveles anatómicos de HSP-90, pero el mecanismo antiapoptótico probablemente sea suficiente para compensar el estímulo no ionizante. Se requieren más estudios para determinar los efectos regionales de la contaminación electromagnética crónica sobre las proteínas de choque térmico y su participación en los procesos neurológicos y el daño neuronal.

(NE) Joubert V, Leveque P, Cueille M, Bourthoumieu S, Yardin C. No se induce apoptosis en neuronas corticales de ratas expuestas a campos de telefonía GSM. *Bioelectromagnetismo*. 28(2):115-121, 2007. (CS, CC)

El objetivo de este estudio fue investigar los efectos de los campos electromagnéticos (CEM) de radiofrecuencia (RF) en la apoptosis neuronal in vitro. Las neuronas cultivadas primarias de las cortezas de embriones de ratas Wistar fueron expuestas a un campo de RF de 900 MHz de un sistema global para comunicaciones móviles (GSM) durante 24 h en una celda con conexión por cable. La tasa de absorción específica promedio (SAR) utilizada fue de 0,25 W/kg. La tasa de apoptosis se evaluó inmediatamente o 24 h después de la exposición utilizando tres métodos: (i) tinción con DAPI; (ii) citometría de flujo utilizando doble tinción con marcaje de extremos de dUTP mediado por TdT (TUNEL) y yoduro de propidio (PI); y (iii) medición de la actividad de la caspasa-3 por fluorimetría. No se observó ninguna diferencia estadísticamente significativa en la tasa de apoptosis entre los controles y las neuronas expuestas a GSM durante 24 horas, ni 0 h ni 24 h después de la exposición. Los tres métodos utilizados para evaluar la apoptosis fueron concordantes. Estos resultados mostraron que, en las condiciones del experimento utilizado, la exposición a GSM no aumenta significativamente la tasa de apoptosis en neuronas primarias de rata. cultivos. Este trabajo está en consonancia con otros estudios realizados en líneas celulares y, hasta donde sabemos, es el primero que se realiza en neuronas corticales cultivadas.

(E) Joubert, V., Bourthoumieu, S., Leveque, P. y Yardin, C. La apoptosis es inducida por campos de radiofrecuencia a través de la vía mitocondrial independiente de la caspasa en neuronas corticales. *Radiat. Res.* 169, 38-45, 2008. (CS, CC)

En el presente estudio, investigamos si los campos de radiofrecuencia (RF) de onda continua (CW) inducen apoptosis neuronal in vitro. Se expusieron cultivos neuronales primarios de rata a un campo de RF de onda continua de 900 MHz con una tasa de absorción específica (SAR) de 2 W/kg durante 24 h. Durante la exposición, se midió un aumento de 2 grados C en el medio; luego se realizaron experimentos de control con neuronas expuestas a 39 grados C. La apoptosis se evaluó mediante la condensación de núcleos con 4',6-Tinción de diamino-2-fenilindol (DAPI) observada con un microscopio de epifluorescencia y fragmentación de ADN con marcaje de extremos de dUTP mediado por TdT (TUNEL) analizada por citometría de flujo. Se encontró una diferencia estadísticamente significativa en la tasa de apoptosis en las neuronas expuestas al campo de RF en comparación con las expuestas a 37 grados C y 39 grados C.

neuronas 0 o 24 h después de la exposición utilizando ambos métodos. Para evaluar si la apoptosis observada era dependiente o independiente de la caspasa, se realizaron ensayos que midieron la actividad de la caspasa 3 y el marcaje del factor inductor de apoptosis (AIF). No se encontró ningún aumento en la actividad de la caspasa 3, mientras que el porcentaje de núcleos positivos para AIF en neuronas expuestas al campo de RF aumentó de tres a siete veces en comparación con otras condiciones. Nuestros resultados muestran que, en las condiciones experimentales utilizadas, la exposición de neuronas primarias de rata a campos de RF de onda continua puede inducir una vía independiente de la caspasa hacia la apoptosis que involucra al AIF.

(E) Jung IS, Kim HJ, Noh R, Kim SC, Kim CW. Efectos de campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja en la diferenciación neuronal inducida por NGF de células PC12. *Bioelectromagnetismo*. 26 de agosto de 2014. doi: 10.1002/bem.21861. [Publicado electrónicamente antes de su impresión] (CS, CE, CC, MA)

Los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF-MF) afectan a varios procesos y sistemas celulares, como la proliferación celular, la diferenciación y las vías metabólicas. El presente estudio investigó el efecto de los ELF-MF en la diferenciación neuronal inducida por el factor de crecimiento nervioso (NGF) de las células PC12 utilizando aplicaciones proteómicas para comprender su papel en la mejora de la diferenciación neuronal. Después de una exposición de 5 días a 50 Hz, 1 mT ELF-MF en células PC12 inducidas por NGF, se observó un aumento de la longitud de las neuritas, así como un aumento en el número de células portadoras de neuritas. También se descubrió que hubo una disminución en la actividad de proliferación, que se asocia con un aumento en las células diferenciadas. Niveles de ARNm relacionados con la diferenciación neuronal y los niveles de proteína aumentaron en las células PC12 inducidas por NGF. En comparación con el grupo inducido por NGF, las células PC12 estimuladas con ELF-MF tenían una expresión proteica diferente, medida con geles de electroforesis bidimensional (2-DE). En consecuencia, se detectaron seis puntos expresados diferencialmente entre los mapas 2-DE, que se identificaron mediante espectrometría de masas en tándem de tiempo de vuelo cuadrupolo con ionización por electrospray (ESI-Q-TOF LC/MS/MS) como: periferina, proteína neurosecretora precursora del factor de crecimiento nervioso inducible (VGF8a), chaperona molecular de tipo dnaK sp72-ps1 (HSP72-ps1), isoenzima de la fosfatasa de proteína fosfotirosina de bajo peso molecular (Mr) AcP1 (LMW-PTP/ACP1), cadena de tubulina alfa-1A (TUBA1A), predictor de resultados en el homólogo de leucemia aguda 1 (OPA1L). La identificación de estas proteínas proporciona pistas sobre el mecanismo de estimulación de ELF-MF en las células PC12 inducidas por NGF que se produce durante la diferenciación neuronal y puede contribuir al desarrollo de nuevos tratamientos para enfermedades neurodegenerativas.

(E) Júnior LC, Guimarães ED, Musso CM, Stabler CT, García RM, Mourão-Júnior CA, Andreazzi AE. Evaluación del comportamiento y la memoria de ratas Wistar expuestas a radiación electromagnética de radiofrecuencia de 1,8 GHz. *Neurol Res*. 36:800-803, 2014. (COMO, CE, SER)

Antecedentes: El desarrollo de los sistemas de comunicación ha traído grandes beneficios sociales y económicos a la sociedad. A medida que el uso de teléfonos móviles se ha generalizado, han surgido preocupaciones con respecto a los posibles efectos adversos de la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) utilizada por estos dispositivos. Objetivo: Verificar los posibles efectos de la radiación de los teléfonos móviles sobre el sistema nervioso central (SNC) en un modelo animal. Métodos: Ratas Wistar macho (60 días de edad) fueron expuestas a RF-EMR de un teléfono celular GSM (1,8 GHz) durante 3 días. Al final de la exposición, se realizaron las siguientes pruebas de comportamiento: campo abierto y

Reconocimiento de objetos. Resultados: Nuestros resultados mostraron que los animales expuestos no presentaron patrones de ansiedad ni deterioro de la memoria de trabajo, pero sí se observaron acciones comportamentales de estrés.

Conclusión: Dados los resultados del presente estudio, especulamos que la RF-EMR no promueve el deterioro del SNC, pero sugerimos que puede conducir a patrones de comportamiento estresantes.

(NE) Kacprzyk A, Kocoń S, Składzień J, Rokita E, Pawlak R, Kwiecień J, Tatoń G ¿La exposición a corto plazo a campos electromagnéticos de radiofrecuencia que se originan en teléfonos móviles afecta las funciones auditivas medidas mediante pruebas de Admitancia Acústica y Emisión Otoacústica Evocada? Electromagn Biol Med 2020 30 de septiembre;1-8. doi: 10.1080/15368378.2020.1826960. En línea antes de su impresión. (HU, EE)

Antecedentes: Los teléfonos móviles constituyen una fuente importante de campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) para los seres humanos. Teniendo en cuenta la alta sensibilidad de las células ciliadas sensoriales del oído interno a los agentes endógenos y exógenos, el impacto potencial del uso del teléfono móvil en los órganos auditivos es de particular interés. Objetivo: El objetivo del estudio fue evaluar el impacto de la exposición a corto plazo a RF-EMF generado por un teléfono móvil durante una llamada telefónica simulada de 15 minutos en la audición humana, medida mediante Emisión Otoacústica Evocada Transitoria (TEOAE) y Prueba de Admitancia Acústica (AAT). Material y métodos: Se realizó un estudio intrasujeto en 23 voluntarios sanos. Todos los participantes se sometieron a TEOAE y AAT antes e inmediatamente después de una llamada telefónica simulada de 15 minutos con el uso de un teléfono inteligente moderno estándar. Los parámetros analizados incluyeron: cumplimiento estático de la membrana timpánica, presión del oído medio, umbrales de reflejo acústico ipsi y contralateral y porcentaje de reproducibilidad de la señal en TEOAE para el oído expuesto y no expuesto. Además, los resultados se compararon en subgrupos diferenciados en función de la sensibilidad autoinformada a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia procedentes de los teléfonos móviles. Resultados: No se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre los resultados de TEOAE y AAT antes y después de la exposición, tanto en el oído expuesto como en el no expuesto.

Los resultados de los sujetos sensibles y no sensibles a los campos electromagnéticos fueron comparables en todas las pruebas realizadas.

Conclusiones: La exposición a corto plazo al campo electromagnético del teléfono móvil no influyó en las funciones auditivas medidas mediante la prueba de emisión otoacústica evocada y la prueba de admitancia acústica.

(NE) Kang KA, Lee HC, Lee JJ, Hong MN, Park MJ, Lee YS, Choi HD, Kim N, Ko YK, Lee JS. Efectos de la exposición a la radiación de radiofrecuencia combinada en los niveles de especies reactivas de oxígeno en las células neuronales. J Radiat Res. 55:265-276, 2014. (CS, OX, IA)

El objetivo de este estudio fue investigar los efectos de la señal de radiación de RF combinada (837 MHz CDMA más 1950 MHz WCDMA) sobre los niveles de especies reactivas de oxígeno (ROS) intracelulares en células neuronales. La exposición a la señal de RF combinada se realizó a valores de tasa de absorción específicos de 2 W/kg de CDMA más 2 W/kg de WCDMA durante 2 h. También se realizó una coexposición a la radiación de RF combinada con H₂O₂ o menadiona. Los grupos de exposición experimental fueron control de incubadora, exposición simulada, exposición a radiación de RF combinada con o sin grupos de H₂O₂ o menadiona. El nivel intracelular de ROS se midió por citometría de flujo utilizando la sonda fluorescente diacetato de diclorofluoresceína. Niveles intracelulares de ROS

no se vieron afectados de manera consistente por la exposición a la radiación de RF combinada sola de manera dependiente del tiempo en células U87, PC12 o SH-SY5Y. En las células neuronales expuestas a la radiación de RF combinada con H₂O₂ o menadiona, los niveles intracelulares de ROS no mostraron una alteración estadísticamente significativa en comparación con la exposición a menadiona o H₂O₂ solos. Estos hallazgos indican que ni la radiación de RF combinada sola ni la radiación de RF combinada con menadiona o H₂O₂ influyen el nivel intracelular de ROS en células neuronales como U87, PC12 o SH-SY5Y.

(E) Kaprana AE, Chimona TS, Papadakis CE, Velegrakis SG, Vardiambasis IO, Adamidis G, Velegrakis GA. Cambios en la respuesta auditiva del tronco encefálico durante la exposición a la radiación GSM-900: un estudio experimental. *Audiol Neurootol.* 16(4):270-276, 2011. (HU, EE)

El objetivo del presente estudio fue investigar los posibles cambios electrofisiológicos relacionados con el tiempo en la vía auditiva durante la exposición al campo electromagnético del teléfono móvil. Treinta conejos sanos fueron incluidos en un estudio experimental de exposición a la radiación GSM-900 durante 60 min y se registraron las respuestas auditivas del tronco encefálico (ABRs) a intervalos de tiempo regulares durante la exposición. Los sujetos del estudio fueron irradiados a través de un transmisor de radio de potencia y frecuencia ajustables para simulación de emisión de teléfonos móviles GSM-900, diseñado y fabricado de acuerdo con las necesidades del experimento. La latencia absoluta media de las ondas III-V mostró un retraso estadísticamente significativo ($p < 0,05$) después de 60, 45 y 15 min de exposición a la radiación electromagnética de 900 MHz, respectivamente. Se encontró que la latencia entre ondas I-III se prolongaba después de 60 min de exposición a la radiación en correspondencia con el retraso de latencia absoluta de la onda III. Se encontró que las latencias entre ondas IV y III-V tenían un retraso estadísticamente significativo ($p < 0,05$) después de 30 min de radiación. No se encontró un retraso estadísticamente significativo para los mismos parámetros ABR en los registros del oído contralateral a la fuente de radiación a 60 min de exposición a la radiación en comparación con el ABR basal. Las mediciones de ABR volvieron a los registros basales 24 h después de la exposición a la radiación electromagnética de 900 MHz. La prolongación de las latencias de intervalo IV y III-V indica que la exposición a los campos electromagnéticos emitidos por el teléfono móvil puede afectar la actividad electrofisiológica normal del sistema auditivo, y estos hallazgos se ajustan al patrón de respuestas generales a un factor estresante.

(E) Karaca E, Durmaz B, Aktug H, Yildiz T, Guducu C, Irgi M, Koksai MG, Ozkinay F, Gunduz C, Cogulu O. El efecto genotóxico de las ondas de radiofrecuencia en el cerebro del ratón. *J Neurooncol.* 106(1):53-58, 2012. (CS, CH)

Las preocupaciones sobre los efectos de las ondas de radiofrecuencia (RF) en la salud han surgido debido al aumento gradual en el uso de teléfonos celulares, y existen preguntas y debates científicos sobre la seguridad de esos instrumentos en la vida diaria. El objetivo de este estudio es evaluar los efectos genotóxicos de las ondas de radiofrecuencia en un modelo experimental de cultivo de células cerebrales. Los cultivos de células cerebrales de los ratones se expusieron a señales de 10,715 GHz con una tasa de absorción específica (SAR) de 0,725 W/kg durante 6 h en 3 días a 25 °C para verificar los cambios en el ensayo de micronúcleos (MNI) y en la expresión de 11 genes proapoptóticos y antiapoptóticos. Se encontró que la tasa de MNI aumentó

La expresión de STAT3 se multiplicó por 11 y disminuyó por 7 en los cultivos celulares expuestos a RF.

Los teléfonos celulares que propagan radiofrecuencia pueden dañar el ADN y cambiar la expresión genética en las células cerebrales.

(E) Keleş AI, Yıldırım M, Gedikli O, Çolakoğlu S, Kaya H, Baş O, Sönmez OF, Odacı E. Los efectos de un campo electromagnético continuo de 1 h/día de 900 MHz aplicado a lo largo de la adolescencia temprana y media sobre la morfología del hipocampo y la conducta de aprendizaje en ratas macho en la adolescencia tardía. J Chem Neuroanat 94:46-53, 2018. (AS, CE, ME, BE)

El propósito de este estudio fue investigar la morfología del hipocampo y los cambios en el comportamiento de aprendizaje en ratas macho en la adolescencia tardía expuestas al efecto de una dosis continua de 1 h al día de 900 mg/kg/día.

Campo electromagnético (CEM) de megahercios (MHz). Veinticuatro ratas Sprague Dawley macho de 3 a 10 años

Las semanas se dividieron equitativamente en grupos de control, simulado y EMF. Las ratas del grupo EMF fueron expuestas

a un campo electromagnético de 900 MHz dentro de una jaula electromagnética, mientras que las ratas del grupo de control se colocaron en la misma jaula pero no se expusieron a dicho efecto. No se realizó ningún procedimiento en el grupo de control.

Después de 25 días de aplicación de EMF, se aplicaron pruebas de evitación pasiva, laberinto radial de 8 brazos y laberinto en Y para determinar el rendimiento de aprendizaje y memoria de las ratas. Se aplicaron pruebas de campo abierto y de rotarod para evaluar la actividad locomotora. Al final de las pruebas, se extrajeron los cerebros de los animales. Se tomaron secciones y se tiñeron con azul de toluidina. Las regiones del hipocampo se sometieron a evaluación histopatológica. En el examen histopatológico, se observaron alteraciones de las estructuras celulares piramidales y granulares en el hipocampo del grupo EMF. No se observó ningún cambio significativo en el aprendizaje, la memoria o el comportamiento locomotor en ningún grupo. En conclusión, los EMF de 900 MHz aplicados en la adolescencia temprana y media no causan cambios en el aprendizaje, la memoria o el comportamiento locomotor.

(E) Keleş AI, Nyengaard JR, Odacı E. Cambios en el número de neuronas piramidales y granulares en el hipocampo de ratas 7 días después de la exposición a un campo electromagnético continuo de 900 MHz durante la adolescencia temprana y media. J Chem Neuroanat. 2019, 101:101681. (AS, CE, CC)

El objetivo de este estudio fue investigar los cambios cualitativos y cuantitativos en las neuronas piramidales y granulares en el hipocampo de ratas macho después de la exposición a un campo electromagnético (CEM) continuo de 900 megahercios (MHz) durante 25 días durante la adolescencia temprana y media. Se dividieron ratas macho Sprague Dawley sanas de tres semanas de edad (21 días) en grupos de control (CON), pseudoexpuestas (PEX) y CEM. Las ratas CEM fueron expuestas a un CEM de 900 MHz en una jaula de aplicación de CEM, mientras que las ratas PEX fueron colocadas en la misma jaula sin ser expuestas a CEM. No se realizó ningún procedimiento en CON. El CEM se aplicó durante 1 h/día, todos los días durante 25 días.

Después de las aplicaciones de campos electromagnéticos de 900 MHz y pseudoexposición, se realizaron pruebas de comportamiento durante siete días. Luego, se sacrificó a todos los animales y se les extrajo el cerebro.

Luego de los procedimientos histológicos de tejido, se tomaron secciones de los tejidos y se tiñeron con azul de toluidina. Se realizó la técnica de fraccionamiento óptico para estimar el número de neuronas piramidales en las regiones CA1, CA2-3 y del hilio del hipocampo y el número de neuronas granulares en la región del giro dentado. Nuestros hallazgos indicaron que el número de neuronas piramidales y granulares en el hipocampo del grupo EMF fue estadísticamente mayor que el del grupo PEX.

Además, los resultados histopatológicos mostraron que el citoplasma de las células piramidales (en el hilio, la región CA1, CA2 y CA3) y granulares (en la región del giro dentado) en el hipocampo se vio alterado, como es evidente por la tinción intensiva alrededor del citoplasma y se detectaron algunos artefactos en el grupo EMF. Además, las comparaciones estadísticas de los pesos corporales medios y los pesos cerebrales de los grupos de estudio no revelaron diferencias significativas. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre los grupos PEX y EMF en términos de temperatura ($p > 0,05$) o humedad ($p > 0,05$) en las jaulas. En conclusión, se encontró un mayor número de neuronas piramidales y granulares en el hipocampo de ratas macho después de la exposición continua a EMF de 900 MHz.

(E) Kerimoğlu G, Hancı H, Baş O, Aslan A, Erol HS, Turgut A, Kaya H, Çankaya S, Sönmez OF, Odacı E. Efectos perniciosos del campo electromagnético de 900 MHz continuo y prolongado durante la adolescencia sobre la morfología, la bioquímica y el número de neuronas piramidales del hipocampo en ratas macho Sprague Dawley de 60 días de edad. *J Chem Neuroanat.* 77:169-175, 2016. (AS, CE, ME, OX)

El sistema nervioso central (SNC) comienza a desarrollarse en el período intrauterino, un proceso que continúa hasta la edad adulta. Por lo tanto, el contacto con sustancias químicas, fármacos o agentes ambientales como los campos electromagnéticos (CEM) durante la adolescencia tiene el potencial de alterar el desarrollo de la arquitectura morfológica de los componentes del SNC (como el hipocampo). El hipocampo es esencial para funciones tan diversas como la adquisición e integración de la memoria y la maniobrabilidad espacial. Los CEM pueden provocar graves daños tanto a la morfología del hipocampo como a sus principales funciones durante la adolescencia. Aunque los niños y adolescentes sufren una mayor exposición a los CEM que los adultos, la información disponible actualmente sobre los efectos de la exposición a los CEM durante este período es aún insuficiente. Este estudio investigó el hipocampo de ratas macho de 60 días de edad tras la exposición a CEM de 900 megahercios (MHz) durante el período de la adolescencia utilizando técnicas de análisis estereológico, histopatológico y bioquímico. Dieciocho ratas Sprague Dawley macho de 21 días de edad se asignaron aleatoriamente a grupos de control, grupo simulado y grupo CEM. No se realizó ningún procedimiento en las ratas del grupo de control. El grupo EMF (EMFGr) fue expuesto a un EMF de 900 MHz durante 1 hora diaria desde el principio hasta el final de la adolescencia. Las ratas del grupo simulado se mantuvieron en la jaula EMF pero no fueron expuestas a EMF. Todas las ratas fueron sacrificadas a los 60 días de edad. Sus cerebros fueron extraídos y divididos por la mitad. Los hemisferios izquierdos fueron reservados para análisis bioquímicos y los hemisferios derechos fueron sometidos a evaluación estereológica e histopatológica.

El examen histopatológico reveló un mayor número de neuronas picnóticas con citoplasma negro o azul oscuro en portaobjetos de EMFGr teñidos con violeta de cresilo. Los análisis estereológicos revelaron menos neuronas piramidales en EMFGr que en los otros dos grupos. Los análisis bioquímicos mostraron un aumento en los niveles de malondialdehído y glutatión, pero una disminución en los niveles de catalasa en EMFGr. Nuestros resultados indican que el daño morfológico relacionado con el estrés oxidativo y la pérdida de neuronas piramidales pueden observarse en el hipocampo de ratas después de la exposición a campos electromagnéticos de 900 MHz durante el período de la adolescencia.

(E) Kerimoğlu G, Aslan A, Baş O, Çolakoğlu S, Odacı E. Efectos adversos en la morfología de la médula espinal lumbar y la bioquímica tisular en ratas macho Sprague Dawley tras la exposición a un campo electromagnético continuo de 900 MHz durante 1 hora al día durante la adolescencia. *J Chem Neuroanat.* 78:125-130, 2016. (AS, CE, ME, OX)

Los teléfonos móviles, un elemento indispensable de la vida diaria, son utilizados hoy en día por los adolescentes en niveles casi adictivos. Por lo tanto, los adolescentes están cada vez más expuestos a los efectos del campo electromagnético (CEM) emitido por los teléfonos móviles. El propósito de este estudio fue investigar el efecto de la exposición a un campo electromagnético de 900 MHz durante la adolescencia en la médula espinal lumbar utilizando técnicas histopatológicas, inmunohistoquímicas y bioquímicas. Veinticuatro ratas Sprague Dawley (28,3-43,9 g) de 21 días de edad fueron incluidas en el estudio. Estas fueron divididas equitativamente en tres grupos: control (CG), simulación (SG) y electromagnético (ELMAG). No se realizó ningún procedimiento en las ratas CG hasta el final del estudio. Las ratas SG y ELMAG se mantuvieron dentro de una jaula EMF (EMFC) durante 1 hora al día todos los días a la misma hora entre los días postnatales 22 y 60. Durante este tiempo, las ratas ELMAG fueron expuestas al efecto de un campo electromagnético de 900 MHz, mientras que las ratas SG se mantuvieron en la EMFC sin ser expuestas a los campos electromagnéticos. Al final del estudio, se extrajeron las regiones lumbares de las médulas espinales de todas las ratas en todos los grupos. La mitad de cada tejido extraído se almacenó a -80°C para el análisis bioquímico, mientras que la otra mitad se utilizó para análisis histopatológicos e inmunohistoquímicos. En términos de histopatología, se observó una médula espinal lumbar con morfología normal en los otros grupos, mientras que la irregularidad morfológica en la materia gris, el aumento de la vacuolización y la infiltración de materia blanca en la materia gris fueron pronunciadas en las ratas ELMAG. El citoplasma de algunas neuronas en la materia gris se encogió y se tiñó de oscuro, y se observaron vacuolas en los citoplasmas. El índice apoptótico de las células gliales y las neuronas fue significativamente mayor en ELMAG en comparación con los otros grupos.

El análisis bioquímico reveló un valor de MDA significativamente mayor en ELMAG en comparación con CG, mientras que los niveles de SOD y GSH disminuyeron significativamente. En conclusión, los resultados de nuestro estudio sugieren que la exposición continua a un campo electromagnético de 900 MHz durante 1 hora al día durante todas las etapas de la adolescencia puede provocar alteraciones tanto a nivel morfológico como bioquímico en la médula espinal de la región lumbar de ratas Sprague Dawley.

(E) Kesari KK, Kumar S, Behari J. La radiación de microondas de 900 MHz promueve la oxidación en el cerebro de ratas. *Electromagn Biol Med.* 30(4):219-234, 2011. (AS, CE, CH, OX)

Recientemente, ha habido varios informes que hacen referencia a los efectos perjudiciales debido a la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF). Se prestó especial atención a investigar el efecto de la exposición al teléfono móvil en el cerebro de la rata. Dado que el mecanismo integrador de todo el cuerpo se encuentra en el cerebro, es sugerente analizar sus aspectos bioquímicos. Para esto, ratas Wistar de 35 días de edad fueron expuestas a un teléfono móvil durante 2 h por día durante una duración de 45 días donde la tasa de absorción específica (SAR) fue de $0,9\text{ W / kg}$. Los animales se dividieron en dos grupos: grupo expuesto simulado ($n = 6$) y grupo expuesto ($n = 6$). Nuestras observaciones indican una disminución significativa ($P < 0,05$) en el nivel de glutatión peroxidasa, superóxido dismutasa y un aumento en la actividad de la catalasa. Además, la proteína quinasa muestra una disminución significativa en el grupo expuesto ($P < 0,05$) del hipocampo y todo el cerebro. Además, se observó una disminución significativa ($P < 0,05$) en el nivel de melatonina pineal y un aumento significativo ($P < 0,05$) en la creatina quinasa y la caspasa 3.

grupo de cerebros enteros expuestos en comparación con el grupo de exposición simulada. Por último, también se registró un aumento significativo en el nivel de ROS (especies reactivas de oxígeno) ($P < 0,05$). El estudio concluye que una reducción o un aumento en las actividades de las enzimas antioxidantes, proteína quinasa C, melatonina, caspasa 3 y creatina quinasa están relacionadas con la sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (ROS) en animales expuestos a la radiación de los teléfonos móviles. Nuestros hallazgos sobre estos biomarcadores son indicaciones claras de posibles implicaciones para la salud.

(E) Kesari KK, Meena R, Nirala J, Kumar J, Verma HN. Efecto de la exposición a un teléfono móvil 3G con un motor paso a paso 2D controlado por ordenador sobre la activación no térmica de la vía de estrés hsp27/p38MAPK en el cerebro de ratas. *Cell Biochem Biophys.* 68(2):347-358, 2014. (AS, CE, CH)

La exposición a la radiación de los teléfonos móviles y su interacción biológica es motivo de actual debate. El presente estudio tuvo como objetivo investigar el efecto de la exposición a un teléfono celular 3G con un motor paso a paso 2-D controlado por computadora en el cerebro de ratas Wistar macho de 45 días de edad. Los animales fueron expuestos durante 2 horas al día durante 60 días utilizando un teléfono móvil con un movimiento angular de entre cero y 30°. La variación del motor está restringida a 90° con respecto al plano horizontal, moviéndose a una velocidad predeterminada de 2° por minuto. Inmediatamente después de 60 días de exposición, los animales fueron escarificados y se realizaron varios parámetros (rotura de doble cadena de ADN, micronúcleos, caspasa 3, apoptosis, fragmentación de ADN, expresión de genes sensibles al estrés). El resultado muestra que la radiación de microondas emitida por el teléfono móvil 3G indujo significativamente roturas de cadenas de ADN en el cerebro. Mientras tanto, también se observó un aumento significativo en micronúcleos, caspasa 3 y apoptosis en el grupo expuesto ($P < 0,05$). Los resultados de la prueba Western blot muestran que la exposición a teléfonos móviles 3G provoca un aumento transitorio de la fosforilación de las proteínas quinasas activadas por mitógeno hsp27, hsp70 y p38 (p38MAPK), lo que conduce a la liberación de citocromo c mediada por disfunción mitocondrial y la posterior activación de caspasas, implicadas en el proceso de muerte celular apoptótica inducida por radiación. El estudio muestra que el estrés oxidativo es el principal factor que activa una variedad de vías de transducción de señales celulares, entre ellas la hsp27/p38MAPK es la vía de respuesta principal al estrés. Los resultados concluyen que las radiaciones de los teléfonos móviles 3G afectan a la función cerebral y causan varios trastornos neurológicos.

(E) Khullar S1, Sood A2, Sood S3. Respuestas auditivas del tronco encefálico y campos electromagnéticos generados por teléfonos móviles. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 65(Suppl 3):645-649, 2013. (HU, EE)

El número de usuarios de teléfonos móviles en todo el mundo se ha multiplicado y actualmente supera los 2.000 millones. Sin embargo, este avance tecnológico, como muchos otros, va acompañado de un aumento progresivo de la frecuencia e intensidad de las ondas electromagnéticas sin tener en cuenta las consecuencias para la salud. El objetivo de nuestro estudio era avanzar en nuestra comprensión de los posibles efectos adversos de los teléfonos móviles GSM en las respuestas auditivas del tronco encefálico (ABR). Se seleccionaron 60 sujetos para el estudio y se dividieron en tres grupos de 20 cada uno en función de su uso de teléfonos móviles. Se registraron sus ABR y se analizaron para la latencia de las ondas IV, así como las latencias entre picos I-III, IV y III-V (en ms). Los resultados no revelaron diferencias significativas en los parámetros ABR entre el grupo A (grupo de control) y el grupo B (sujetos que utilizaron teléfonos móviles durante un máximo de 30 minutos al día durante 5 años). Sin embargo, la latencia de las ondas se prolongó significativamente en el grupo C (sujetos que utilizaron teléfonos móviles durante un máximo de 30 minutos al día durante 5 años).

10 años durante un máximo de 30 min/día) en comparación con el grupo de control. En base a nuestros hallazgos, concluimos que la exposición prolongada a los teléfonos móviles puede afectar la conducción en la porción periférica de la vía auditiva. Sin embargo, es necesario realizar más investigaciones para estudiar los efectos a largo plazo de los teléfonos móviles, en particular de las tecnologías más nuevas, como los teléfonos inteligentes y la tecnología 3G.

(NE) Kim HS, An YS, Paik MJ, Lee YS, Choi HD, Kim BC, Pack JK, Kim N, Ahn YH. Los efectos de la exposición a la identificación por radiofrecuencia de 915 MHz en el metabolismo de la glucosa cerebral en ratas: un estudio de micro-PET con [F-18] FDG. Int J Radiat Biol. 7 de mayo de 2013. [Publicación electrónica antes de la impresión] (AS, CE, CC, CH)

Objetivo: Investigamos el efecto de la exposición de cuerpo entero a la identificación por radiofrecuencia (RFID) de 915 MHz en el metabolismo de la glucosa cortical de ratas mediante tomografía por emisión de positrones con 18F-desoxiglucosa (FDG-PET). Materiales y métodos: Las ratas Sprague-Dawley macho se dividieron en tres grupos: grupo control en jaula, grupo expuesto simuladamente y grupo expuesto a RFID. Las ratas fueron expuestas a la RFID de 915 MHz durante 8 h diarias, 5 días a la semana, durante 2 o 16 semanas. La tasa de absorción específica (SAR) promedio de cuerpo entero fue de 4 W/kg para el campo de la señal RFID de 915 MHz. Las imágenes FDG-PET se obtuvieron al día siguiente de la exposición a RFID, utilizando micro-PET con un trazador FDG. Con una estación de trabajo de imágenes funcionales Xeleris, se midieron los valores absolutos en las regiones de interés (ROI) en las cortezas frontal, temporal y parietal y el cerebelo. Los valores de ROI corticales se normalizaron al valor cerebeloso y se compararon. Resultados: Los datos mostraron que la tasa metabólica cerebral relativa de la glucosa no varió en las cortezas frontal, temporal y parietal de las ratas expuestas a RFID de 915 MHz, en comparación con las ratas de los grupos de control en jaula y de exposición simulada. Conclusión: Nuestros resultados sugieren que la exposición a la radiación RFID de 915 MHz no causó un efecto significativo de larga duración en el metabolismo de la glucosa en el cerebro de la rata.

(NE) Kim HS, Kim YJ, Lee YH, Lee YS, Choi HD, Pack JK, Kim N, Ahn YH. Efecto de la exposición de todo el cuerpo al campo electromagnético de acceso múltiple por división de código (CDMA) de 848,5 MHz sobre la neurogénesis adulta en el cerebro de ratas jóvenes y sanas. Int J Radiat Biol. 15 de diciembre de 2014:1-15. [Publicación electrónica antes de la impresión] (AS, CE, CC)

Introducción: No está claro si la exposición a la señal de acceso múltiple por división de código (CDMA) de 848,5 MHz afecta la neurogénesis adulta. Materiales y métodos: Se realizó un experimento con animales con una cámara de reverberación diseñada como un sistema de exposición CDMA de cuerpo entero. Las ratas Sprague-Dawley macho se asignaron a tres grupos (n = 6 por grupo): grupo de control en jaula, grupo de exposición simulada y grupo de exposición a CDMA. Las ratas del grupo de exposición a CDMA fueron expuestas a la señal CDMA a una tasa de absorción específica (SAR) de cuerpo entero de 2 W/kg durante 1 u 8 h diarias, 5 días a la semana, durante 2 semanas. Las ratas recibieron una única inyección intraperitoneal de bromodesoxiuridina (BrdU) para marcar las células proliferativas diariamente durante los últimos cinco días consecutivos de exposición a la señal CDMA. Se utilizó un método estereológico imparcial para estimar el número de células BrdU+ en la zona subventricular (SVZ) y el giro dentado (DG). Resultados: No encontramos cambios significativos en el número de células BrdU+ en el SVZ o el DG en las ratas expuestas a CDMA, en comparación con las ratas de los grupos de control en jaula y de exposición simulada (p > 0,05). Conclusión: Nuestros resultados sugieren que

La exposición a la señal CDMA no afecta la neurogénesis en el cerebro de la rata adulta, al menos en nuestras condiciones experimentales.

(E) Kim HS, Paik MJ, Seo C, Choi HD, Pack JK, Kim N, Ahn YH. Influencias de la exposición a señales de identificación por radiofrecuencia de 915 MHz en los metabolitos de serotonina en ratas: un estudio piloto. *Int J Radiat Biol.* 2021; 97(2):282-287 (AS, CE, CH)

Objetivo: Las influencias de la exposición a la radiofrecuencia electromagnética en la salud animal, particularmente en el metabolismo de la serotonina, no están bien dilucidadas. En este estudio in vivo, estudiamos las influencias de la exposición a señales de identificación por radiofrecuencia (RFID) en el metabolismo de la serotonina. Materiales y métodos: Veintidós ratas Sprague-Dawley macho fueron asignadas a grupos de simulación (n = 10) y expuestas a RFID (n = 12). Las ratas en el grupo expuesto a RFID fueron expuestas a señales RFID a una tasa de absorción específica de cuerpo entero promedio de 2 W/kg durante 8 h/día, 5 días/semana durante 2 semanas. Antes y después de la exposición a RFID, se recogió orina de 24 horas de cada rata. Triptófano urinario, 5-hidroxitriptófano, serotonina, ácido 5-hidroxiindolacético y 5-

Se examinaron las concentraciones de ácido metoxiindol-3-acético mediante cromatografía de gases-espectrometría de masas y se compararon los cambios en los patrones de valores entre los dos grupos.

Resultados: Los niveles urinarios de serotonina disminuyeron un 20% (p = 0,041, prueba t de Student) y un 40% (p = 0,024, prueba t de Student) tanto en el grupo de tratamiento simulado como en el grupo expuesto a RFID, respectivamente.

El ácido metoxiindol-3-acético disminuyó en un 30% en el grupo expuesto a RFID (p = 0,039, prueba t de Student).

Conclusión: Nuestros resultados indican que la exposición a señales RFID a una tasa de absorción específica de 2 W/kg es suficiente para alterar el metabolismo de la serotonina en ratas, independientemente de si el nivel de exposición se considera biopeligroso.

(E) Kim JH, Yu DH, Huh YH, Lee EH, Kim HG, Kim HR. La exposición prolongada a campos electromagnéticos de radiofrecuencia de 835 MHz induce hiperactividad, autofagia y desmielinización en las neuronas corticales de ratones. *Sci Rep.* 7:41129, 2017. (AS, CE, BE, CC)

Los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) se utilizan globalmente en conjunción con las comunicaciones móviles. Existe preocupación pública por las consecuencias biológicas nocivas percibidas de la exposición a RF-EMF. Este estudio evaluó los efectos neuronales de RF-EMF en la corteza cerebral del cerebro del ratón como un indicador de la exposición craneal durante el uso del teléfono móvil. Se expuso a ratones C57BL/6 a RF-EMF de 835 MHz a una tasa de absorción específica (SAR) de 4,0 W/kg durante 5 horas/día durante 12 semanas. El objetivo era examinar la activación de la vía de autofagia en la corteza cerebral, una región del cerebro que se encuentra relativamente externa. La inducción de genes de autofagia y la producción de proteínas, incluidas LC3B-II y Beclin1, aumentaron y se observó acumulación de autolisosomas en los cuerpos celulares neuronales. Sin embargo, el factor proapoptótico Bax se reguló a la baja en la corteza cerebral. Es importante destacar que descubrimos que la exposición a RF-EMF provocó daño en la vaina de mielina y los ratones mostraron un comportamiento similar a la hiperactividad. Los datos sugieren que la autofagia puede actuar como una vía protectora para los cuerpos celulares neuronales en la corteza cerebral durante la exposición a radiofrecuencias. Las observaciones de que los cuerpos celulares neuronales permanecieron estructuralmente estables pero se indujo la desmielinización en las neuronas corticales después de una exposición prolongada a RF-EMF sugieren una posible causa de trastornos neurológicos o neuroconductuales.

(E) Kim JH, Yu DH, Kim HJ, Huh YH, Cho SW, Lee JK, Kim HG, Kim HR. La exposición a un campo electromagnético de radiofrecuencia de 835 MHz induce autofagia en el hipocampo, pero no en el cerebro.

Tallos de ratones. *Toxicol Ind Health*. 1 de enero de 2017:748233717740066. doi:

10.1177/0748233717740066. [Epub antes de impresión] (AS, CE, ME)

La creciente popularidad de los teléfonos móviles y su proximidad al cerebro durante su uso ha suscitado preocupación entre el público por los posibles efectos adversos de la exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) en el sistema nervioso central. Numerosos estudios han sugerido que los CEM-RF emitidos por los teléfonos móviles pueden influir en las funciones neuronales del cerebro.

Actualmente, todavía hay muy poca información sobre qué mecanismos biológicos influyen en las células neuronales del cerebro. En el presente estudio, exploramos si la autofagia se desencadena en el hipocampo o el tronco encefálico después de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Se expusieron ratones C57BL/6 a campos electromagnéticos de radiofrecuencia de 835 MHz con tasas de absorción específica (SAR) de 4,0 W/kg durante 12 semanas; después, se diseccionó y analizó el hipocampo y el tronco encefálico de los ratones. El análisis cuantitativo de reacción en cadena de la polimerasa en tiempo real (qRT-PCR) demostró que varios genes autofágicos, que desempeñan papeles clave en la regulación de la autofagia, se regulaban positivamente de forma significativa solo en el hipocampo y no en el tronco encefálico. Los niveles de expresión de la proteína LC3B-II y p62, proteínas reguladoras autofágicas cruciales, se modificaron significativamente solo en el hipocampo. Paralelamente, la microscopía electrónica de transmisión (MET) reveló un aumento en el número de autofagosomas y autolisosomas en las neuronas del hipocampo de ratones expuestos a campos electromagnéticos de radiofrecuencia. El presente estudio reveló que la autofagia se indujo en el hipocampo, no en el tronco encefálico, en campos electromagnéticos de radiofrecuencia de 835 MHz con una SAR de 4,0 W/kg durante 12 semanas. Estos resultados podrían sugerir que, entre los diversos procesos de adaptación al entorno de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia, la degradación autofágica es un posible mecanismo en regiones cerebrales específicas.

(E) Kim JH, Kim HJ, Yu DH, Kweon HS, Huh YH, Kim HR. Cambios en la cantidad y el tamaño de las vesículas sinápticas de las neuronas corticales inducidos por la exposición a un campo electromagnético de radiofrecuencia de 835 MHz. *PLoS One*. 12(10):e0186416, 2017. (AS, CE, ME, CH)

Estudiamos los efectos de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) en las funciones neuronales de ratones. En particular, nos centramos en los efectos de RF-EMF en las vesículas sinápticas (SV), que almacenan neurotransmisores en terminales axónicas o botones sinápticos. Se expusieron ratones C57BL/6 a RF-EMF de 835 MHz (4,0 W/kg SAR, durante 5 h diarias) y se determinaron alteraciones en las SV en terminales presinápticas en la corteza cerebral. Se observó la ultraestructura de neuronas corticales seleccionadas al azar utilizando métodos típicos de microscopía electrónica y microscopía electrónica de bio-alto voltaje (Bio-HVEM), que permiten la estimación de los números y el tamaño de las SV. La densidad de las SV (número /10 μm^2 o 40 μm^3) disminuyó significativamente en los botones presinápticos de las neuronas corticales después de la exposición a RF-EMF. Además, los análisis de qPCR e inmunotransferencia revelaron que la expresión de los genes y proteínas de las sinapsinas I/II (Syns I/II) disminuyó significativamente en las neuronas corticales de ratones expuestos a campos electromagnéticos de radiofrecuencia. El presente estudio sugirió que la alteración de los niveles de SV y Syn puede resultar en alteraciones de los neurotransmisores en la corteza cerebral después de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia.

(E) Kim JH, Huh YH, Kim HR. El tráfico de vesículas sinápticas se modifica en el hipotálamo por la exposición a un campo electromagnético de radiofrecuencia de 835 MHz. *Gen Physiol Biophys*. 38:379-388, 2019. (AS, CE, ME)

Con el rápido aumento del uso de teléfonos móviles y su uso en estrecho contacto con el cerebro, existen algunas preocupaciones sobre los posibles efectos neuronales inducidos por la exposición a una radiación electromagnética excesiva. La exposición a un campo electromagnético de radiofrecuencia (RF-EMF) de 835 MHz (4,0 W/kg tasa de absorción específica (SAR) 5 h/día durante 12 semanas) puede afectar a las neuronas presinápticas hipotalámicas en ratones C57BL/6. El número y el tamaño de las vesículas sinápticas (SV) en las terminales presinápticas hipotalámicas disminuyeron significativamente después de la exposición a RF-EMF.

Además, la densidad (número de SV/ μm) de SV acopladas y fusionadas en las zonas activas de la membrana terminal presináptica disminuyó significativamente en las neuronas hipotalámicas. Los niveles de expresión de sinapsina I/II y sinaptotagmina 1, dos reguladores del tráfico de SV en las neuronas, también disminuyeron significativamente en el hipotálamo. En paralelo, la expresión del canal de calcio disminuyó significativamente. Estos cambios en las SV en las zonas activas pueden disminuir directamente la liberación de neurotransmisores en las terminales presinápticas hipotalámicas.

Por lo tanto, estudiamos más a fondo los posibles cambios en la función hipotalámica mediante pruebas de temperatura corporal central y peso corporal y realizamos la prueba del perdigón enterrado. El tráfico de SV se vio modificado por los campos electromagnéticos de radiofrecuencia; sin embargo, no pudimos encontrar ningún cambio fenotípico significativo en nuestra condición experimental.

(E) Kim JH, Chung KH, Hwang YR, Park HR, Kim HJ, Kim HG, Kim HR. La exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia altera la estructura postsináptica y dificulta el crecimiento de neuritas en neuronas hipocámpales en desarrollo de ratones posnatales tempranos. *Int J Mol Sci* 2021 19 de mayo;22(10):5340.

(Asuntos de estudio, ciencias, ingeniería, química, química y química)

La exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) ha aumentado rápidamente en niños, pero la información sobre los efectos de la exposición a RF-EMF en el sistema nervioso central en niños es limitada. En este estudio, las crías y las madres fueron expuestas a RF-EMF de cuerpo entero a 4,0 W/kg de tasa de absorción específica (SAR) durante 5 h por día durante 4 semanas (desde el día postnatal (P) 1 hasta P28). Los efectos de la exposición a RF-EMF en las neuronas se evaluaron utilizando el hipocampo de las crías y neuronas hipocámpales primarias cultivadas. El número total de espinas dendríticas mostró disminuciones estadísticamente significativas en el giro dentado (DG) pero no se alteró en el cuerno de amonio (CA1) en las neuronas hipocámpales. En particular, el número de espinas dendríticas tipo hongo mostró disminuciones estadísticamente significativas en el CA1 y DG. La expresión de los receptores de glutamato disminuyó en las espinas dendríticas de tipo hongo en el CA1 y DG de las neuronas del hipocampo después de la exposición a los CEM de radiofrecuencia. La expresión del factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) en el CA1 y DG fue significativamente menor estadísticamente en los ratones expuestos a los CEM de radiofrecuencia. El número de puntos de la proteína de densidad postsináptica 95 (PSD95) aumentó gradualmente con el tiempo, pero disminuyó significativamente estadísticamente en los días *in vitro* (DIV) 5, 7 y 9 después de la exposición a los CEM de radiofrecuencia. La disminución de la expresión de BDNF se limitó al soma y no se observó en las neuritas de las neuronas del hipocampo después de la exposición a los CEM de radiofrecuencia. La longitud del crecimiento de las neuritas y el número de ramificaciones mostraron disminuciones estadísticamente significativas, pero no se observaron cambios en el tamaño del soma de las neuronas del hipocampo. Además, el índice de memoria mostró disminuciones estadísticamente significativas en los ratones expuestos a campos electromagnéticos de radiofrecuencia, lo que sugiere que la disminución de la densidad sináptica después de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia en etapas tempranas del desarrollo puede afectar la función de la memoria.

En conjunto, estos datos sugieren que el crecimiento neuronal obstaculizado tras la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia puede disminuir la densidad sináptica general durante el desarrollo temprano de las neuritas de las neuronas del hipocampo.

(E) Kim JY, Kim HJ, Kim N, Kwon JH, Park MJ. Efectos de la exposición a campos de radiofrecuencia sobre el estrés oxidativo inducido por glutamato en células HT22 del hipocampo de ratón. *Int J Radiat Biol.* 93:249-256, 2017. (CS, CC, OX, IA)

OBJETIVO: Para definir el impacto de la radiofrecuencia (RF) en condiciones experimentales in vitro de la enfermedad de Alzheimer, investigamos el efecto de la radiación RF sobre el estrés oxidativo inducido por glutamato en células neuronales HT22 del hipocampo de ratón. MATERIALES Y MÉTODOS: La tasa de supervivencia celular se midió mediante ensayos de exclusión de MTT y azul tripán. La distribución del ciclo celular, la muerte celular y la producción de ROS se analizaron mediante citometría de flujo. La expresión de proteínas se analizó mediante transferencia Western. RESULTADOS: La exposición a RF por sí sola tuvo un impacto marginal en la proliferación celular, sin embargo mejoró significativamente la citotoxicidad inducida por glutamato en células HT22. El glutamato aumentó la fracción subG1 del ciclo celular, la población celular positiva a anexina/yoduro de propidio y la expresión de la poli (ADP ribosa) polimerasa escindida, que aumentaron aún más con la exposición a RF. La generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) inducida por glutamato y la exposición a RF la regularon aún más. El tratamiento con N-acetilcisteína (NAC) anuló por completo la producción de ROS inducida por glutamato y RF, seguida de muerte celular y restauró la proliferación celular en las células HT22. Finalmente, la fosforilación de la quinasa N-terminal c-Jun (JNK) por glutamato y el RF aumentaron aún más este evento. El tratamiento con NAC e inhibidor de JNK disminuyó la fosforilación de JNK y restauró la proliferación celular, respectivamente. CONCLUSIONES: Nuestros resultados demuestran que la exposición a RF mejoró la citotoxicidad inducida por glutamato al aumentar aún más la producción de ROS en las células HT22.

(NE) Kim TH, Huang TQ, Jang JJ, Kim MH, Kim HJ, Lee JS, Park JK, Seo JS, Park WY. La exposición local a la radiación de radiofrecuencia de 849 MHz y 1763 MHz en cabezas de ratones no induce muerte celular ni proliferación celular en el cerebro. *Exp Mol Med.* 40(3):294-303, 2008. (AS, CE, CC)
Fe de erratas en: *Exp Mol Med.* 31 de agosto de 2008;40(4):477. Kim, Tae-Hyoung [corregido a Kim, Tae-Hyung].

Aunque no hay evidencia directa que demuestre los cambios celulares y moleculares inducidos por la radiación de radiofrecuencia (RF) en sí, no podemos excluir por completo la posibilidad de cualquier efecto biológico de la radiación de frecuencia de teléfono móvil. Establecimos una cámara de exposición tipo carrusel para 849 MHz o 1763 MHz de radiación de RF de teléfono móvil para exponer RF a las cabezas de ratones C57BL. En esta cámara, los animales fueron irradiados de forma intermitente a 7,8 W/kg durante un máximo de 12 meses. Durante este período, los pesos corporales de 3 grupos (simulado, RF de 849 MHz y RF de 1763 MHz) no mostraron ninguna diferencia entre los grupos. Los tejidos cerebrales se obtuvieron de 3 grupos a los 6 meses y 12 meses para examinar las diferencias en la histología y la proliferación celular entre los grupos de control y de exposición a RF, pero no pudimos encontrar ningún cambio con la radiación de RF. De igual forma, no pudimos encontrar cambios en la expresión y distribución de NeuN y GFAP en hipocampo y cerebelo, ni en muerte celular por ensayo TUNEL en grupos de exposición a RF. A partir de estos datos, concluimos que la exposición crónica a la radiación RF de 849 MHz y 1763 MHz a una tasa de absorción específica (SAR) de 7,8 W/kg no pudo inducir alteraciones celulares como proliferación, muerte y gliosis reactiva.

(E) Kivrak EG, Altunkaynak BZ, Alkan I, Yurt KK, Kocaman A, Onger ME. Efectos de la radiación de 900 MHz en el hipocampo y el cerebelo de ratas adultas y

Atenuación de dichos efectos por el ácido fólico y la *Boswellia sacra*. *J Microsc Ultrastruct.*;5(4):216-224,2017. (AS, CE, CC, OX)

La radiación emitida por los teléfonos móviles tiene diversos efectos nocivos para la salud humana. Este estudio se realizó para evaluar los efectos de la exposición a la radiación de 900-MHz Campos electromagnéticos (CEM) de radiación de MHz emitidos por teléfonos móviles en el cuerno de Ammon y el giro dentado (DG) en el hipocampo y el cerebelo de ratas albinas Wistar macho. También investigamos los efectos neuroprotectores de los antioxidantes *Boswellia sacra* (BS) y ácido fólico (FA) contra la exposición a CEM. Veinticuatro ratas macho adultas se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos de seis animales cada uno, un grupo CEM, un grupo de exposición a CEM + FA (EFA), un grupo de exposición a CEM + BS (EBS) y un grupo de control (Cont). Los grupos CEM, EFA y EBS fueron expuestos a radiación CEM de 900 MHz dentro de un tubo una vez al día durante 21 días (60 min/día). El grupo Cont no fue expuesto a radiación CEM de 900 MHz

MHz EMF. Los resultados mostraron que los EMF causaron una disminución significativa en el número total de células piramidales y granulares en el hipocampo, y en el número de células DG y de Purkinje en el cerebelo en el grupo EMF en comparación con los otros grupos ($p < 0,05$).

La BS y la FA atenuaron los efectos neurodegenerativos de los campos electromagnéticos en el hipocampo y el cerebelo. También se determinaron diferencias significativas entre el número de neuronas en los grupos EFA y EMF, y entre los grupos EBS y EMF ($p < 0,05$).

Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre Cont, EFA y EBS ($p > 0,05$).

Nuestros resultados pueden contribuir a la investigación en curso sobre los efectos de la exposición a campos electromagnéticos de 900 MHz.

(NE) Kleinlogel H, Dierks T, Koenig T, Lehmann H, Minder A, Berz R. Efectos de los campos electromagnéticos débiles de los teléfonos móviles (GSM, UMTS) sobre el bienestar y el EEG en reposo. *Bioelectromagnética*. 29(6):479-487, 2008a. (HU, BE, EE)

Los teléfonos móviles modernos emiten campos electromagnéticos (CEM) que van desde los 900 a los 2000 MHz y que, según se ha sugerido, influyen en el bienestar, la atención y los parámetros neurológicos de los usuarios de teléfonos móviles. Hasta la fecha, la mayoría de los estudios han investigado el Sistema Global para Móviles Comunicaciones (GSM)-EMF y sólo unos pocos estudios se ocuparon de la telefonía móvil universal Sistema de telecomunicaciones (UMTS)-CEM. Por consiguiente, probamos los efectos de ambos tipos de CEM, UMTS de 1950 MHz (SAR 0,1 y 1 W/kg) y GSM pulsado de 900 MHz (1 W/kg), sobre el bienestar y el electroencefalograma en reposo controlado por la vigilancia (ojos cerrados) en 15 sujetos diestros sanos. Se utilizó una aplicación cruzada, aleatorizada y doble ciego del procedimiento de prueba. Ni los campos electromagnéticos UMTS ni los GSM produjeron cambios significativos en los parámetros medidos en comparación con la exposición simulada. Los resultados no aportan ninguna prueba de un efecto nocivo de los campos electromagnéticos en usuarios normales y sanos de teléfonos móviles.

(NE) Kleinlogel H, Dierks T, Koenig T, Lehmann H, Minder A, Berz R. Efectos de los campos electromagnéticos débiles de los teléfonos móviles (GSM, UMTS) sobre los potenciales relacionados con eventos y las funciones cognitivas. *Bioelectromagnetismo*. 29(6):488-497, 2008b. (HU, EE, BE)

Los teléfonos móviles modernos emiten campos electromagnéticos (CEM) que van desde 900 a 2000 MHz y que se cree que influyen en el bienestar, la atención y los parámetros neurológicos.

usuarios de teléfonos móviles. Hasta ahora, la mayoría de los estudios han investigado el Sistema Global para Móviles Comunicaciones (GSM)-EMF y sólo muy pocos estudios se han centrado en la telefonía móvil universal Sistema de telecomunicaciones (UMTS)-CEM. Por lo tanto, probamos los efectos de ambos tipos de CEM presentados unilateralmente, UMTS 1950 (0,1 y 1 W/kg) y GSM 900 MHz pulsado (1 W/kg), sobre el P100 occipital evocado visualmente, el P300 de una prueba de rendimiento continuo, el N100 central evocado auditivamente y el P300 durante una tarea de bolas extrañas, así como sobre los respectivos parámetros de comportamiento, tiempo de reacción y reacciones falsas, en 15 sujetos diestros sanos. Se utilizó una aplicación cruzada, aleatorizada y doble ciego del procedimiento de prueba. Ni el CEM UMTS ni el GSM produjeron cambios significativos en los parámetros medidos en comparación con la exposición simulada. Los resultados no brindan ninguna evidencia de un efecto nocivo del CEM en usuarios normales y sanos de teléfonos móviles.

(NE) Klose M, Grote K, Spathmann O, Streckert J, Clemens M, Hansen VW, Lerchl A. Efectos de la exposición temprana a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (GSM 900 MHz) en el comportamiento y la memoria en ratas. *Radiat Res.* 182(4):435-447, 2014. (AS, CE, BE)

Se expuso a ratas Wistar hembras, de una edad de 14 días a 19 meses, en la región de la cabeza durante 2 h por día, 5 días por semana, a un campo electromagnético de radiofrecuencia (RF-EMF) de 900 MHz modulado por GSM. Las tasas de absorción específica (SAR) promedio en el cerebro fueron 0 (simulado), 0,7, 2,5 y 10 W/kg. Para asegurar una exposición primaria de la región de la cabeza, las ratas fueron fijadas en tubos de contención de diferentes tamaños según su creciente peso corporal. Durante el experimento, se realizó un conjunto de 4 pruebas de comportamiento y aprendizaje (rotarod, laberinto acuático de Morris, laberinto radial de 8 brazos, campo abierto) 3 veces en ratas jóvenes, adultas y preseniles. En estas pruebas, no se pudieron identificar diferencias profundas entre los grupos. Solo las ratas preseniles del grupo de control de la jaula mostraron una actividad menor en dos de estas pruebas en comparación con los otros grupos, presumiblemente debido a la falta de manipulación diaria. Los datos del rotarod revelaron en algunos días de prueba tiempos de retención significativamente más largos para la rata expuesta simulada en comparación con la rata expuesta, pero estos hallazgos no fueron consistentes.

Durante el primer año, los pesos corporales de las ratas expuestas y las expuestas simuladamente no fueron diferentes de los de las ratas de control enjauladas, y después fueron solo marginalmente menores, por lo que el efecto del estrés como factor de confusión fue probablemente insignificante. Los resultados de este estudio no indican efectos nocivos de la exposición prolongada a campos electromagnéticos de radiofrecuencia, incluso cuando se inicia a una edad temprana, sobre el desarrollo posterior, las habilidades de aprendizaje y el comportamiento de las ratas, incluso con valores de SAR relativamente altos.

(E) Köktürk S, Yardimoglu M, Celikozlu SD, Dolanbay EG, Cimbiz A. Efecto del extracto de *Lycopersicon esculentum* sobre la apoptosis en el cerebelo de la rata, tras la exposición prenatal y posnatal a un campo electromagnético. *Exp Ther Med.* 6(1):52-56, 2013. (AS, CE, DE, CC)

La expansión de la tecnología de telefonía móvil ha suscitado inquietudes respecto del efecto de la 900-Exposición a campos electromagnéticos (CEM) de 200 MHz en el sistema nervioso central. En la actualidad, el cerebro humano en desarrollo está expuesto regularmente a teléfonos móviles, antes y después del nacimiento. Varios estudios han demostrado los efectos agudos de la exposición a los campos electromagnéticos durante los períodos prenatal y posnatal; sin embargo, los efectos crónicos de la exposición a los campos electromagnéticos son menos conocidos. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar los efectos crónicos de los campos electromagnéticos en ratas prenatales y posnatales.

cerebelo. El grupo de control se mantuvo en las mismas condiciones que los grupos experimentales, sin exposición a los campos electromagnéticos. En el grupo EMF1, las ratas estuvieron expuestas a los campos electromagnéticos durante los períodos pre y posnatal (hasta el día 80 posnatal). En el grupo EMF2, las ratas también estuvieron expuestas a los campos electromagnéticos pre y posnatal; además, se les proporcionó un suplemento oral diario de extracto de *Lycopersicon esculentum* (2 g/kg). El número de caspasas-3-

A continuación, se contaron las neuronas de Purkinje marcadas y las células granulares presentes en las ratas de los grupos de control y experimentales. Se estudiaron los cambios neurodegenerativos mediante tinción con violeta de cresilo y se evaluaron estos cambios. En comparación con los animales de control, el grupo EMF1 demostró un aumento significativo en el número de neuronas de Purkinje marcadas con caspasa-3 y células granulares presentes en el cerebelo ($P < 0,001$). Sin embargo, en comparación con el grupo EMF1, el grupo EMF2 exhibió significativamente menos neuronas de Purkinje marcadas con caspasa-3 y células granulares en el cerebelo. En el grupo EMF1, se reveló que las neuronas de Purkinje habían sufrido cambios degenerativos neuronales oscuros. Sin embargo, la presencia de neuronas de Purkinje oscuras se redujo en el grupo EMF2, en comparación con el grupo EMF1. Los resultados indicaron que la apoptosis y la neurodegeneración en ratas expuestas a EMF durante los períodos pre y postnatales pueden reducirse con la terapia con extracto de *Lycopersicon esculentum* .

(NE) Krause CM, Pesonen M, Haarala Björnberg C, Hämäläinen H. Efectos de la exposición a teléfonos móviles de onda pulsada y continua de 902 MHz en la actividad oscilatoria cerebral durante el procesamiento cognitivo. *Bioelectromagnetismo*. 28(4):296-308, 2007. (HU, EE)

El objetivo de los estudios doble ciego actuales fue replicar parcialmente los estudios de Krause et al. [2000ab, 2004] e investigar más a fondo los posibles efectos de los campos electromagnéticos (CEM) emitidos por los teléfonos móviles (MP) en las respuestas del EEG (electroencefalograma) de desincronización/sincronización relacionada con eventos (ERD/ERS) durante el procesamiento cognitivo. Se reclutaron dos grupos, ambos compuestos por 36 participantes masculinos. Un grupo realizó una tarea de memoria auditiva y el otro realizó una tarea de memoria de trabajo visual en seis condiciones de exposición: SHAM (sin CEM), CW (CEM de onda continua) y PM (CEM modulado por pulso) durante la exposición del lado izquierdo y derecho, mientras se registraba el EEG. En línea con nuestros estudios anteriores, observamos que la exposición a CEM tuvo efectos modestos en las respuestas oscilatorias cerebrales en el rango de frecuencia alfa (aproximadamente 8-12 Hz) y no tuvo efectos en las medidas conductuales. Sin embargo, los efectos en el EEG fueron variables, no sistemáticos e incoherentes con los informes anteriores. Concluimos que los efectos de los campos electromagnéticos en las respuestas oscilatorias del cerebro pueden ser sutiles, variables y difíciles de reproducir por razones desconocidas.

(E) Kumar RS, Sareesh NN, Nayak S, Mailankot M. Hipoactividad de ratas Wistar expuestas a teléfonos móviles en un laberinto en cruz elevada. *Indian J Physiol Pharmacol*. 53(3):283-286, 2009. (AS, BE)

No hay resumen disponible. De la sección de discusión: "En conclusión, nuestros resultados preliminares indican cambios de conducta inducidos por la exposición a teléfonos móviles en ratas, expresados como déficit en la exploración con los brazos abiertos en laberintos elevados en cruz".

Kumar R, Deshmukh PS, Sharma S, BanerjeeBD. Efecto de la radiación de la señal del teléfono móvil en la modulación epigenética en el hipocampo de la rata Wistar. *Environ Res* 192:110297, 2021.

Aumento exponencial en el uso de teléfonos móviles, lo que ha dado lugar a la preocupación pública por los supuestos riesgos nocivos para la salud como consecuencia de la exposición prolongada. En 2018, el programa nacional de toxicología de EE. UU. informó sobre estudios toxicológicos de dos años sobre los posibles riesgos para la salud derivados de la exposición a las radiaciones de los teléfonos móviles. Las modulaciones epigenéticas desempeñan un papel regulador fundamental en muchas funciones celulares y afecciones patológicas. En este estudio, evaluamos la modulación epigenética dependiente de la dosis y de la frecuencia (metilación del ADN y de las histonas) en el hipocampo de ratas Wistar. Se separaron un total de 96 ratas Wistar macho en 12 grupos expuestos a RF-MW de 900 MHz, 1800 MHz y 2450 MHz a una tasa de absorción específica (SAR) de $5,84 \times 10^{-4}$ W/kg, $5,94 \times 10^{-4}$ W/kg y $6,4 \times 10^{-4}$ W/kg respectivamente durante 2 h por día durante períodos de 1 mes, 3 meses y 6 meses. Al final de la duración de la exposición, los animales fueron sacrificados para recolectar el hipocampo. La metilación global del ADN del hipocampo y la metilación de histonas se estimaron mediante ELISA. Sin embargo, la expresión de las enzimas metiladoras del ADN, ADN metiltransferasa 1 (DNMT1) y las enzimas metiladoras de histonas eucromática metiltransferasa 1 de histonas (EHMT1) se evaluó mediante PCR en tiempo real, así como también se validó con Western blot. Se observó alteración en la modulación epigenética en el hipocampo. La metilación global del ADN disminuyó y la metilación de histonas aumentó en el hipocampo. Observamos que la exposición a microondas condujo a modulaciones epigenéticas significativas en el hipocampo con el aumento de la frecuencia y la duración de la exposición. La exposición a microondas con frecuencia y duración crecientes produce modulaciones epigenéticas significativas ($p < 0,05$) que alteran la expresión genética en el hipocampo.

(E) Kumari K, Koivisto H, Viluksela M, Paldanius KMA, Marttinen M, Hiltunen M, Naarala J, Tanila H, Juutilainen J. Las pruebas de comportamiento de ratones expuestos a campos magnéticos de frecuencia intermedia indican un deterioro leve de la memoria. Más uno. 4 de diciembre de 2017;12(12):e0188880.

(AS, CE, BER)

La exposición humana a campos magnéticos de frecuencia intermedia (MF) está aumentando debido a aplicaciones como los sistemas de vigilancia electrónica de artículos y las placas de cocción con calentamiento por inducción. Sin embargo, se dispone de datos limitados sobre sus posibles efectos sobre la salud. El presente estudio evaluó las consecuencias conductuales e histopatológicas de la exposición de ratones a 7,5 kHz MF a 12 o 120 μ T durante 5 semanas. No se observaron efectos en el peso corporal, la actividad espontánea, la coordinación motora, el nivel de ansiedad o la agresión. En la tarea de natación de Morris, los ratones del grupo de 120 μ T mostraron una curva de aprendizaje menos pronunciada que los otros grupos, pero no difirieron de los controles en su sesgo de búsqueda en la prueba de sonda. La tarea de evitación pasiva indicó un claro deterioro de la memoria durante 48 h en el grupo de 120 μ T. No se observaron efectos en la activación astrogliar o la neurogénesis en el hipocampo. La expresión de ARNm del factor neurotrófico derivado del cerebro no cambió, pero la expresión del ARNm del factor de necrosis tumoral alfa de la citocina proinflamatoria aumentó significativamente en el grupo de 120 μ T. Estos hallazgos sugieren que la exposición a frecuencias medias de 7,5 kHz puede provocar un deterioro leve del aprendizaje y la memoria, posiblemente a través de una reacción inflamatoria en el hipocampo.

(E) Kumlin T, Iivonen H, Miettinen P, Juvonen A, van Groen T, Puranen L, Pitkääho R, Juutilainen J, Tanila H.

La radiación de los teléfonos móviles y el cerebro en desarrollo: efectos morfológicos y de comportamiento en ratas juveniles. Radiat Res. 168(4):471-479, 2007. (COMO, CE, ME, BE)

El uso cada vez mayor de teléfonos móviles por parte de niños y adolescentes ha suscitado inquietudes sobre su seguridad. Abordar estas inquietudes es difícil, porque no hay datos disponibles sobre los posibles efectos de la exposición prolongada a campos de radiofrecuencia (RF) durante el desarrollo del sistema nervioso. Se evaluaron los posibles cambios morfológicos y funcionales en el sistema nervioso central de ratas Wistar macho jóvenes expuestas a una señal de teléfono móvil de 900 MHz durante 2 h/día, 5 días a la semana. Después de 5 semanas de exposición a tasas de absorción de energía específica promedio de cuerpo entero de 0,3 o 3,0 W/kg o exposición simulada, se examinaron histológicamente seis ratas por grupo y las 18 ratas restantes por grupo se sometieron a pruebas de comportamiento. No se detectaron cambios degenerativos, neuronas muertas o efectos sobre la fuga de la barrera hematoencefálica. No se observaron diferencias entre grupos en la prueba de campo abierto, más la prueba del laberinto o las pruebas de respuesta de sobresalto acústico. Sin embargo, en la prueba del laberinto acuático se detectó una mejora significativa del aprendizaje (P = 0,012) y de la memoria (P = 0,01) en las ratas expuestas a campos de radiofrecuencia. Los resultados no indican una amenaza grave para el cerebro en desarrollo a causa de la radiación de los teléfonos móviles a intensidades relevantes para la exposición humana. Sin embargo, el interesante hallazgo de una mejora en el aprendizaje y la memoria justifica más estudios.

(NE) Kwon MS, Kujala T, Huotilainen M, Shestakova A, Näätänen R, Hämäläinen H.

Procesamiento de información auditiva preatentiva bajo exposición al campo electromagnético de telefonía móvil GSM de 902 MHz: un estudio de negatividad de desajuste (MMN). Bioelectromagnetismo. 30(3):241-248, 2009. (HU, EE)

Estudios previos sobre los efectos del campo electromagnético (CEM) de los teléfonos móviles en varios componentes del potencial relacionado con eventos (PRE) han arrojado resultados inconsistentes e incluso contradictorios, y a menudo no han sido replicados. La negatividad de desajuste (NMM) es un componente del PRE auditivo provocado por estímulos poco frecuentes (desviados) que difieren en algunas características físicas de los estímulos frecuentes repetitivos (estándar) en una secuencia de sonido. El NMM proporciona una medida sensible para la discriminación de características del estímulo auditivo cortical, independientemente de la atención y otros factores contaminantes. En este estudio, se registraron las respuestas de la MMN a los cambios de duración, intensidad, frecuencia y brecha en adultos jóvenes sanos (n = 17), utilizando un paradigma de múltiples características que incluía varios tipos de cambio auditivo en la misma secuencia de estímulos, mientras se colocaba un teléfono móvil GSM en cada oído con el EMF (902 MHz pulsado a 217 Hz; SAR(1g) = 1,14 W/kg, SAR(10g) = 0,82 W/kg, valor pico = 1,21 W/kg, medido con un fantasma SAM) encendido o apagado. Se provocó una MMN en todos los tipos desviados, mientras que su amplitud y latencia no mostraron diferencias significativas debido a la exposición a EMF para ningún tipo desviado. En el presente estudio, no encontramos evidencia concluyente de que la exposición aguda a los EMF de los teléfonos móviles GSM afecte el procesamiento de detección de cambios auditivos corticales reflejados por la MMN.

(NE) Kwon MS, Jääskeläinen SK, Toivo T, Hämäläinen H. No hay efectos del campo electromagnético de los teléfonos móviles en la respuesta auditiva del tronco encefálico. Bioelectromagnética. 31(1):48-55, 2010a. (HU, EE)

El presente estudio investigó los posibles efectos del campo electromagnético (CEM) emitido por un teléfono móvil GSM común (902,4 MHz pulsado a 217 Hz) en el procesamiento auditivo del tronco encefálico. Se registraron las respuestas auditivas del tronco encefálico (ABR) en 17 adultos jóvenes sanos, sin teléfono móvil al inicio y luego con un teléfono móvil en la oreja sin CEM.

y condiciones de activación de campos electromagnéticos. Se compararon las amplitudes, latencias e intervalos entre ondas de los principales componentes de ABR (ondas I, III, V) entre las tres condiciones. Las formas de onda de ABR no mostraron diferencias significativas debido a la exposición, lo que sugiere que la exposición a corto plazo a los campos electromagnéticos de los teléfonos móviles no afectó la transmisión de estímulos sensoriales desde la cóclea hasta el mesencéfalo a lo largo de las vías auditivas del nervio auditivo y el tronco encefálico.

(NE) Kwon MS, Huotilainen M, Shestakova A, Kujala T, Näätänen R, Hämäläinen H. No hay efectos del uso de teléfonos móviles en la detección de cambios auditivos corticales en niños: un estudio de ERP. *Bioelectromagnetismo*. 31(3):191-199, 2010b. (HU, EE)

Investigamos el efecto del uso del teléfono móvil en la memoria sensorial auditiva en niños.

Se registraron los potenciales relacionados con eventos auditivos (ERP), P1, N2, negatividad de desajuste (MMN) y P3a, de 17 niños, de 11 a 12 años de edad, en el paradigma de múltiples características desarrollado recientemente. Este paradigma permite determinar el perfil de detección de cambios neuronales que consiste en varios tipos diferentes de cambios acústicos. Durante la grabación, se colocó un teléfono móvil GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles) ordinario que emitía un campo electromagnético (CEM) de 902 MHz (pulsado a 217 Hz) en la oreja, sobre el área temporal izquierda o derecha ($SAR(1g) = 1,14 \text{ W/kg}$, $SAR(10g) = 0,82 \text{ W/kg}$, valor pico = $1,21 \text{ W/kg}$). El CEM estaba encendido o apagado de manera simple ciego. Descubrimos que una exposición corta (dos bloques de 6 minutos para cada lado) al CEM del teléfono móvil no tiene efectos estadísticamente significativos en el perfil de detección de cambios neuronales medido con el MMN. Además, se demostró que el paradigma de múltiples características es adecuado para estudios de precisión de percepción y memoria sensorial en niños. Sin embargo, debe notarse que el presente estudio solo tuvo suficiente poder estadístico para detectar un gran tamaño del efecto.

(NE) Kwon MS, Vorobyev V, Kännälä S, Laine M, Rinne JO, Toivonen T, Johansson J, Teräs M, Joutsa J, Tuominen L, Lindholm H, Alanko T, Hämäläinen H. No hay efectos de la radiación de teléfonos móviles GSM a corto plazo en el flujo sanguíneo cerebral medido mediante tomografía por emisión de positrones. *Bioelectromagnética*. 33(3):247-256, 2012. (HU, PE)

El presente estudio investigó los efectos de la radiación de los teléfonos móviles GSM de 902,4 MHz sobre el flujo sanguíneo cerebral mediante tomografía por emisión de positrones (PET) con el trazador (15) O-water. Quince sujetos varones jóvenes, sanos y diestros fueron expuestos a la radiación del teléfono desde tres lugares diferentes (oído izquierdo, oído derecho, frente) y a una exposición simulada para probar los posibles efectos de la exposición en las regiones cerebrales cercanas a la fuente de exposición. Se adquirieron imágenes PET [^{15}O]H₂O de todo el cerebro 12 veces, 3 para cada condición, en un orden contrabalanceado. Los sujetos fueron expuestos durante 5 minutos en cada exploración mientras realizaban una tarea de vigilancia visual simple. También se midió la temperatura en la región de la cabeza (frente, ojos, mejillas, canales auditivos) durante la exposición. La exposición indujo un ligero aumento de la temperatura en los canales auditivos, pero no afectó la hemodinámica cerebral ni el rendimiento de la tarea. Los resultados no proporcionaron evidencia de efectos agudos de la radiación de teléfonos móviles a corto plazo sobre el flujo sanguíneo cerebral.

(E) Kwon MS, Vorobyev V, Kännälä S, Laine M, Rinne JO, Toivonen T, Johansson J, Teräs M, Lindholm H, Alanko T, Hämäläinen H. La radiación de los teléfonos móviles GSM suprime el metabolismo de la glucosa en el cerebro. *J Metab del flujo sanguíneo cerebral*. 31(12):2293-2301, 2011. (HU, PE)

Investigamos los efectos de la radiación de los teléfonos móviles sobre el metabolismo de la glucosa cerebral utilizando tomografía por emisión de positrones (PET) de alta resolución con el trazador (18)F-desoxiglucosa (FDG).

Una vida media larga (109 minutos) del isótopo (18)F permitió una condición de exposición natural y prolongada fuera del escáner PET. Trece sujetos varones diestros jóvenes fueron expuestos a una señal de 902,4 MHz modulada por pulsos del Sistema Global para Comunicaciones Móviles durante 33 minutos, mientras realizaban una tarea de vigilancia visual simple. También se midió la temperatura en la región de la cabeza (frente, ojos, mejillas, canales auditivos) durante la exposición. Las imágenes PET con (18)F-desoxiglucosa adquiridas después de la exposición mostraron que la tasa metabólica cerebral relativa de la glucosa se redujo significativamente en la unión temporoparietal y el lóbulo temporal anterior del hemisferio derecho ipsilateral a la exposición. También se observó un aumento de la temperatura en el lado expuesto de la cabeza, pero la magnitud fue muy pequeña. La exposición no afectó el rendimiento de la tarea (tiempo de reacción, tasa de error). Nuestros resultados muestran que la exposición a corto plazo al teléfono móvil puede suprimir localmente el metabolismo energético cerebral en humanos.

(E) Lee D, Lee J, Lee I. Efectos del campo electromagnético de radiofrecuencia generado por teléfonos celulares sobre el comportamiento locomotor de los peces *Poecilia reticulata* y *Danio rerio*. *Int J Radiat Biol*.

15 de junio de 2015:1-20. [Epub antes de la impresión] (AS, BE)

OBJETIVO: Se caracterizó el comportamiento locomotor de peces pequeños bajo un campo electromagnético de radiofrecuencia (RF EMF) generado por un teléfono celular. MATERIALES Y MÉTODOS: Se registró y rastreo la trayectoria de movimiento de 10 pares de *poecilia reticulata* y 15 pares de *danio rerio* en una pecera bajo la presencia de un campo electromagnético de radiofrecuencia (RF EMF) generado por un teléfono celular. Las mediciones se basaron en distribuciones espaciales y temporales. Se utilizó una trayectoria de serie temporal para enfatizar la naturaleza dinámica del comportamiento locomotor. El movimiento de los peces se registró en tiempo real. Su distribución espacial, de velocidad, ángulo de giro y sinusidad se analizaron en términos de $F(v,x)$, $P[n(x,t)]$, $P(v)$, $F(\Theta)$ y $F(s)$, respectivamente. Además, también se examinó la posible elevación de temperatura causada por un teléfono celular. RESULTADOS: Demostramos que una elevación de temperatura inducida por un teléfono celular no era relevante y que nuestras mediciones reflejaban los efectos inducidos por RF EMF en el comportamiento locomotor de *poecilia reticulata* y *danio rerio*. Se observó la locomoción de los peces en condiciones normales, en presencia visual de un teléfono celular, después de la alimentación y en condiciones de inanición. El comportamiento locomotor de los peces fue aleatorio tanto en condiciones normales como en presencia de un teléfono celular sin señal. Sin embargo, hubo cambios significativos en la locomoción de los peces después de la alimentación bajo el EMF de RF. CONCLUSIONES: La locomoción de los peces alimentados se vio afectada en términos de cambios en la población y distribuciones de velocidad bajo la presencia del EMF de RF emitido por el teléfono celular. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en la distribución angular.

(NE) Lee JS, Kim JY, Kim HJ, Kim JC, Lee JS, Kim N, Park MJ. Efectos de la exposición combinada a campos de radiofrecuencia sobre la citotoxicidad inducida por beta-amiloide en HT22

Neuronas del hipocampo de ratón. *J Radiat Res.* 57(6):620-626, 2016. (CS, CC, CH OX)

La enfermedad de Alzheimer (EA) es la enfermedad neurodegenerativa progresiva e irreversible más común y está causada por la muerte neuronal en el cerebro. Estudios recientes han demostrado que la radiación de radiofrecuencia (RF) no ionizante tiene algunos efectos cognitivos beneficiosos en modelos animales de EA. En este estudio, examinamos el efecto de la radiación de RF combinada sobre la citotoxicidad inducida por beta amiloide (A β) en neuronas del hipocampo de ratas HT22. El tratamiento con A β suprimió la proliferación de células HT22 de manera dependiente de la concentración. La exposición a RF no afectó la proliferación celular y también tuvo un efecto marginal en la supresión del crecimiento inducida por A β en células HT22. El análisis del ciclo celular mostró que A β disminuyó la fracción G1 y aumentó la fracción subG1, lo que indica un aumento de la apoptosis. En consecuencia, A β aumentó la fracción de células positivas a anexina V/yoduro de propidio (PI) y la degradación de la poli (ADP ribosa) polimerasa y la caspasa-3 en células HT22. Sin embargo, la radiofrecuencia sola y la combinación de A β y radiofrecuencia no afectaron estos eventos significativamente. A β aumentó la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), suprimiendo así la proliferación celular. Esto fue anulado por el tratamiento con N-acetilcisteína (NAC), lo que indica que la generación de ROS inducida por A β es la principal causa de la supresión de la proliferación. La NAC también restauró las poblaciones de células positivas para anexina V/PI inducidas por A β . Sin embargo, la radiofrecuencia no tuvo un impacto significativo en estos eventos. Finalmente, A β estimuló la ataxia telangiectasia y la vía de rotura de cadena sencilla del ADN de la proteína relacionada con Rad3/quinasa 1, y mejoró la expresión de la proteína precursora amiloide del sitio beta; la radiofrecuencia no tuvo efecto sobre ellas. En conjunto, nuestros resultados demuestran que la exposición a radiofrecuencia no afectó significativamente la disminución inducida por A β de la proliferación celular, el aumento de la producción de ROS o la inducción de la muerte celular en estas células.

(E) Lee KS, Choi JS, Hong SY, Son TH, Yu K. La radiación electromagnética de los teléfonos móviles activa la señalización de MAPK y regula la viabilidad en *Drosophila*. *Bioelectromagnetism.* 29(5):371-379, 2008. (AS, CC)

Los teléfonos móviles se utilizan ampliamente en el mundo moderno. Sin embargo, los efectos biológicos de la radiación electromagnética producida por los teléfonos móviles son en gran parte desconocidos. En este informe, mostramos los efectos biológicos del campo electromagnético (CEM) de 835 MHz del teléfono móvil en el sistema modelo de *Drosophila*. Cuando las moscas se expusieron a la tasa de absorción específica (SAR) de 1,6 W/kg, que es el límite de exposición propuesto por el Instituto Nacional Estadounidense de Normas (ANSI), más del 90% de las moscas fueron viables incluso después de la exposición de 30 h. Sin embargo, en la exposición a un CEM fuerte con una SAR de 4,0 W/kg, la viabilidad disminuyó a partir de la exposición de 12 h. Estas exposiciones a CEM desencadenaron una respuesta de estrés y aumentaron la producción de especies reactivas de oxígeno. Las exposiciones a campos electromagnéticos también activaron la señalización de la quinasa regulada por señales extracelulares (ERK) y la quinasa N-terminal c-Jun (JNK), pero no la señalización de la quinasa p38. Curiosamente, la SAR 1,6 W/kg activó principalmente la señalización de ERK y la expresión de un gen antiapoptótico, mientras que la SAR 4,0 W/kg activó fuertemente la señalización de JNK y la expresión de genes apoptóticos. Además, la SAR 4,0 W/kg amplificó el número de células apoptóticas en el cerebro de la mosca. Estos hallazgos demuestran que el límite de exposición a la radiación electromagnética propuesto por ANSI desencadenó la señalización de supervivencia de ERK, pero la fuerte radiación electromagnética activó la señalización apoptótica de JNK en *Drosophila*.

(E) Lee W, Yang KL. Uso de embriones medaka como sistema modelo para estudiar los efectos biológicos de los campos electromagnéticos en el desarrollo y el comportamiento. *Ecotoxicol Environ Saf.* 29 de julio de 2014;108C:187-194. doi: 10.1016/j.ecoenv.2014.06.035. [Publicación electrónica antes de la impresión]. (AS, CE, BE, DE, ME)

Los campos electromagnéticos (CEM) de origen antropogénico son omnipresentes en nuestro entorno. El riesgo para la salud de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja y de radiofrecuencia se ha investigado durante décadas, pero la evidencia sigue sin ser concluyente y se necesitan urgentemente estudios en animales para resolver las controversias sobre la toxicidad del desarrollo de los campos electromagnéticos. Además, a medida que se utilizan cada vez más cables submarinos y dispositivos tecnológicos, es necesario abordar la falta de información sobre el riesgo para la salud de los campos electromagnéticos para los organismos acuáticos. Los embriones de medaka (*Oryzias latipes*) han sido una herramienta útil para estudiar la toxicidad del desarrollo in vivo debido a su transparencia óptica. Aquí exploramos la viabilidad de utilizar embriones de medaka como un sistema modelo para estudiar los efectos biológicos de los campos electromagnéticos en el desarrollo. También utilizamos una prueba de preferencia blanca para investigar las consecuencias conductuales de la toxicidad del desarrollo de los campos electromagnéticos. Los embriones recién fertilizados se asignaron aleatoriamente a cuatro grupos que fueron expuestos a un campo electromagnético de 3,2 kHz a una intensidad de 0,12, 15, 25 o 60 μT . El grupo expuesto al fondo de 0,12 μT sirvió como control. Los embriones estuvieron expuestos continuamente hasta la eclosión. Se los observó diariamente y se registraron las imágenes para analizar varios parámetros de desarrollo. Cuatro días después de la eclosión, se realizó una prueba de preferencia blanca a las crías para determinar su comportamiento similar a la ansiedad. Los resultados mostraron que los embriones expuestos a los tres niveles de CEM se desarrollaron significativamente más rápido. Los parámetros afectados incluyeron el número de somitas, el ancho y largo de los ojos, la densidad de pigmentación ocular, el ancho del mesencéfalo, el crecimiento de la cabeza y el día de la eclosión. Además, el grupo expuesto al CEM a 60 μT exhibió niveles significativamente más altos de comportamiento similar a la ansiedad que los otros grupos. En conclusión, el CEM probado en este estudio aceleró el desarrollo embrionario y aumentó el comportamiento similar a la ansiedad. Nuestros resultados también demuestran que el embrión medaka es un sistema modelo in vivo sensible y rentable para estudiar la toxicidad del desarrollo de los CEM.

(E) Lerchl A, Drees K (née Grote), Gronau I, Fischer D, Bauch J, Hoppe A. Efectos de la exposición prolongada a campos magnéticos de frecuencia intermedia (20 kHz, 360 μT) en el desarrollo, los hallazgos patológicos y el comportamiento de ratones hembra. *Bioelectromagnetics* 42:309-316, 2021. (AS, CE, BE)

El uso de campos magnéticos en el rango de frecuencia intermedia (IF) para cargar de forma inalámbrica automóviles eléctricos con transferencia de energía en el rango de kilovatios se ha vuelto cada vez más común, lo que conduce a campos dispersos inevitables en el rango de microtesla. Solo un puñado de estudios han evaluado los posibles riesgos biológicos asociados con la exposición a tales campos. Expusimos ratones hembra (n = 80 por grupo) a 20 kHz, 360 μT (rms) o simulación en bobinas de Helmholtz para realizar una prueba a ciegas.

Estudio de diseño. La exposición comenzó a los 3 meses de edad (24 h/día). La masa corporal se registró cada 1-2 semanas. A los 10 meses de edad, se realizaron tres pruebas de comportamiento en 24 animales por grupo. Tres meses después, los ratones fueron sacrificados y se les extrajeron los órganos (cerebro, hígado, riñón, bazo y pulmón) y se prepararon para el análisis microscópico. Nuestros hallazgos no demuestran diferencias en el desarrollo de la masa corporal y las tasas de supervivencia (96% y 89%, respectivamente). De manera similar, no se observaron diferencias significativas en las tasas de incidencia de tumores. En lo que respecta a las pruebas de comportamiento, los resultados del laberinto de 8 brazos no revelaron diferencias significativas. Por el contrario, los datos del Rotarod fueron significativamente diferentes ($P < 0,001$), con tiempos de retención más largos observados en los ratones expuestos. En el campo abierto, el número de erecciones con apoyo fue significativamente menor ($P < 0,01$), mientras que los otros puntos finales no mostraron ninguna diferencia. En general, nuestros datos no revelan efectos adversos de la exposición a 20 kHz, 360 μ T en el desarrollo y la incidencia de tumores, mientras que las diferencias significativas en las pruebas de comportamiento pueden indicar niveles más altos de alerta en los ratones.

(E) Leung S, Croft RJ, McKenzie RJ, Iskra S, Silber B, Cooper NR, O'Neill B, Cropley V, Diaz-Trujillo A, Hamblin D, Simpson D. Efectos de los teléfonos móviles 2G y 3G en el rendimiento y la electrofisiología en adolescentes, adultos jóvenes y adultos mayores. Clin Neurophysiol. 122(11):2203-2216, 2011. (HU, AD, BE, EE)

OBJETIVO: Este estudio examinó el procesamiento sensorial y cognitivo en adolescentes, adultos jóvenes y adultos mayores, cuando fueron expuestos a señales de teléfonos móviles de segunda (2G) y tercera (3G) generación. MÉTODOS: Las pruebas empleadas fueron la prueba auditiva Oddball de 3 estímulos y la prueba N-back. Cuarenta y un jóvenes de 13 a 15 años, cuarenta y dos de 19 a 40 años y veinte de 55 a 70 años fueron evaluados usando un diseño cruzado doble ciego, donde cada participante recibió exposiciones a Sham, 2G y 3G, separadas por al menos 4 días. RESULTADOS: Tarea Oddball de 3 estímulos: Conductual: la precisión y el tiempo de reacción de las respuestas a los objetivos no se vieron afectados por la exposición. Electrofisiológico: se encontró N1 aumentado en la condición 2G (independientemente del grupo de edad). Tarea N-back: Conductual: los grupos combinados se desempeñaron con menor precisión durante la exposición 3G (en comparación con Sham), con pruebas post hoc que encontraron este efecto por separado solo en los adolescentes. Electrofisiológico: se encontraron respuestas ERD/ERS retardadas de la potencia alfa tanto en condiciones 3G como 2G (en comparación con el estudio simulado; independientemente del grupo de edad). CONCLUSIÓN: Al emplear tareas adaptadas al nivel de capacidad de cada individuo, este estudio respalda un efecto de la exposición aguda a 2G y 3G en la función cognitiva humana. SIGNIFICADO: La sutileza del efecto del teléfono móvil en la cognición en nuestro estudio sugiere que es importante tener en cuenta las diferencias individuales en futuras investigaciones sobre teléfonos móviles.

(E) Li H, Peng R, Wang C, Qiao S, Yong-Zou, Gao Y, Xu X, Wang S, Dong J, Zuo H, Li-Zhao, Zhou H, Wang L, Hu X. Alteraciones de la función cognitiva y del sistema 5-HT en ratas tras exposición prolongada a microondas. Physiol Behav. 40:236-246, 2015. (AS, CE, BE, CC, CH, EE, ME)

El aumento del uso de microondas genera preocupación por su impacto en la salud, incluida la función cognitiva, en la que el sistema de neurotransmisores desempeña un papel importante. En este estudio, nos centramos en el sistema serotoninérgico y evaluamos los efectos a largo plazo de la radiación crónica de microondas en la cognición y elementos correlacionados. Se expuso o se expuso simuladamente a ratas Wistar a 2,856 GHz

microondas con una densidad de potencia media de 5, 10, 20 o 30 mW/cm² respectivamente durante 6 minutos tres veces por semana hasta 6 semanas. En diferentes puntos temporales después de la última exposición, se probaron la función de aprendizaje espacial y la memoria, la estructura morfológica del hipocampo, el electroencefalograma (EEG) y el contenido de neurotransmisores (aminoácidos y monoaminas) de ratas. Los resultados anteriores despertaron nuestro interés en el sistema de serotonina. Se detectaron triptófano hidroxilasa 1 (TPH1) y monoaminoxidasa (MAO), dos enzimas limitantes de la velocidad en la síntesis de serotonina y el proceso metabólico respectivamente. Se midieron las expresiones de los receptores de serotonina, incluidos los receptores 5-HT_{1A}, 2A, 2C. Demostramos que la exposición crónica a microondas (2,856 GHz, con una densidad de potencia media de 5, 10, 20 y 30 mW/cm²) podría inducir un déficit dosis-dependiente del aprendizaje espacial y la memoria en ratas acompañado de inhibición de la actividad eléctrica cerebral, degeneración de las neuronas del hipocampo y alteración de los neurotransmisores, entre los que el aumento de 5-HT se produjo como el principal cambio a largo plazo al que contribuyó en parte la disminución de su metabolismo. Además, también se indicaron las variaciones de la expresión de 5-HT_{1AR} y 5-HT_{2CR}. Los resultados sugirieron que, a largo plazo, la exposición crónica a microondas podría inducir un déficit cognitivo y que el sistema 5-HT podría estar involucrado en ello.

(E) Li H, Yu G, Yong Z, Qiao S, Zhi W, Ma L, Xu X, Zhao X, Zhang J, Wang L, Hu X.

Asociaciones entre un polimorfismo en la región promotora del gen del receptor 5-HT_{1A} de rata (rs198585630) y alteraciones cognitivas inducidas por la exposición a microondas. *Front Pub Health*. 10. 2022. doi: 10.3389/fpubh.2022.802386. (VT, VO, LE, EE, BE)

El sistema nervioso es un objetivo sensible de la radiación electromagnética (REM). La exposición crónica a microondas puede inducir déficits cognitivos, y el sistema 5-HT está involucrado en este efecto. Los polimorfismos genéticos conducen a diferencias individuales. En este estudio, evaluamos si el polimorfismo de un solo nucleótido (SNP) rs198585630 del receptor 5-HT_{1A} está asociado con alteraciones cognitivas en ratas después de la exposición a microondas con una frecuencia de 2,856 GHz y una densidad de potencia promedio de 30 mW/cm². Las ratas fueron expuestas a microondas durante 6 minutos tres veces por semana durante hasta 6 semanas. Las células PC12 y las células 293T fueron expuestas a microondas durante 5 minutos hasta 3 veces en 2 intervalos de 5 minutos. La actividad transcripcional del promotor del receptor 5-HT_{1A} que contiene el alelo rs198585630 C/T se determinó in vitro. Se evaluaron in vivo los electroencefalogramas (EEG), el aprendizaje y la memoria espaciales, y la expresión de ARNm y proteína del receptor 5-HT_{1A}. Demostramos que la actividad transcripcional del promotor del receptor 5-HT_{1A} que contiene el alelo rs198585630 C fue mayor que la del promotor del receptor 5-HT_{1A} que contiene el alelo T. La actividad transcripcional del promotor del receptor 5-HT_{1A} fue estimulada por la exposición a microondas de 30 mW/cm², y el alelo rs198585630 C fue más sensible a la exposición a microondas, ya que mostró una activación transcripcional más fuerte. Las ratas portadoras del alelo rs198585630 C exhibieron una mayor expresión de ARNm y proteína del receptor 5-HT_{1A} y fueron más susceptibles a 30 mW/cm² Exposición a microondas, que muestra déficits cognitivos e inhibición de la actividad eléctrica cerebral. Estos hallazgos sugieren que el SNP rs198585630 del receptor 5-HT_{1A} es un objetivo importante para futuras investigaciones que exploren los mecanismos de hipersensibilidad a la exposición a microondas.

(E) Li Y, Shi C, Lu G, Xu Q, Liu S. Efectos de la radiación electromagnética en la memoria espacial y las sinapsis en el hipocampo CA1 de la rata. *Neural Regen Res*. 7(16):1248-1255, 2012. (AS, CE, BE, ME)

En este estudio, investigamos los efectos de la radiación de los teléfonos móviles en el aprendizaje espacial, la memoria de referencia y la morfología en regiones cerebrales relacionadas. Después de administrar la radiación de campo cercano (0,52-1,08 W/kg) a ratas Wistar de 8 semanas de edad durante 2 horas al día durante 1 mes, se examinaron los cambios de comportamiento utilizando el laberinto acuático de Morris. En comparación con las ratas irradiadas simuladas, las ratas irradiadas exhibieron un rendimiento deteriorado. Los cambios morfológicos se investigaron examinando los cambios ultraestructurales sinápticos en el hipocampo. Utilizando la técnica del disector físico, se cuantificaron estereológicamente el número de neuronas piramidales, los perfiles sinápticos y la longitud de las densidades postsinápticas en la región CA1. Los cambios morfológicos incluyeron degeneraciones mitocondriales, menos sinapsis y densidades postsinápticas más cortas en las ratas irradiadas. Estos hallazgos indican que la radiación de los teléfonos móviles puede perjudicar significativamente el aprendizaje espacial y la memoria de referencia e inducir cambios morfológicos en la región CA1 del hipocampo.

(E) Li Y, Deng P, Chen C, Ma Q, Pi H, He M, Lu Y, Gao P, Zhou C, He Z, Zhang Y, Yu Z, Zhang L. La irradiación electromagnética de radiofrecuencia de 1800 MHz altera el crecimiento de las neuritas con una disminución de Rap1-GTP en las neuronas hipocámpales primarias del ratón y las células Neuro2a. *Front Public Health* 22 de noviembre de 2021;9:771508.(CS, CC, ME, MA)

Antecedentes: Con la popularidad global de los dispositivos de comunicación como los teléfonos móviles, hay una creciente preocupación con respecto al efecto de la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) en el cerebro, uno de los órganos más importantes sensibles a la exposición a RF-EMR a 1.800 MHz. Sin embargo, los efectos de la exposición a RF-EMR en las células neuronales no están claros. El crecimiento de las neuritas desempeña un papel fundamental en el desarrollo del cerebro, por lo tanto, determinar los efectos de la exposición a RF-EMR de 1.800 MHz en el crecimiento de las neuritas es importante para explorar sus efectos en el desarrollo del cerebro. Objetivos: Nuestro objetivo fue investigar los efectos de la exposición a RF-EMR de 1.800 MHz durante 48 h en el crecimiento de las neuritas en las células neuronales y explorar el papel asociado de la vía de señalización Rap1. Material y métodos: Las neuronas hipocámpales primarias de ratones C57BL/6 y las células Neuro2a se expusieron a RF-EMR de 1.800 MHz a un valor de tasa de absorción específica (SAR) de 4 W/kg durante 48 h. Se utilizaron ensayos CCK-8 para determinar la viabilidad celular después de 24, 48 y 72 h de irradiación. El crecimiento de neuritas de neuronas hipocámpales primarias (DIV 2) y células Neuro2a se observó con un microscopio óptico de 20 × y se reconoció con el software ImageJ. Las expresiones de los genes Rap1a y Rap1b se detectaron mediante PCR cuantitativa en tiempo real. Las expresiones de las proteínas Rap1, Rap1a, Rap1b, Rap1GAP y p-MEK1/2 se detectaron mediante transferencia Western. La expresión de Rap1-GTP se detectó mediante inmunoprecipitación. El papel de Rap1-GTP se evaluó transfectando un plásmido mutante constitutivamente activo (Rap1-Gly_Val-GFP) en células Neuro2a. Resultados: La exposición a 1.800 MHz RF-EMR durante 24, 48 y 72 h a 4 W/kg no influyó en la viabilidad celular. La longitud de las neuritas, el número de neuritas primarias y secundarias y los puntos de ramificación de las neuronas primarias del hipocampo del ratón se vieron significativamente afectados por la exposición a RF-EMR durante 48 horas.

El porcentaje de células portadoras de neuritas y la longitud de las neuritas de las células Neuro2a también se inhibieron con la exposición a RF-EMR durante 48 horas. La actividad de Rap1 se inhibió con RF-EMR durante 48 horas sin alteración detectable en la expresión de genes o proteínas de Rap1. La expresión de proteínas de Rap1GAP aumentó después de la exposición a RF-EMR durante 48 horas, mientras que la expresión de la proteína p-MEK1/2 disminuyó. La sobreexpresión de Rap1 constitutivamente activa revirtió la disminución de Rap1-GTP y el deterioro del crecimiento de neuritas en células Neuro2a inducido por la exposición a RF-EMR de 1.800 MHz durante 48 h. Conclusión: La actividad de Rap1 y las vías de señalización relacionadas están implicadas en la alteración de

Crecimiento de neuritas inducido por exposición a radiofrecuencias electromagnéticas de 1800 MHz durante 48 horas. Los efectos de la exposición a radiofrecuencias electromagnéticas en el desarrollo neuronal de bebés y niños merecen mayor atención.

(E) Li ZQ, Zhang Y, Wan YM, Zhou Q, Liu C, Wu HX, Mu YZ, He YF, Rauniyar R, Wu XN. Pruebas del desarrollo conductual y cognitivo en ratas después de la exposición prenatal a campos de radiofrecuencia de 1800 y 2400 MHz. *J Radiat Res.* 61(2):197-206, 2020. (AS, CE, BE, DE, CH)

El objetivo del estudio fue explorar los efectos del desarrollo conductual y cognitivo en ratas después de la exposición prenatal a campos de radiofrecuencia de 1800 y 2400 MHz. Las ratas hembras preñadas fueron expuestas a campos de radiofrecuencia a partir del día 21 de gestación. Se observaron y midieron los indicadores de desarrollo fisiológico y conductual en las crías de ratas: laberinto en Y medido a las 3 semanas postnatales, campo abierto a las 7 semanas postnatales y la expresión de receptores de N-metil-D-aspartato (NMDAR) medidos por PCR de transcripción inversa en el hipocampo a las 9 semanas postnatales.

semanas postnatal. El peso corporal del grupo de 1800 MHz y del grupo de 1800 MHz + WiFi mostró una tendencia descendente. El tiempo de apertura de los ojos de las ratas recién nacidas fue mucho más temprano en el grupo WiFi que en el grupo de control. En comparación con el grupo de control, la longitud total del recorrido del grupo de 1800 MHz + WiFi se acortó y el tiempo estacionario se retrasó. La longitud del recorrido del grupo WiFi se acortó y la velocidad media aumentó en el brazo de error. El grupo de 1800 MHz + WiFi mostró una tendencia aumentada en la longitud del recorrido, la duración, los tiempos de entrada y el tiempo estacionario en el área central. En ambos grupos, 1800 MHz + WiFi y WiFi, la expresión de NR2A y NR2B se reguló a la baja, mientras que NR2D, NR3A y NR3B se regularon al alza. Además, NR1 y NR2C en el grupo WiFi también se regularon al alza. La exposición prenatal a radiofrecuencias de 1800 MHz y WiFi puede afectar el desarrollo conductual y cognitivo de crías de ratas, lo que puede estar asociado con una expresión alterada del ARNm de NMDAR en el hipocampo.

(E) Lin Y, Gao P, Guo Y, Chen Q, Lang H, Guo Q, Miao X, Li J, Zeng L, Guo G. Efectos de la exposición prolongada a microondas de alta potencia de banda L en la función cerebral de ratones machos. *Biomed Res Int.* 4 de septiembre de 2021;2021:2237370. doi: 10.1155/2021/2237370. (AS, CE, CC, CH)

En la actualidad, el impacto de la exposición a campos electromagnéticos (CEM) en el sistema nervioso es una preocupación pública cada vez mayor. El presente estudio fue diseñado para explorar los efectos de la exposición continua a largo plazo a microondas de alta potencia de banda L (~ 2,0 GHz) (L-HPM) en la función cerebral y los mecanismos relacionados. Cuarenta y ocho ratones macho del Instituto de Investigación del Cáncer (ICR) fueron expuestos a L-HPM a varias densidades de potencia (0,5, 1,0 y 1,5 W/m²) y se examinó la función cerebral en diferentes períodos de tiempo después de la exposición. La morfología del cerebro se examinó mediante hematoxilina-eosina (HE) y tinción de marcado de extremos de dUTP mediada por desoxinucleotidil transferasa (TUNEL). Además, se evaluaron marcadores colinérgicos, marcadores de estrés oxidativo y la expresión de c-fos para identificar un mecanismo "potencial". Los resultados mostraron que la exposición a L-HPM a 1,5 W/m² puede causar lesiones generalizadas en el hipocampo (CA1 y CA3) y la corteza cerebral (la primera corteza somatosensorial) de ratones, incluyendo apoptosis celular, disfunción colinérgica y daño oxidativo. Además, los efectos nocivos

relacionado con la densidad de potencia y el tiempo de exposición, lo que indica que la exposición a largo plazo y a una densidad de potencia alta puede ser perjudicial para el sistema nervioso.

(NE) Lipping T, Rorarius M, Jäntti V, Annala K, Mennander A, Ferenets R, Toivonen T, Toivo T, Väri A, Korpinen L. Uso del control no lineal de la hipersensibilidad inducida por anestesia del EEG en el nivel de supresión de ráfagas para probar los efectos de la radiación de radiofrecuencia en la función cerebral. *Nonlinear Biomed Phys.* 3(1):5, 2009. (AS, IA, EE)

ANTECEDENTES: En este estudio, que investiga los efectos de la radiación de los teléfonos móviles en animales de prueba, se anestesiaron once cerdos hasta el nivel en el que aparece un patrón de supresión de ráfagas en el electroencefalograma (EEG). En este nivel de anestesia, tanto los sujetos humanos como los animales muestran una alta sensibilidad a los estímulos externos que producen ráfagas de EEG durante la supresión.

El fenómeno de supresión de ráfagas representa un sistema de control no lineal, donde el EEG de baja amplitud cambia abruptamente a ráfagas de amplitud muy alta. Este cambio puede ser desencadenado por estímulos muy menores y el fenómeno ha sido descrito como hipersensibilidad. Para probar si también la estimulación de radiofrecuencia (RF) puede desencadenar este control no lineal, los animales fueron expuestos a la señal modulada por pulsos de un teléfono móvil GSM a 890 MHz. En la primera fase del experimento, la estimulación del campo electromagnético (CEM) se encendió y apagó aleatoriamente y se estudió la relación entre las ráfagas de EEG y los inicios y puntos finales de la estimulación EMF. En la segunda fase, se aplicó una estimulación de RF continua a 31 W/kg durante 10 minutos. Se registraron el ECG, el EEG y la temperatura subcutánea. **RESULTADOS:** No se observó correlación entre la exposición y la ocurrencia de ráfagas de EEG en las mediciones de la fase I. No se observaron cambios significativos en la actividad del EEG de los cerdos durante las mediciones de la fase II, aunque se aplicaron varios métodos de análisis de señales de EEG. La temperatura medida subcutáneamente en la cabeza de los cerdos aumentó 1,6 grados C y la frecuencia cardíaca 14,2 lpm en promedio durante los períodos de exposición de 10 minutos. **CONCLUSIÓN:** La hipótesis de que la radiación RF produciría estimulación sensorial del sistema somatosensorial, auditivo o visual o afectaría directamente al cerebro de modo de producir ráfagas de EEG durante la supresión no fue confirmada.

(E) Liu ML, Wen JQ, Fan YB. Posible protección de los polifenoles del té verde contra la lesión inducida por la radiación electromagnética de 1800 MHz en las neuronas corticales de ratas. *Neurotox Res.* 20(3):270-276, 2011. (CS, IA, CC, OX)

Los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM) son perjudiciales para la salud pública, pero el mecanismo de antirradiación aún no está claro. El presente estudio se realizó para investigar los posibles efectos protectores de los polifenoles del té verde contra la lesión inducida por la radiación electromagnética en las neuronas corticales de rata cultivadas. En este estudio, se utilizaron polifenoles del té verde en las neuronas corticales cultivadas expuestas a CEM de 1800 MHz por el teléfono móvil. Descubrimos que la irradiación del teléfono móvil durante 24 horas indujo una marcada muerte celular neuronal en el MTT (3-(4,5-

Ensayo de dimetiltiazol-2-il)-2,5-difenil-tetrazolio bromuro) y TUNEL (TdT mediated biotin-dUTP nicked-end labeling), y se demostraron los efectos protectores de los polifenoles del té verde sobre las neuronas corticales lesionadas al analizar el contenido de proteína Bcl-2 Associated X (Bax) en el ensayo de inmunoprecipitación y el ensayo Western blot. En los resultados de nuestro estudio, los aumentos inducidos por la irradiación del teléfono móvil en el contenido de Bax activo fueron inhibidos significativamente por

Los polifenoles del té verde, mientras que el contenido de Bax total no tuvo cambios marcados después del tratamiento con polifenoles del té verde. Nuestros resultados sugirieron un efecto neuroprotector de los polifenoles del té verde contra la lesión inducida por la irradiación del teléfono móvil en la corteza cerebral de ratas cultivadas. neuronas.

(E) Liu YX, Tai JL, Li GQ, Zhang ZW, Xue JH, Liu HS, Zhu H, Cheng JD, Liu YL, Li AM, Zhang Y.

La exposición a campos electromagnéticos TD-SCDMA de 1950 MHz afecta la apoptosis de los astrocitos a través de la vía dependiente de la caspasa-3. PLoS One. 7(8):e42332, 2012. (CS, CC)

El uso de teléfonos móviles aumenta a nivel mundial. Sin embargo, todavía hay escasez de datos sobre el impacto de los campos electromagnéticos (CEM) en la salud humana. Este estudio investigó si la radiación CEM alteraría la biología de las células gliales y actuaría como un agente promotor de tumores. Expusimos astrocitos de rata y células de glioma C6 a TD-SCDMA de 1950 MHz durante 12, 24 y 48 h respectivamente, y descubrimos que la exposición a CEM tuvo efectos diferenciales en los astrocitos de rata y las células de glioma C6. Una exposición de 48 h dañó las mitocondrias e indujo una apoptosis significativa de los astrocitos.

Además, la caspasa-3, un sello distintivo de la apoptosis, se destacó en los astrocitos después de 48 h de exposición a EMF, acompañada de una expresión significativamente aumentada de bax y un nivel reducido de bcl-2. Los ensayos de tumorigenicidad demostraron que los astrocitos no formaron tumores tanto en los grupos de control como de exposición. Por el contrario, las células de glioma C6 no expuestas y expuestas no muestran diferencias significativas tanto en las características biológicas como en la capacidad de formación de tumores. Por lo tanto, nuestros resultados implicaron que la exposición al EMF de 1950 MHz TD-SCDMA puede no promover la formación de tumores, pero la exposición continua dañó las mitocondrias de los astrocitos e indujo la apoptosis a través de una vía dependiente de la caspasa-3 con la participación de bax y bcl-2.

(E) López-Martín E, Bregains J, Relova-Quinteiro JL, Cadarso-Suárez C, Jorge-Barreiro FJ, Ares-Pena FJ. La acción de la radiación GSM modulada por pulsos aumenta los cambios regionales en la actividad cerebral y la expresión de c-Fos en áreas corticales y subcorticales en un modelo de rata de propensión a las convulsiones inducida por picrotoxina. J Neurosci Res. 87(6):1484-1499, 2009. (AS, CC, WS)

La acción de la radiofrecuencia GSM modulada por pulsos de los teléfonos móviles se ha sugerido como un fenómeno físico que podría tener efectos biológicos sobre el sistema nervioso central de los mamíferos. En el presente estudio, las ratas expuestas a GSM tratadas previamente con picrotoxina mostraron diferencias en los signos clínicos y de EEG, y en la expresión de c-Fos en el cerebro, con respecto a las ratas tratadas con picrotoxina expuestas a una dosis equivalente de radiación no modulada. Ninguno de los tratamientos de radiación causó calentamiento tisular, por lo que se pueden descartar efectos térmicos. Los efectos más marcados de la radiación GSM sobre la expresión de c-Fos en ratas tratadas con picrotoxina se observaron en las estructuras límbicas, las áreas de la corteza olfatoria y las áreas subcorticales, el giro dentado y el núcleo lateral central del grupo de núcleos intralaminares talámicos. Los animales no tratados con picrotoxina expuestos a la radiación no modulada mostraron los niveles más altos de expresión neuronal de c-Fos en las áreas corticales. Estos resultados sugieren un efecto específico de la modulación de pulsos de la radiación GSM sobre la actividad cerebral de un modelo de rata con propensión a convulsiones inducida por picrotoxina e indican que esta radiación tipo teléfono móvil podría inducir cambios regionales en condiciones previas de preexcitabilidad de la activación neuronal.

(E) Loughran SP, McKenzie RJ, Jackson ML, Howard ME, Croft RJ. Diferencias individuales en los efectos de la exposición a teléfonos móviles en el sueño humano: replanteando el problema. *Bioelectromagnética*. 33(1):86-93, 2012. (HU,EE,SL)

Se han demostrado efectos relacionados con la exposición a teléfonos móviles en el electroencefalograma (EEG) humano tanto en estado de vigilia como de sueño, aunque con ligeras diferencias en la frecuencia afectada. Esta discrepancia, combinada con estudios que no lograron encontrar efectos, ha llevado a muchos a concluir que no existen efectos consistentes. Planteamos la hipótesis de que estas diferencias podrían deberse en parte a la variabilidad individual en la respuesta, y que las emisiones de los teléfonos móviles pueden de hecho tener efectos importantes pero diferenciales en la actividad cerebral humana. Veinte voluntarios de nuestro estudio anterior se sometieron a una noche de adaptación seguida de dos noches experimentales en las que se los expuso aleatoriamente a dos condiciones (activa y simulada), seguidas de un episodio de sueño de toda la noche. La potencia espectral del EEG aumentó en el rango de frecuencia del huso del sueño en los primeros 30 minutos del sueño no REM (sueño con movimientos oculares no rápidos) después de la exposición activa. Este aumento fue más notorio en los participantes que mostraron un aumento en el estudio original. Estos resultados confirman hallazgos previos de emisiones similares a las de los teléfonos móviles que afectan al EEG durante el sueño no REM. Es importante destacar que este efecto de bajo nivel también demostró ser sensible a la variabilidad individual. Además, esto indica que los resultados negativos anteriores no constituyen evidencia sólida de la falta de efecto y, dadas las implicaciones de largo alcance de la investigación sobre teléfonos móviles, es posible que tengamos que repensar la interpretación de los resultados y la manera en que se lleva a cabo la investigación en este campo.

(NE) Loughran SP, Benz DC, Schmid MR, Murbach M, Kuster N, Achermann P. No se observa aumento de la sensibilidad en la actividad cerebral de los adolescentes expuestos a emisiones similares a las de los teléfonos móviles. *Clin Neurophysiol*. 124(7):1303-1308, 2013. (HU, BE, EE, AD)

OBJETIVO: Examinar la sensibilidad potencial de los adolescentes a la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM de RF), como los emitidos por los teléfonos móviles. MÉTODOS: En un diseño doble ciego, aleatorizado y cruzado, 22 adolescentes de 11 a 13 años (12 varones) se sometieron a tres sesiones experimentales en las que fueron expuestos a señales de CEM de RF similares a las de los teléfonos móviles en dos intensidades diferentes, y una sesión simulada. Durante la exposición, se realizaron tareas cognitivas y se registró un EEG de vigilia en tres puntos temporales posteriores a la exposición (0, 30 y 60 min). RESULTADOS: No se encontraron efectos significativos claros de la exposición a CEM de RF en el EEG de vigilia o en el rendimiento cognitivo. CONCLUSIONES: En general, el estudio actual no pudo demostrar los efectos relacionados con la exposición observados previamente en el EEG de vigilia en adultos, y también proporciona más apoyo a la falta de influencia de la exposición similar a la del teléfono móvil en el rendimiento cognitivo. SIGNIFICADO: Los adolescentes no parecen ser más sensibles que los adultos a las emisiones de campos electromagnéticos de radiofrecuencia de los teléfonos móviles.

(E) Lowden A, Akerstedt T, Ingre M, Wiholm C, Hillert L, Kuster N, Nilsson JP, Arnetz B. Sueño después de la exposición al teléfono móvil en sujetos con síntomas relacionados con el teléfono móvil. *Bioelectromagnética*. 32(1):4-14, 2011. (HU,EE,SL)

Varios estudios muestran aumentos en la actividad para ciertas bandas de frecuencia (10-14 Hz) y parámetros evaluados visualmente durante el sueño después de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia.

También se ha informado de una latencia REM acortada. Investigamos los efectos de una exposición a radiofrecuencia de doble ciego (884 MHz, estándar de señalización GSM que incluye modo DTX y no DTX, psSAR de 10 g promediado en el tiempo de 1,4 W/kg) sobre la somnolencia autoevaluada y el EEG objetivo. Medidas durante el sueño. Cuarenta y ocho sujetos (edad media 28 años) se sometieron a 3 h de exposición controlada (7:30-10:30 PM; activa o simulada) antes de dormir, seguida de un registro polisomnográfico de toda la noche en un laboratorio del sueño. Los resultados demostraron que después de la exposición, el tiempo en las Etapas 3 y 4 del sueño (SWS, sueño de ondas lentas) disminuyó en 9,5 min (12%) de un total de 78,6 min, y el tiempo en el sueño de la Etapa 2 aumentó en 8,3 min (4%) de un total de 196,3 min en comparación con el sueño simulado. La latencia al sueño de la Etapa 3 también se prolongó 4,8 min después de la exposición. El análisis de densidad de potencia indicó una activación mejorada en los rangos de frecuencia 0,5-1,5 y 5,75-10,5 Hz durante los primeros 30 minutos del sueño de la Etapa 2, con 7,5-11,75 Hz elevados dentro de la primera hora del sueño de la Etapa 2, y bandas de 4,75-8,25 Hz elevadas durante la segunda hora del sueño de la Etapa 2. No se observaron cambios de potencia pronunciados en SWS o durante la tercera hora del sueño de la Etapa 2 puntuado. No se encontraron diferencias entre los controles y los sujetos con quejas previas de síntomas relacionados con el teléfono móvil. Los resultados confirman hallazgos previos de que la exposición a RF aumentó el rango alfa del EEG en el EEG del sueño e indicó un deterioro moderado de SWS. Además, las diferencias notificadas en la sensibilidad al uso del teléfono móvil no se reflejaron en los parámetros del sueño.

(E) Lu Y, Xu S, He M, Chen C, Zhang L, Liu C, Chu F, Yu Z, Zhou Z, Zhong M. La administración de glucosa atenúa los déficits de memoria espacial inducidos por la exposición crónica a microondas de baja densidad de potencia. *Physiol Behav.* 106(5):631-637, 2012. (AS, CE, BE)

Existen numerosas pruebas que indican que la administración de glucosa atenúa los déficits de memoria en roedores y humanos, y el deterioro cognitivo se ha asociado con una reducción del metabolismo y la captación de glucosa en ciertas regiones cerebrales, incluido el hipocampo. En el presente estudio, investigamos si el tratamiento con glucosa atenuó los déficits de memoria causados por la exposición crónica a microondas de baja densidad de potencia (MW) y el efecto de la exposición a MW en la captación de glucosa en el hipocampo. Expusimos ratas Wistar a una irradiación de MW pulsada de 2,45 GHz a una densidad de potencia de 1 mW/cm² durante 3 h/día, durante un máximo de 30 días. La exposición a MW indujo alteraciones del aprendizaje espacial y de la memoria en ratas. La captación de glucosa en el hipocampo también se redujo con la exposición a MW en ausencia o presencia de insulina, pero los niveles de glucosa e insulina en sangre no se vieron afectados. Sin embargo, estos déficits de memoria espacial se revirtieron con el tratamiento sistémico con glucosa.

Nuestros resultados indican que la administración de glucosa atenúa los déficits de memoria espacial inducidos por la exposición crónica a MW de baja densidad de potencia, y la reducción de la captación de glucosa en el hipocampo puede estar asociada con el deterioro cognitivo causado por la exposición a MW.

(E) Lu Y, He M, Zhang Y, Xu S, Zhang L, He Y, Chen C, Liu C, Pi H, Yu Z, Zhou Z. Las respuestas proinflamatorias diferenciales de los astrocitos y la microglia implican la activación de STAT3 en respuesta a campos de radiofrecuencia de 1800 MHz. *PLoS One.* 2 de octubre de 2014;9(9):e108318. doi: 10.1371/journal.pone.0108318. (CS, CH)

La microglía y los astrocitos desempeñan un papel importante en el mantenimiento de la homeostasis del sistema nervioso central (SNC). Se ha postulado que varios impactos del SNC están asociados con la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF). Dado el importante papel de la inflamación en los procesos fisiopatológicos neuronales, investigamos las respuestas proinflamatorias de la microglía y los astrocitos y el mecanismo involucrado en respuesta a los campos de RF. Microglía N9 y astrogliosis C8

Las células D1A se expusieron a 1800 MHz de radiofrecuencia durante diferentes tiempos con o sin pretratamiento con inhibidor de STAT3. La microglía y los astrocitos se activaron por la exposición a radiofrecuencia, indicada por la sobreexpresión de CD11b y proteína ácida fibrilar glial (GFAP). Sin embargo, la exposición a radiofrecuencia indujo respuestas proinflamatorias diferenciales en los astrocitos y la microglía, caracterizadas por diferentes perfiles de expresión y liberación de IL-1 β , TNF- α , IL-6, PGE2, óxido nítrico (NO), óxido nítrico sintasa inducible (iNOS) y ciclooxigenasa 2 (COX2). Además, la exposición a radiofrecuencia activó STAT3 en la microglía, pero no en los astrocitos. Además, el inhibidor de STAT3 Stattic mejoró la liberación inducida por radiofrecuencia de citocinas proinflamatorias en la microglía, pero no en los astrocitos. Nuestros resultados demonstraron que la exposición a radiofrecuencia indujo respuestas proinflamatorias diferenciales en la microglía y los astrocitos, lo que implicó la activación diferencial de STAT3 en la microglía y los astrocitos. Nuestros datos aportan nuevos conocimientos sobre los mecanismos potenciales de los impactos informados en el SNC asociados con el uso de teléfonos móviles y presentan a STAT3 como un objetivo prometedor para proteger a los humanos contra la creciente exposición a RF.

(E) Luria R, Eliyahu I, Hareuveny R, Margalio M, Meiran N. Efectos cognitivos de la radiación emitida por los teléfonos móviles: la influencia del lado y el tiempo de exposición. *Bioelectromagnética*. 30(3):198-204, 2009. (Véase también Hareuveny et al., 2011) (HU, BE)

Este estudio examinó los efectos de la dependencia temporal de la exposición a la radiación de radiofrecuencia (RFR) emitida por teléfonos celulares GSM estándar sobre las funciones cognitivas de los humanos. Un total de 48 sujetos masculinos diestros sanos realizaron una tarea de memoria de trabajo espacial (que requería una respuesta con la mano izquierda o con la mano derecha) mientras estaban expuestos a uno de dos teléfonos GSM colocados a ambos lados de la cabeza. Los sujetos se dividieron aleatoriamente en tres grupos. Cada grupo fue expuesto a una de tres condiciones de exposición: lado izquierdo de la cabeza, lado derecho o exposición simulada. El experimento consistió en 12 bloques de ensayos. Se registraron los tiempos de respuesta (TR) y la precisión de las respuestas. Se encontró que el TR promedio de las respuestas de la mano derecha bajo la condición de exposición del lado izquierdo fue significativamente más largo que los de los grupos de exposición del lado derecho y de exposición simulada promediados juntos durante los primeros dos bloques de tiempo. Estos resultados confirmaron la existencia de un efecto de la exposición sobre el tiempo de reacción, así como el hecho de que la duración de la exposición (junto con la mano que responde y el lado de la exposición) puede desempeñar un papel importante en la producción de efectos detectables de RFR sobre el rendimiento. Las diferencias en estos parámetros podrían ser la razón por la que ciertos estudios no han logrado detectar o reproducir los efectos de RFR

(E) Lustenberger C, Murbach M, Durr R, Schmid MR, Kuster N, Achermann P, Huber R.

La estimulación del cerebro con pulsos de campos electromagnéticos de radiofrecuencia afecta a la mejora del rendimiento en función del sueño. *Brain Stimul* 6(5):805-811, 2013. (HU, BE, EE, SL)

Antecedentes: Las mejoras del rendimiento dependientes del sueño parecen estar estrechamente relacionadas con los husos del sueño (12-15 Hz) y la actividad de ondas lentas del sueño (SWA, 0,75-4,5 Hz).

Los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF EMF, frecuencia portadora 900 MHz) son capaces de modular estas características electroencefalográficas (EEG) del sueño. Objetivo: El objetivo de nuestro estudio fue explorar los posibles mecanismos por los que los campos electromagnéticos de radiofrecuencia afectan la actividad cortical durante el sueño y comprobar si dichos efectos sobre la actividad cortical durante el sueño interactúan con los cambios de rendimiento dependientes del sueño. Métodos: Dieciséis sujetos masculinos se sometieron a 2 noches experimentales, una de ellas con exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia pulsados de 0,25–0,8 Hz durante toda la noche. Se registró un EEG durante toda la noche. Para investigar los cambios inducidos por los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en la mejora del rendimiento durante la noche, los sujetos fueron sometidos a un electroencefalograma (EEG) durante toda la noche. Entrenados durante ambas noches en una tarea motora por la tarde y por la mañana. Resultados: Obtuvimos una buena calidad de sueño en todos los sujetos en ambas condiciones (eficiencia media del sueño > 90%).

EMF de RF pulsada encontramos un aumento de SWA durante la exposición a EMF de RF modulado por pulso en comparación a la exposición simulada ($P < 0,05$) hacia el final del período de sueño. La actividad del huso no fue. Además, los sujetos mostraron una mayor respuesta relacionada con la ráfaga de campos electromagnéticos de radiofrecuencia en el rango SWA, indicada por un aumento en la potencia espectral del EEG relacionada con el evento y cambios de fase en el rango SWA. En particular, durante la exposición, la mejora del rendimiento dependiente del sueño en la tarea de secuencia motora se redujo en comparación con la condición simulada (-20,1 %, $P = 0,03$).

Conclusión: Los cambios en la evolución temporal del SWA durante la noche de exposición pueden reflejar una interacción de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia con la renormalización de la excitabilidad cortical durante el sueño, con un impacto negativo en la mejora del rendimiento dependiente del sueño.

(E) Lustenberger, C., Murbach, M., Tüshaus, L., Wehrle, F., Kuster, N., Achermann, P. y Huber, R., Variación interindividual e intraindividual de los efectos de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia pulsada en el EEG del sueño humano. *Bioelectromagnetism*. 36(3) 169, 2015. (HU, EE)

Los campos electromagnéticos de radiofrecuencia modulados por pulsos (CEM RF) pueden alterar la actividad cerebral durante el sueño; se han reportado aumentos de potencia electroencefalográfica (EEG) en el huso del sueño (13,75–15,25 Hz) y rango de frecuencia delta-theta (1,25–9 Hz). Estos efectos de campo muestran sorprendentes diferencias interindividuales. Sin embargo, todavía se desconoce si los sujetos individuales reaccionan de manera similar cuando se exponen repetidamente. Por lo tanto, nuestro estudio tuvo como objetivo investigar la variación interindividual y la estabilidad intraindividual de los efectos de campo. Para ello, expusimos a 20 sujetos varones jóvenes dos veces durante 30 minutos antes de dormir al mismo CEM RF de amplitud modulada de 900 MHz (pulso de 2 Hz, filtro de paso bajo gaussiano de 20 Hz y una relación de pico a promedio de 4) con 2 semanas de diferencia. El análisis topográfico de la potencia del EEG durante el sueño nocturno sin movimientos oculares rápidos reveló: (1) aumentos relacionados con la exposición en el rango de frecuencia delta-theta en varios electrodos frontocentrales; y (2) ausencia de diferencias en el rango de frecuencia del huso. No observamos efectos reproducibles intraindividuales de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en la actividad del huso del sueño y delta-theta en el EEG del sueño y sigue sin estar claro si existe un rasgo biológico de cómo reaccionan los cerebros de los sujetos a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia.

(E) Lv B, Chen Z, Wu T, Shao Q, Yan D, Ma L, Lu K, Xie Y. La alteración de las oscilaciones espontáneas de baja frecuencia causadas por la exposición aguda a campos electromagnéticos. Clin Neurophysiol. 125:277-286, 2014. (HU, EE, PE)

OBJETIVO: La motivación de este estudio es evaluar la posible alteración de la actividad cerebral regional en estado de reposo inducida por la exposición aguda (30 min) a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) de la señal de Long Term Evolution (LTE). MÉTODOS: Diseñamos un entorno de exposición controlable a RF-EMF LTE de campo cercano. Dieciocho sujetos participaron en un experimento doble ciego, cruzado, aleatorizado y contrabalanceado que incluyó dos sesiones (exposición real y simulada). La fuente de radiación estaba cerca del oído derecho. Luego, se recogieron las señales fMRI del cerebro humano en estado de reposo antes y después de la exposición en ambas sesiones. Medimos la amplitud de fluctuación de baja frecuencia (ALFF) y ALFF fraccional (fALFF) para caracterizar la actividad cerebral espontánea. RESULTADOS: Encontramos el valor disminuido de ALFF alrededor del giro temporal superior izquierdo, giro temporal medio izquierdo, giro temporal superior derecho, giro frontal medial derecho y lóbulo paracentral derecho después de la exposición real. También se detectó un valor fALFF disminuido en el giro frontal medial derecho y en el lóbulo paracentral derecho.

CONCLUSIONES: El estudio proporcionó evidencia de que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia LTE durante 30 minutos moduló las fluctuaciones espontáneas de baja frecuencia en algunas regiones del cerebro. SIGNIFICADO: Con fMRI en estado de reposo, encontramos la alteración de las fluctuaciones espontáneas de baja frecuencia inducidas por la exposición aguda a campos electromagnéticos de radiofrecuencia LTE.

(E) Lv B, Su C, Yang L, Xie Y, Wu T. Probabilidad de sincronización del EEG del cerebro completo modulada por la exposición a campos electromagnéticos evolutivos a largo plazo. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2014:986-989, 2014. (Humano, EE, UU.)

En este artículo, nos propusimos investigar las posibles interacciones entre el cerebro humano y los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM) con la técnica de electroencefalograma (EEG).

A diferencia de los estudios anteriores que se centraron principalmente en el efecto de los campos electromagnéticos en las actividades cerebrales locales, intentamos evaluar si los campos electromagnéticos emitidos por dispositivos LTE pueden modular la conectividad funcional de las actividades eléctricas cerebrales. Se reclutaron diez sujetos para participar en un experimento de exposición cruzado, doble ciego, que incluyó dos sesiones (exposición real y simulada). En cada sesión, la exposición a los campos electromagnéticos LTE (encendido o apagado) duró 30 minutos y las señales de EEG se recopilaron con 32 canales durante todo el experimento. Luego aplicamos el método de probabilidad de sincronización para cuantificar la sincronización neuronal en todo el cerebro en diferentes bandas de frecuencia y en diferentes períodos de registro de EEG. Nuestros resultados ilustraron que la exposición a los campos electromagnéticos LTE a corto plazo modularía los patrones de sincronización de la activación de EEG en todo el cerebro.

(E) Maaroufi K, Save E, Poucet B, Sakly M, Abdelmelek H, Had-Aissouni L. Estrés oxidativo y prevención de la respuesta adaptativa a la sobrecarga crónica de hierro en el cerebro de ratas adultas jóvenes expuestas a un campo electromagnético de 150 kilohercios. Neurociencia. 2011 186:39-47. (AS, CE, OX, IA)

La sobrecarga de hierro puede inducir un deterioro de varias funciones neurológicas debido al estrés oxidativo. Además, se ha sugerido que los campos electromagnéticos (CEM) de frecuencias de hasta aproximadamente 100 kHz, emitidos por dispositivos eléctricos/electrónicos, aumentan la actividad de los radicales libres.

producción a través de una vía dependiente del hierro. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue determinar una posible relación entre el estado de hierro, la exposición a los campos electromagnéticos y el estrés oxidativo cerebral en ratas adultas jóvenes. Se microdisecaron muestras de la corteza prefrontal, el hipocampo, el cuerpo estriado y el cerebelo después de una sobrecarga crónica de solución salina o hierro (IO), así como después de una exposición simulada crónica o exposición a un campo electromagnético de 150 kHz o después de combinar la exposición a campos electromagnéticos con IO. Las muestras de cerebro se utilizaron para monitorear la peroxidación lipídica inducida por estrés oxidativo y la actividad de las enzimas antioxidantes superóxido dismutasa y catalasa. Si bien el IO no indujo ningún estrés oxidativo en ratas adultas jóvenes, estimuló las defensas antioxidantes en el cerebelo y la corteza prefrontal en particular. Por el contrario, la exposición a campos electromagnéticos estimuló la peroxidación lipídica principalmente en el cerebelo, sin afectar las defensas antioxidantes. Cuando se aplicó el EMF junto con el IO, la peroxidación lipídica aumentó aún más en comparación con el EMF solo, mientras que el aumento de las defensas antioxidantes desencadenado por el IO solo se eliminó. Estos datos sugieren que la exposición a los EMF puede ser perjudicial en adultos jóvenes al afectar las defensas antioxidantes dirigidas a prevenir el estrés oxidativo inducido por el hierro.

(E) Maaroufi K, Had-Aissouni L, Melon C, Sakly M, Abdelmelek H, Poucet B, Save E. Aprendizaje espacial, monoaminas y estrés oxidativo en ratas expuestas a un campo electromagnético de 900 MHz en combinación con sobrecarga de hierro. Behav Brain Res. 258:80-89, 2014. (AS, CE, BE, CH)

El uso creciente de la tecnología de telefonía móvil durante la última década plantea inquietudes sobre el impacto de los campos electromagnéticos (CEM) de alta frecuencia en la salud. Más recientemente, se ha sugerido un vínculo entre los CEM, la sobrecarga de hierro en el cerebro y los trastornos neurodegenerativos, incluidas las enfermedades de Parkinson y Alzheimer. La coexposición a los CEM y la sobrecarga de hierro en el cerebro puede tener un mayor impacto en los tejidos cerebrales y los procesos cognitivos que cada tratamiento por separado. Para examinar esta hipótesis, ratas Long-Evans sometidas a una exposición de 900 MHz o tratamientos combinados de CEM de 900 MHz y sobrecarga de hierro fueron sometidas a pruebas en varias tareas de aprendizaje espacial (tarea de navegación en el laberinto acuático de Morris, tarea de memoria de trabajo en el laberinto de brazos radiales y tarea de exploración de objetos que involucra procesamiento espacial y no espacial). Se midieron las monoaminas y metabolitos biógenos (dopamina, serotonina) y el estrés oxidativo. Las ratas expuestas a los CEM tuvieron problemas en la tarea de exploración de objetos, pero no en las tareas de navegación y memoria de trabajo.

También se observaron alteraciones del contenido de monoaminas en varias áreas cerebrales, pero principalmente en el hipocampo. Las ratas que recibieron el tratamiento combinado no mostraron mayores déficits conductuales y neuroquímicos que las ratas expuestas a los CEM. Ninguno de los dos tratamientos produjo estrés oxidativo global. Estos resultados muestran que existe un impacto de los CEM en el cerebro y los procesos cognitivos, pero este impacto se revela solo en una tarea que explota la actividad exploratoria espontánea.

Por el contrario, no existen efectos sinérgicos entre los campos electromagnéticos y un alto contenido de hierro en el cerebro.

(E) Maganioti AE, Hountala CD, Papageorgiou CC, Kyprianou MA, Rabavilas AD, Capsalis CN. Análisis de componentes principales de la forma de onda P600: efectos de RF y género. *Neurosci Lett*. 478(1):19-23, 2010. (HU, EE)

El objetivo del presente estudio fue examinar los patrones de activación de la forma de onda P600 de los potenciales relacionados con eventos (ERP), aplicando análisis de componentes principales (PCA) y ANOVA de medidas repetidas, y si estos patrones dependen de la RF y del género. Los ERP de treinta y nueve sujetos sanos (20 hombres y 19 mujeres) se registraron durante una tarea de memoria auditiva en presencia y ausencia de RF, similar a la emitida por los teléfonos móviles. Tanto el PCA como el ANOVA produjeron resultados congruentes, mostrando que la activación del componente P600 ocurre temprano y más intensamente en la región de los electrodos posteriores y de manera menos intensa en los electrodos centrales. Por el contrario, la activación en los electrodos anteriores surge más tarde con una intensidad considerablemente reducida. En ausencia de RF, los sujetos femeninos exhibieron amplitudes significativamente menores en los electrodos anteriores y latencias más tempranas en los electrodos centrales que los sujetos masculinos. Estas diferencias desaparecen en presencia de RF. En consecuencia, el componente P600 sigue patrones distintos de activación en las áreas cerebrales anterior, central y posterior y se observan diferencias de género simultáneamente en varios electrodos dentro de estas áreas. Finalmente, la arquitectura funcional relacionada con el género en relación con el componente P600 parece ser sensible a la RF. En conclusión, la aplicación del procedimiento PCA proporciona un modelo adecuado de la dinámica relacionada con los eventos distribuidos espacialmente que corresponden a la forma de onda P600.

(NE) Malek F, Rani KA, Rahim HA, Omar MH. Efecto de la exposición a estaciones base de telefonía móvil durante un corto período de tiempo en el rendimiento cognitivo, la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca y la presión arterial de los malayos. *Sci Rep*. 5:13206, 2015. (HU, BE)

Las personas que informan su sensibilidad a los campos electromagnéticos a menudo sufren deterioros cognitivos que creen que se deben a la exposición a la tecnología de los teléfonos móviles. El objetivo de este estudio es aclarar si la exposición a corto plazo a 1 V/m al Sistema Global de Comunicaciones Móviles y al Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) típicos afecta el rendimiento cognitivo y los parámetros fisiológicos (temperatura corporal, presión arterial y frecuencia cardíaca). Este estudio aplica pruebas aleatorizadas simples y contrabalanceadas para determinar si las personas sensibles experimentan más efectos negativos para la salud cuando se exponen a señales de estaciones base en comparación con las personas simuladas (de control). El tamaño de la muestra es de 200 sujetos con un 50,0 % de intolerancia ambiental idiopática atribuida a campos electromagnéticos (IEI-EMF), también conocidos como sensibles, y un 50,0 % (no IEI-EMF). La batería automatizada de pruebas neuropsicológicas de Cambridge administrada por computadora (CANTAB eclipse(TM)) se utiliza para examinar el rendimiento cognitivo. Se han elegido cuatro pruebas para evaluar el rendimiento cognitivo en CANTAB: tiempo de reacción (RTI), procesamiento visual rápido (RVP), aprendizaje de asociaciones por pares (PAL) y amplitud espacial (SSP). Por otro lado, se utiliza la prueba t de muestras por pares para examinar los parámetros fisiológicos. En general, en ambos grupos no hay diferencia estadísticamente significativa entre la exposición y la exposición simulada en cuanto al rendimiento cognitivo y los efectos fisiológicos ($P > 0,05$).

(E) Malkemper EP, Eder SH, Begall S, Phillips JB, Winkhofer M, Hart V, Burda H.

Magnetorrecepción en el ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*): influencia de campos de radiofrecuencia modulados en frecuencia débil. *Sci Rep.* 2015 29 de abril;4:9917. doi: 10.1038/srep09917.

(AS, LI, SER)

El sentido magnético de los mamíferos se estudia predominantemente en especies con visión reducida, como las ratas topo y los murciélagos. Se sabe mucho menos sobre los roedores que viven en la superficie (epigéicos) con ojos bien desarrollados. En este estudio, probamos la magnetorrecepción del ratón de campo *Apodemus sylvaticus* mediante un ensayo de comportamiento simple en el que se permitió a los ratones construir nidos durante la noche en una arena circular visualmente simétrica. Las pruebas se realizaron en el campo magnético ambiental o en un campo rotado 90°. Cuando se trazaron con respecto al norte magnético, los nidos se agruparon bimodalmente en los sectores norte y sur, lo que indica claramente que los animales usaban señales magnéticas.

Además, se sometió a los ratones a pruebas en el campo magnético ambiental con un campo magnético de radiofrecuencia superpuesto del orden de 100 nT. Los ratones de bosque expuestos a un barrido de frecuencia de 0,9 a 5 MHz cambiaron su preferencia de norte a sur a este y oeste. Sin embargo, a diferencia de las aves, un campo de frecuencia constante sintonizado con la frecuencia de Larmor (1,33 MHz) no tuvo ningún efecto sobre la orientación de los ratones. En resumen, demostramos la magnetorrecepción en ratones de bosque y proporcionamos la primera evidencia de un mecanismo de pares radicales en un mamífero.

(E) Mandalà M, Colletti V, Sacchetto L, Manganotti P, Ramat S, Marcocci A, Colletti L.

Efecto de los campos electromagnéticos de los auriculares Bluetooth y de los teléfonos móviles sobre el nervio auditivo humano. *Laringoscopio.* 124:255-259, 2014. (HU, EE)

OBJETIVOS/HIPÓTESIS: La posibilidad de que el uso prolongado de teléfonos móviles aumente la incidencia de astrocitomas, gliomas y neurinomas acústicos ha sido investigada en varios estudios. Recientemente, nuestro grupo demostró que la exposición directa (en un entorno quirúrgico) a los campos electromagnéticos (CEM) de los teléfonos móviles induce un deterioro del potencial de acción compuesto (CNAP) evocado auditivo del nervio coclear en humanos. Para verificar si el uso de dispositivos Bluetooth reduce estos efectos, realizamos el presente estudio con el mismo protocolo experimental.

DISEÑO DEL ESTUDIO: Ensayo aleatorizado. MÉTODOS: Doce pacientes se sometieron a neurectomía vestibular retrosigmoidea para tratar la enfermedad de Ménière unilateral definida mientras eran monitoreados con CNAP evocados acústicamente para evaluar la exposición directa al teléfono móvil o, alternativamente, los efectos de los campos electromagnéticos de los auriculares Bluetooth.

RESULTADOS: No encontramos efectos a corto plazo de los campos electromagnéticos de Bluetooth en

las estructuras nerviosas auditivas, mientras que la exposición directa a los campos electromagnéticos de los teléfonos móviles confirmó una disminución significativa en la amplitud de los CNAP y un aumento en la latencia en todos los sujetos.

CONCLUSIONES: Los resultados del presente estudio muestran que, contrariamente a la observación de que la latencia y la amplitud de los CNAP son muy sensibles a los campos electromagnéticos producidos por el teléfono móvil estudiado, los campos electromagnéticos producidos por un dispositivo Bluetooth común no inducen ningún cambio significativo en la actividad del nervio coclear. Por lo tanto, las condiciones de exposición difieren de las de la vida cotidiana, en la que diversos tejidos biológicos pueden reducir los campos electromagnéticos que afectan al nervio coclear.

Sin embargo, estos nuevos hallazgos pueden tener importantes implicaciones en materia de seguridad.

(E) Maskey D, Kim M, Aryal B, Pradhan J, Choi IY, Park KS, Son T, Hong SY, Kim SB, Kim HG, Kim MJ. Efecto de la exposición a la radiación de radiofrecuencia de 835 MHz sobre las proteínas de unión al calcio en el hipocampo del cerebro de ratón. *Brain Res.* 1313:232-241, 2010a. (AS, CE, ME, CH)

La expansión mundial de los teléfonos móviles y la exposición a los campos electromagnéticos (CEM) han planteado la cuestión de sus posibles efectos biológicos en el cerebro y el sistema nervioso. La radiación (RF) podría alterar las vías de señalización intracelular a través de cambios en la permeabilidad del calcio (Ca^{2+}) a través de las membranas celulares. Los cambios en la expresión de proteínas de unión al calcio (CaBP) como calbindina D28-k (CB) y calretinina (CR) podrían indicar una homeostasis de Ca^{2+} alterada debido a la exposición a EMF. La expresión de CB y CR se midió con inmunohistoquímica en el hipocampo de ratones después de la exposición a EMF a 835 MHz para diferentes tiempos de exposición y tasas de absorción, 1 h/día durante 5 días a una tasa de absorción específica (SAR) = 1,6 W/kg, 1 h/día durante 5 días a SAR = 4,0 W/kg, 5 h/día durante 1 día a SAR = 1,6 W/kg, 5 h/día durante 1 día a SAR = 4,0 W/kg, exposición diaria durante 1 mes a SAR = 1,6 W/kg. Los pesos corporales no cambiaron significativamente. La inmunoreactividad (IR) de CB mostró una tinción moderada de células en las áreas del cuerno de amonio (CA) y células granulares marcadamente teñidas. La IR de CR reveló células piramidales marcadamente teñidas con dendritas que discurrían perpendicularmente en el área CA. La exposición durante 1 mes produjo una pérdida casi completa de células piramidales en el área CA1. Las diferencias de CaBP podrían causar cambios en los niveles celulares de Ca^{2+} , lo que podría tener un efecto perjudicial en las funciones normales del hipocampo relacionadas con la conectividad e integración neuronal.

(E) Maskey D, Pradhan J, Aryal B, Lee CM, Choi IY, Park KS, Kim SB, Kim HG, Kim MJ. La exposición crónica a radiofrecuencias de 835 MHz en el hipocampo de ratones altera la distribución de la inmunoreactividad de calbindina y GFAP. *Brain Res.* 1346:237-246, 2010b. (AS, CE, ME, CH)

La manipulación interindividual exponencial en el sistema de comunicación inalámbrica ha planteado posibles dudas sobre los aspectos biológicos de la exposición a radiofrecuencias (RF) en el cerebro humano debido a su proximidad al teléfono móvil. En el sistema nervioso, el calcio (Ca^{2+}) desempeña un papel fundamental en la liberación de neurotransmisores, generando potencial de acción e integridad de la membrana. Las alteraciones en la concentración intracelular de Ca^{2+} desencadenan una acción sináptica aberrante o causan apoptosis neuronal, lo que puede ejercer una influencia en la patología celular para el aprendizaje y la memoria en el hipocampo. Las proteínas de unión al calcio como la calbindina D28-K (CB) son responsables del mantenimiento y control de la homeostasis del Ca^{2+} . Por lo tanto, en el presente estudio, investigamos el efecto de la exposición a RF en el hipocampo de ratas a 835 MHz con baja energía (tasa de absorción específica: SAR = 1,6 W/kg) durante 3 meses utilizando anticuerpos específicos tanto para CB como para la proteína ácida fibrilar glial (GFAP) mediante el método inmunohistoquímico. Se observó una disminución de la inmunoreactividad (IR) de CB en el grupo expuesto (E1.6) con pérdida de interneuronas y células piramidales en el área CA1 y pérdida de células granulares. Además, se observó un aumento general de la IR de GFAP en el hipocampo de E1.6. Mediante el ensayo TUNEL, se detectaron células apoptóticas en las áreas CA1, CA3 y el giro dentado del hipocampo, lo que refleja que la exposición crónica a RF puede afectar la viabilidad celular. Además, el aumento de la IR de GFAP debido a la exposición a RF podría ser muy adecuado con la característica de la astrocitosis reactiva, que es un aumento anormal en el número de astrocitos debido a la pérdida de neuronas cercanas. La exposición crónica a RF al cerebro de la rata sugirió que la dism

La apoptosis acompañante y el aumento de GFAP IR podrían ser parámetros morfológicos en los daños del hipocampo.

(E) Maskey D, Kim HJ, Kim HG, Kim MJ. Alteraciones de la inmunoreactividad de las proteínas de unión al calcio y de la GFAP en el hipocampo murino después de un mes de exposición a una radiofrecuencia de 835 MHz con valores de SAR de 1,6 y 4,0 W/kg. *Neurosci Lett.* 506(2):292-296, 2012. (AS, CE, ME, CH)

El uso generalizado de las comunicaciones móviles inalámbricas ha suscitado inquietudes sobre los efectos adversos para el cerebro debido a la proximidad durante el uso debido al campo electromagnético emitido por los teléfonos móviles.

Los cambios en las concentraciones de iones de calcio a través de las proteínas de unión pueden alterar la homeostasis del calcio; sin embargo, no se ha determinado la correlación entre la inmunoreactividad (IR) de la proteína de unión al calcio (CaBP) y las células gliales con diferentes valores de SAR.

Se aplicaron diferentes valores de SAR [1,6 (grupo E1.6) y 4,0 (grupo E4) W/kg] para determinar la distribución de calbindina D28-k (CB), calretinina (CR) y proteína ácida fibrilar glial (GFAP) IR en el hipocampo murino. En comparación con el grupo de control simulado, se observaron IR de CB y CR disminuidos, pérdida de células inmunorreactivas de CB y CR y aumento de IR de GFAP que exhiben procesos citoplasmáticos hipertróficos en ambos grupos experimentales. El grupo E4 mostró una disminución prominente en CB y CR IR que el grupo E1.6 debido a la regulación negativa de las proteínas CaBP y la pérdida neuronal.

La IR de GFAP fue más prominente en el grupo E4 que en el grupo E1.6. La disminución de las CaBP puede afectar la capacidad de amortiguación del calcio y provocar la muerte celular, mientras que el aumento de la IR de GFAP y los cambios en la morfología de los astrocitos pueden mediar en la lesión cerebral debida a la exposición a radiofrecuencias.

(E) Maskey D, Kim MJ. Localización inmunohistoquímica del factor neurotrófico derivado del cerebro y del factor neurotrófico derivado de la línea celular glial en el complejo olivar superior de ratones después de la exposición a radiofrecuencia. *Neuroscience Letters.* 564:78-82, 2014. (AS, CE, CH)

La preocupación por los efectos biológicos de la exposición a las radiofrecuencias, incluso con resultados contradictorios, ha dado lugar a que se formulen directrices sobre el nivel de seguridad biológica. Dada la gran proximidad entre un teléfono móvil y el oído, se ha sugerido que la exposición a las radiofrecuencias puede tener efectos perjudiciales en el sistema auditivo central.

En el sistema auditivo, las neurotrofinas son importantes en la regulación de la supervivencia de las neuronas, especialmente las neuronas cocleares de los mamíferos. Los factores neurotróficos como el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) y el factor neurotrófico derivado de la glía (GDNF) presentes en el sistema auditivo son responsables del mantenimiento de las neuronas auditivas. El BDNF y el GDNF pueden proteger contra el trauma acústico y prevenir el defecto auditivo. El presente estudio aplicó radiofrecuencia a una tasa de absorción específica (SAR) de 1,6 W/kg (E1.6) o grupo 0 W/kg para determinar la distribución de BDNF y GDNF en los núcleos del complejo olivar superior (SOC). En el grupo E1.6, se observaron disminuciones significativas de la inmunoreactividad (IR) del BDNF en la oliva superior lateral, la oliva superior medial, el núcleo paraolivar superior y el núcleo medial del cuerpo trapezoidal. La IR de GDNF también disminuyó significativamente ($p < 0,001$) en todos los núcleos SOC del grupo E1.6.

La disminución de la IR de estos factores neurotróficos en el SOC del grupo E1.6 sugiere un efecto perjudicial de la exposición a RF en los núcleos auditivos.

(NE) Masuda H, Ushiyama A, Takahashi M, Wang J, Fujiwara O, Hikage T, Nojima T, Fujita K, Kudo M, Ohkubo C. Efectos de la radiación de campo electromagnético de 915 MHz en células TEM sobre la barrera hematoencefálica y las neuronas en el cerebro de rata. *Radiat Res.* 172(1):66-73, 2009. (COMO, YO)

El objetivo de este estudio fue determinar si había pérdida de albúmina y neuronas oscuras en cerebros de ratas 14 y 50 días después de una única exposición de 2 h a un campo electromagnético de 915 MHz, como informaron Salford et al. (*Environ. Health Perspect.* 111, 881-883, 2003). Se expusieron sesenta y cuatro ratas macho F344 (de 12 semanas de edad) a un campo electromagnético de 915 MHz a tasas de absorción específicas promedio de cuerpo entero de 0, 0,02, 0,2 y 2,0 W/kg en células TEM durante 2 h, siguiendo el protocolo informado por Salford et al. Los cerebros se examinaron histológicamente e inmunohistoquímicamente.

No se observó inmunorreactividad de albúmina en los grupos expuestos. Además, las neuronas oscuras, evaluadas mediante tinción con hematoxilina y eosina, rara vez estuvieron presentes, sin diferencia estadísticamente significativa entre los animales expuestos y los expuestos simuladamente. Por tanto, este estudio no logró confirmar los resultados de Salford et al.

(E) Masuda H, Hirata A, Kawai H, Wake K, Watanabe S, Arima T, Poullietier de Gannes F, Lagroye I, Veyret B. Exposición local de la corteza de la rata a campos electromagnéticos de radiofrecuencia Aumenta el flujo sanguíneo cerebral local junto con la temperatura. *J Appl Physiol.* 110(1):142-148, 2011. (AS, PE)

Pocos estudios han demostrado que la exposición local a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF) induce cambios fisiológicos dependientes de la intensidad, especialmente en el cerebro. El objetivo del presente estudio fue detectar respuestas reproducibles a la exposición local a RF en la corteza parietal de ratas anestesiadas y determinar su dependencia de la intensidad de RF. El tejido de la corteza objetivo se expuso localmente a RF de 2 GHz utilizando una antena de bucle en forma de ocho dentro de un rango de tasas de absorción específicas promedio (10,5, 40,3, 130 y 263 W/kg promediadas sobre 4,04 mg) en el área objetivo. El flujo sanguíneo cerebral local (FSC) y las temperaturas en tres regiones (área objetivo, recto e hipodermis de la pantorrilla) se midieron utilizando medidores de flujo sanguíneo de fibra óptica y termómetros durante la exposición a RF. Todos los parámetros, excepto la temperatura de la hipodermis de la pantorrilla, aumentaron significativamente en los animales expuestos en comparación con los expuestos simuladamente durante exposiciones de 18 minutos. La dependencia de los valores de los parámetros en la intensidad de la exposición se analizó utilizando modelos de regresión lineal. La elevación del FSC local se correlacionó con el aumento de temperatura tanto en el objetivo como en el recto al final de la exposición a RF. Sin embargo, la elevación del FSC local pareció aumentar con el aumento de la temperatura del objetivo, pero no con el de la temperatura rectal, en la parte inicial de la exposición a RF o en la exposición a RF de baja intensidad. Estos hallazgos sugieren que la exposición local a RF de la corteza de la rata impulsa una regulación del FSC acompañada de un aumento de la temperatura y nuestros hallazgos pueden ser útiles para discutir los cambios fisiológicos en la región de la corteza local, que está expuesta localmente a RF.

(NE) Masuda H, Hirota S, Ushiyama A, Hirata A, Arima T, Watanabe H, Wake K, Watanabe S, Taki M, Nagai A, Ohkubo C. No hay cambios en los parámetros microcirculatorios cerebrales en ratas durante la exposición local de la corteza a las microondas. *En Vivo.* 29(2):207-215, 2015. (AS, PE)

El objetivo de este estudio fue determinar si los parámetros microcirculatorios cerebrales en ratas se modificaron durante la exposición local de la corteza a un campo electromagnético de radiofrecuencia (RF) en condiciones no térmicas. El tejido de la corteza objetivo se expuso localmente a 1439 MHz RF utilizando una antena de bucle en forma de 8 a una tasa de absorción específica promedio de 2,0 W/kg en el área objetivo durante 50 min. Se midieron tres parámetros microcirculatorios relacionados con la inflamación cerebral mediante el método de la ventana craneal en tiempo real bajo exposición a RF. No se observó extravasación de tinte fluorescente inyectado por vía intravenosa durante la exposición a RF. No hubo diferencias significativas ni en la velocidad del flujo sanguíneo de la vénula pial ni en el diámetro entre las ratas expuestas y las expuestas simuladamente.

La evaluación histológica del cerebro inmediatamente después de la exposición a radiofrecuencia no reveló sitios de fuga de albúmina sérica ni neuronas degeneradas. Estos hallazgos sugieren que no se produjeron cambios dinámicos en la microcirculación cerebral incluso durante la exposición local de la corteza en estas condiciones.

(E) Mathur R. Efecto de la exposición intermitente crónica al campo de radiofrecuencia AM sobre las respuestas a varios tipos de estímulos nocivos en ratas en crecimiento. *Electromagn Biol Med.* 27(3):266-276, 2008. (AS, CE, BE)

Existen varios informes de alteración de la sensación de dolor después de la exposición (desde unos pocos minutos hasta horas en dosis únicas o repetidas durante 2-3 semanas) a campos electromagnéticos (CEM) en adultos. El estímulo nocivo comúnmente utilizado es el calor radiante. Se sabe que las respuestas nociceptivas están influenciadas por las características del estímulo, el organismo y el entorno. Estudiamos el patrón de respuestas nociceptivas a varios estímulos nocivos en ratas en crecimiento expuestas a un campo de radiofrecuencia (73,5 MHz de amplitud modulada, 16 Hz de densidad de potencia de 1,33 mw/cm²), SAR = 0,4 w/kg durante 45 días (2 h/día). Se registró la corriente umbral para la estimulación de aferentes nociceptivos para mediar la respuesta motora de la cola (TF), la vocalización durante el estímulo (VD) y la vocalización después de la descarga (VA); la latencia de retirada de la cola (TFL) y la pata trasera (HPL) al estímulo nocivo térmico y las respuestas de dolor tónico en cada rata. El TFL no se vio afectado, el HPL disminuyó ($p < 0,01$), y los umbrales de TF y VD no se vieron afectados, mientras que el de VA disminuyó significativamente. La calificación del dolor tónico disminuyó ($p < 0,01$). Una disminución en el umbral de VA ($p < 0,01$) es indicativa de un aumento en el componente emocional de la respuesta al dolor fásico, mientras que una disminución en la calificación del dolor indica analgesia en respuesta al dolor tónico.

Los resultados de nuestro estudio sugieren que la exposición crónica (45 días) e intermitente (2 horas al día) a campos de radiofrecuencia modulados en amplitud en ratas peripúberes aumenta el componente emocional del dolor fásico en comparación con un estado basal euaalgésico, mientras que la respuesta tardía al dolor tónico disminuye. Los datos sugieren que el campo de radiofrecuencia modulado en amplitud afecta de manera diferencial los mecanismos involucrados en el procesamiento de varios estímulos nocivos.

(NE) McNamee JP, Bellier PV, Konkle AT, Thomas R, Wasoontarajoen S, Lemay E, Gajda GB. Análisis de la expresión génica en regiones del cerebro de ratones después de la exposición a campos de radiofrecuencia de 1,9 GHz. *Int J Radiat Biol.* 30 de marzo de 2016:1-13. [Publicado electrónicamente antes de su impresión] (AS, CE, CH)

OBJETIVO: Evaluar la exposición al campo de radiofrecuencia (RF) de 1,9 GHz en la expresión génica dentro de una variedad de regiones discretas del cerebro de ratón mediante análisis de microarrays del genoma completo. MATERIALES Y MÉTODOS: Se expuso a ratones machos adultos C57BL/6 a un campo de radiofrecuencia (RF) de 1,9 GHz modulado por pulsos o

Campos de radiofrecuencia de onda continua durante 4 h/día durante 5 días consecutivos a tasas de absorción específicas promedio de cuerpo entero (WBA) de 0 (simulado), 0,2 W/kg y 1,4 W/kg. Se aisló el ARN total de la corteza auditiva, la amígdala, el núcleo caudado, el cerebelo, el hipocampo, el hipotálamo y la corteza prefrontal medial y se evaluó la expresión génica diferencial utilizando Illumina MouseWG-6 (v2)

Matrices BeadChip. La validación de los genes potencialmente respondedores se realizó mediante RT-PCR.

RESULTADOS: Cuando se realizó el análisis de la expresión génica en regiones cerebrales individuales al controlar la tasa de falsos descubrimientos (FDR), no se identificaron genes expresados de manera diferencial en relación con el control simulado. Sin embargo, debe notarse que se observó que la mayoría de los cambios de pliegues entre los grupos eran menores de 1,5 veces y este estudio tuvo una capacidad limitada para detectar cambios tan pequeños. Si bien algunos genes se expresaron de manera diferencial sin corrección para pruebas de comparaciones múltiples, no se observó un patrón consistente de respuesta entre diferentes niveles de exposición a RF o entre diferentes modulaciones de RF. CONCLUSIONES: El estudio actual proporciona el análisis más completo de los posibles cambios de expresión génica en el cerebro de roedores en respuesta a la exposición al campo de RF realizado hasta la fecha. Dentro de las condiciones de exposición y las limitaciones de este estudio, no se encontró evidencia convincente de cambios consistentes en la expresión génica en respuesta a la exposición al campo de RF de 1,9 GHz.

(E) Megha K, Deshmukh PS, Banerjee BD, Tripathi AK, Abegaonkar MP. Estrés oxidativo, deterioro cognitivo e inflamación inducidos por radiación de microondas en el cerebro de ratas Fischer. Indian J Exp Biol. 50(12):889-896, 2012. (AS, LI, CE, BE, OX, CH)

La preocupación pública por los posibles efectos adversos para la salud de la radiación de microondas emitida por los teléfonos móviles va en aumento. Para evaluar la intensidad del estrés oxidativo, el deterioro cognitivo y la inflamación en el cerebro de ratas Fischer expuestas a la radiación de microondas, se expuso a ratas Fischer-344 macho a una radiación de microondas de 900 MHz (SAR = $5,953 \times 10^{-4}$ W/kg) y a una radiación de microondas de 1800 MHz (SAR = $5,835 \times 10^{-4}$ W/kg) durante 30 días (2 h/día). Se observó un deterioro significativo de la función cognitiva y una inducción de estrés oxidativo en los tejidos cerebrales de las ratas expuestas a microondas en comparación con los grupos expuestos de forma simulada. Además, también se observó un aumento significativo del nivel de citocinas (IL-6 y TNF-alfa) tras la exposición a microondas. Los resultados del presente estudio indicaron que el aumento del estrés oxidativo debido a la exposición a las microondas puede contribuir al deterioro cognitivo y la inflamación en el cerebro.

(E) Megha K, Deshmukh PS, Ravi AK, Tripathi AK, Abegaonkar MP, Banerjee BD. Efecto de la radiación de microondas de baja intensidad sobre los neurotransmisores monoamínicos y sus enzimas reguladoras clave en el cerebro de ratas. Cell Biochem Biophys. 73:93-100, 2015. (AS, LI, CE, CH)

El uso cada vez mayor de dispositivos de comunicación inalámbricos ha suscitado una gran preocupación por los efectos nocivos de la radiación de microondas sobre la salud humana. El objetivo del estudio fue demostrar el efecto de la radiación de microondas de baja intensidad sobre los niveles de neurotransmisores monoamínicos y la expresión genética de sus enzimas reguladoras clave en el cerebro de ratas Fischer. Los animales fueron expuestos a radiación de microondas de 900 MHz y 1800 MHz durante 30 días (2 h/día, 5 días/semana) con tasas de absorción específicas respectivas de $5,953 \times 10^{-4}$ y $5,835 \times 10^{-4}$ W/kg. Los niveles de neurotransmisores monoamínicos, a saber, dopamina (DA), noradrenalina (NE),

Se detectaron epinefrina (E) y serotonina (5-HT) mediante LC-MS/MS en el hipocampo de todos los animales experimentales. Además, también se estimó la expresión de ARNm de enzimas reguladoras clave para estos neurotransmisores, a saber, tirosina hidroxilasa (TH) (para DA, NE y E) y triptófano hidroxilasa (TPH1 y TPH2) (para serotonina). Los resultados mostraron una reducción significativa en los niveles de DA, NE, E y 5-HT en el hipocampo de los animales expuestos a microondas en comparación con los animales expuestos simuladamente (control). Además, también se observó una regulación negativa significativa en la expresión de ARNm de TH, TPH1 y TPH2 en los animales expuestos a microondas ($p < 0,05$). En conclusión, los resultados indican que la radiación de microondas de baja intensidad puede causar trastornos del aprendizaje y la memoria al alterar los niveles de neurotransmisores monoamínicos cerebrales a niveles de ARNm y proteína.

(E) Meral I, Mert H, Mert N, Deger Y, Yoruk I, Yetkin A, Keskin S. Efectos del campo electromagnético de 900 MHz emitido por un teléfono celular sobre el estrés oxidativo cerebral y algunos niveles de vitaminas en cobayas. Brain Res. 1169:120-124, 2007. (AS, CE, OX)

Este estudio fue diseñado para demostrar los efectos del campo electromagnético (CEM) de 900 MHz emitido por un teléfono celular sobre el tejido cerebral y también sobre los niveles de malondialdehído (MDA), glutatión (GSH), retinol (vitamina A), vitamina D(3) y tocoferol (vitamina E) en sangre, y la actividad de la enzima catalasa (CAT) de cobayas. Catorce cobayas machos, con un peso de 500-800 g, fueron divididos aleatoriamente en uno de dos grupos experimentales: control y tratamiento (expuestos a CEM), cada uno de los cuales contenía siete animales. Los animales del grupo de tratamiento fueron expuestos a CEM de 890 a 915 MHz (frecuencia de pulso de 217 Hz, potencia máxima de pico de 2 W, SAR 0,95 w/kg) de un teléfono celular durante 12 h/día (11 h 45 min en modo de espera y 15 min en modo de pico) durante 30 días. Los conejillos de indias de control se alojaron en una habitación separada sin exposición a los campos electromagnéticos de un teléfono celular. Se recogieron muestras de sangre a través de una punción cardíaca y se extrajeron los cerebros después de la decapitación para el análisis bioquímico al final de los 30 días del período experimental. Se encontró que el nivel de MDA aumentó ($P < 0,05$), el nivel de GSH y la actividad de la enzima CAT disminuyeron ($P < 0,05$), y los niveles de vitaminas A, E y D (3) no cambiaron ($P > 0,05$) en los tejidos cerebrales de los conejillos de indias expuestos a los campos electromagnéticos. Además, los niveles de MDA, vitaminas A, D (3) y E, y la actividad de la enzima CAT aumentaron ($P < 0,05$), y el nivel de GSH disminuyó ($P < 0,05$) en la sangre de los conejillos de indias expuestos a los campos electromagnéticos. Se concluyó que el campo electromagnético emitido por el teléfono celular podría producir estrés oxidativo en el tejido cerebral de los conejillos de indias. Sin embargo, se necesitan más estudios para demostrar si estos efectos son dañinos o afectan las funciones neuronales.

(NE) Mohler E, Frei P, Braun-Fahrlander C, Fröhlich J, Neubauer G, Röösli M; Equipo Qualifex. Efectos de la exposición diaria a campos electromagnéticos de radiofrecuencia sobre la calidad del sueño: un estudio transversal. Radiat Res. 174(3):347-356, 2010. (HU, SL)

El objetivo de este estudio transversal fue investigar la asociación entre la exposición a diversas fuentes de campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM de RF) en el entorno cotidiano y la calidad del sueño, que es un problema de salud pública común. Evaluamos los trastornos del sueño y la somnolencia diurna autoinformados en una muestra aleatoria de población de 1.375 habitantes del área de Basilea, Suiza. La exposición a los CEM de RF de campo lejano ambientales se predijo para cada individuo utilizando un modelo de predicción que se había desarrollado y

Validado previamente. El uso de teléfonos inalámbricos y móviles autoinformado, así como los datos objetivos del operador de telefonía móvil durante los 6 meses anteriores, también se consideraron en los análisis. En los modelos de regresión multivariable, ajustados para los factores de confusión relevantes, no se observaron asociaciones entre la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia de campo lejano ambientales y alteraciones del sueño o somnolencia diurna excesiva. El 10% de los participantes más expuestos tenía un riesgo estimado de alteraciones del sueño de 1,11 (IC del 95%: 0,50 a 2,44) y de somnolencia diurna excesiva de 0,58 (IC del 95%: 0,31 a 1,05). Ni el uso de teléfonos móviles ni el de teléfonos inalámbricos se asociaron con una disminución de la calidad del sueño. Los resultados de este gran estudio transversal no indicaron un deterioro de la calidad subjetiva del sueño debido a la exposición a diversas fuentes de campos electromagnéticos de radiofrecuencia en la vida cotidiana.

(NE) Mohler E, Frei P, Fröhlich J, Braun-Fahländer C, Rössli M; Equipo QUALIFEX. Exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia y calidad del sueño: un estudio de cohorte prospectivo. Más uno. 7(5):e37455, 2012. (HU, SL)

Antecedentes: Existe una preocupación pública persistente sobre las alteraciones del sueño debido a la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF). El objetivo de este estudio de cohorte prospectivo fue investigar si la calidad del sueño se ve afectada por el uso del teléfono móvil u otras fuentes de RF-EMF en el entorno cotidiano. MÉTODOS: Realizamos un estudio de cohorte prospectivo con 955 participantes del estudio de edades comprendidas entre 30 y 60 años. La calidad del sueño y la somnolencia diurna se evaluaron mediante cuestionarios estandarizados en mayo de 2008 (línea de base) y mayo de 2009 (seguimiento). También preguntamos sobre el uso de teléfonos móviles e inalámbricos y solicitamos a los participantes del estudio su consentimiento para obtener sus datos de conexión de teléfono móvil de los operadores de telefonía móvil. La exposición a RF-EMF ambiental se calculó para cada participante del estudio utilizando un modelo de predicción previamente desarrollado y validado. En una muestra anidada de 119 participantes del estudio, la exposición a RF-EMF se midió en el dormitorio y se recopilaron datos sobre el comportamiento del sueño mediante actigrafía durante dos semanas. Los datos se analizaron utilizando modelos de regresión multivariable ajustados para factores de confusión relevantes. RESULTADOS: En los análisis longitudinales, ni el uso del teléfono móvil registrado por el operador ni el auto-reportado se asoció con trastornos del sueño o somnolencia diurna. Además, la exposición a RF-EMF ambientales no afectó la calidad del sueño auto-reportada. Los resultados de los análisis longitudinales se confirmaron en el estudio del sueño anidado con exposición registrada objetivamente y datos medidos del comportamiento del sueño.

CONCLUSIONES: No encontramos evidencia de efectos adversos sobre la calidad del sueño por la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia en nuestro entorno cotidiano.

(E) Mohammed HS, Fahmy HM, Radwah NM, Elsayed AA. Efectos de los campos de radiación electromagnética modulada y continua no térmica en el EEG del sueño de ratas. J Adv Res 4(2) 181-187, 2013. (ES, CE, EE, SL, WS)

En el presente estudio, se investigó la alteración del EEG del sueño en ratas debido a la exposición crónica a radiación electromagnética no térmica de bajo nivel. Se utilizaron dos tipos de campos de radiación; onda no modulada de 900 MHz y onda modulada de 900 MHz a 8 y 16 Hz. Los animales estuvieron expuestos a campos de radiación durante 1 mes (1 h/día). Los análisis espectrales de potencia del EEG de los animales expuestos y de control durante el sueño de ondas lentas (SWS) y el sueño de movimientos oculares rápidos (sueño REM) revelaron que el sueño REM es más susceptible a los campos de radiación de radiofrecuencia modulada (RFR) que el SWS. La latencia del sueño REM aumentó debido a la exposición a la radiación, lo que indica una

Cambios en el ritmo ultradiano de los ciclos normales de sueño. Se propuso el efecto acumulativo e irreversible de la exposición a la radiación y se sugirió la interacción de la radiación de frecuencia extremadamente baja con frecuencias de EEG similares.

(E) Mojez MR, Gaeini AA, Choobineh S, Sheykhloovand M. Estrés oxidativo hipocampal inducido por radiación electromagnética de radiofrecuencia y efectos neuroprotectores del ejercicio aeróbico en ratas: un ensayo controlado aleatorio. *J Phys Act Health* 25 de octubre de 2021;1-7. doi: 10.1123/jpah.2021-0213. En línea antes de su publicación impresa. (AS, CE, CC, OX)

Antecedentes: El presente estudio determinó si 4 semanas de ejercicio aeróbico moderado mejora la capacidad antioxidante en el cerebro de ratas contra el estrés oxidativo causado por la radiación electromagnética de radiofrecuencia emitida por los teléfonos celulares. Métodos: Se examinaron las respuestas de malondialdehído, catalasa, glutatión peroxidasa y superóxido dismutasa, así como el número de células muertas del hipocampo. Las ratas Wistar macho (10-12 semanas de edad) fueron asignadas aleatoriamente a 1 de 4 grupos (N = 8): (1) ejercicio aeróbico moderado (EXE) (2 × 15-30 min a 1215 m/min de velocidad con 5 min de recuperación activa entre series), (2) exposición a ondas electromagnéticas de radiofrecuencia de 900/1800 MHz 3 horas al día (RAD), (3) EXE + RAD, y (4) exposición a un teléfono experimental sin batería. Resultados: Después de la exposición, el número de células muertas del hipocampo fue significativamente mayor en el grupo RAD en comparación con los grupos EXE, EXE + RAD y el grupo de control. La concentración de malondialdehído en el grupo RAD fue significativamente mayor que la de los grupos EXE, EXE + RAD y el grupo de control. Además, la actividad de la catalasa, la glutatión peroxidasa y la superóxido dismutasa en los grupos EXE, EXE + RAD y el grupo de control fue significativamente mayor en comparación con las del grupo de exposición. Conclusión: Este estudio demostró que el ejercicio aeróbico moderado mejora la capacidad antioxidante del hipocampo contra el desafío oxidativo en forma de radiación electromagnética de radiofrecuencia. ondas.

(E) Moretti D, Garenne A, Haro E, Poullétier de Gannes F, Lagroye I, Lévêque P, Veyret B, Lewis N. Exposición in vitro de redes neuronales a la señal GSM-1800. *Bioelectromagnetism*. 34(8):571-578, 2013. (CS, EE)

El sistema nervioso central es el objetivo más probable de la exposición a los campos de radiofrecuencia (RF) de la telefonía móvil en términos de efectos biológicos. Varios estudios de electroencefalografía (EEG) han informado de variaciones en el espectro de potencia de la banda alfa durante y/o después de la exposición a RF, en EEG en reposo y durante el sueño. En este contexto, la observación de la actividad eléctrica espontánea de las redes neuronales bajo exposición a RF puede ser una herramienta eficaz para detectar la aparición de efectos de RF de bajo nivel en el sistema nervioso. Nuestro grupo de investigación ha desarrollado una configuración experimental dedicada en el rango de GHz para la exposición simultánea de redes neuronales y la monitorización de la actividad eléctrica. Se utilizó una célula electromagnética transversal (TEM) para exponer las redes neuronales a señales GSM-1800 a un nivel de SAR de 3,2 W/kg. El registro de la actividad eléctrica neuronal y la detección de picos y ráfagas extracelulares bajo exposición se realizaron utilizando conjuntos de microelectrodos (MEA). Este trabajo proporciona

Prueba de viabilidad y resultados preliminares de la investigación integrada en cuanto a la configuración de la exposición, el cultivo de la red neuronal, el registro de la actividad eléctrica y el análisis de las señales obtenidas bajo exposición a RF. En este estudio piloto sobre 16 cultivos, se observó una disminución reversible del 30 % en la tasa de disparo (FR) y la tasa de ráfagas (BR) durante una exposición de 3 minutos a RF.

Se necesitan experimentos adicionales para caracterizar mejor este efecto.

(E) Mortazavi SM, Rouintan MS, Taeb S, Dehghan N, Ghaffarpanah AA, Sadeghi Z, Ghafouri F.

La exposición a corto plazo de los seres humanos a los campos electromagnéticos emitidos por los teléfonos móviles reduce el tiempo de reacción visual asistida por ordenador. Acta Neurol Belg. 112(2):171-175, 2012. (HU, BE)

El drástico aumento mundial del uso de teléfonos móviles ha generado una gran preocupación por los efectos perjudiciales de las radiaciones de microondas emitidas por estos dispositivos de comunicación. El tiempo de reacción desempeña un papel fundamental en la realización de tareas necesarias para evitar peligros. Hasta donde sabemos, este estudio es el primero que informa de una disminución del tiempo de reacción tras la exposición a campos electromagnéticos generados por un teléfono móvil con una alta tasa de absorción específica. También es el primer estudio en el que se tiene en cuenta el historial previo de uso del teléfono móvil. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos agudos y crónicos de los campos electromagnéticos emitidos por los teléfonos móviles en el tiempo de reacción de los estudiantes universitarios. El tiempo de reacción visual (TRV) de los jóvenes universitarios se registró con una sencilla prueba de TRV asistida por ordenador a ciegas, antes y después de una exposición real/simulada de 10 minutos a los campos electromagnéticos de los teléfonos móviles. Los participantes fueron 160 estudiantes universitarios diestros de entre 18 y 31 años. Para evaluar el efecto de las exposiciones crónicas, se comparó el tiempo de reacción en fases de exposición simulada entre usuarios de teléfonos móviles de bajo nivel, moderados y frecuentes. El tiempo de reacción medio \pm DE después de la exposición real y la exposición simulada fueron $286,78 \pm 31,35$ ms y $295,86 \pm 32,17$ ms ($P < 0,001$), respectivamente. La edad de los estudiantes no alteró significativamente el tiempo de reacción ni en modo de conversación ni en modo de espera. El tiempo de reacción tanto en modo de conversación como en modo de espera fue más corto en los estudiantes varones. El VRT de los estudiantes se vio afectado significativamente por la exposición a campos electromagnéticos emitidos por un teléfono móvil. Se puede concluir que estas exposiciones causan una disminución del tiempo de reacción, lo que puede conducir a una mejor respuesta a diferentes peligros. En este sentido, este fenómeno podría reducir las posibilidades de errores humanos y accidentes fatales.

(E) Mortazavi SM, Taeb S, Dehghan N. Alteraciones del tiempo de reacción visual y de la memoria a corto plazo en personal de radar militar. Iran J Public Health. 42(4):428-435, 2013. (HU, BE)

ANTECEDENTES: Los transmisores de radar emiten radiación de radiofrecuencia de alta potencia mediante la creación de una corriente eléctrica alterna de alto voltaje y alta frecuencia. MÉTODOS: Se investigaron los efectos sobre la salud de la exposición ocupacional al radar militar. El tiempo de reacción visual se registró con una prueba simple de tiempo de reacción visual asistida por computadora a ciegas. Para evaluar la memoria a corto plazo, se realizó una prueba de escala de memoria de Wechsler modificada. RESULTADOS: La media \pm DE del tiempo de reacción en los trabajos de radar ($N = 100$) y el grupo de control ($N = 57$) fueron $238,58 \pm 23,47$ milisegundos y $291,86 \pm 28,26$ milisegundos ($P < 0,0001$), respectivamente. Las puntuaciones de amplitud de dígitos hacia adelante en las obras de radar y el grupo de control fueron $3,56 \pm 0,77$ y $4,29 \pm 1,06$ ($P < 0,0001$), mientras que las puntuaciones de amplitud de dígitos hacia atrás en las obras de radar y el grupo de control fueron $2,70 \pm 0,69$.

y 3,62 +/- 0,95 (P<0,0001). Las puntuaciones de reconocimiento de palabras en las obras de radar y el grupo de control fueron 3,37 +/- 1,13 y 5,86 +/- 1,11 (P<0,0001). Finalmente, las puntuaciones de palabras pareadas en las obras de radar y el grupo de control fueron 13,56 +/- 1,78 y 15,21 +/- 2,20 (P<0,0001). Se puede concluir que las exposiciones ocupacionales a las radiaciones de radar disminuyen el tiempo de reacción, lo que puede conducir a una mejor respuesta a diferentes peligros. CONCLUSIÓN: Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que muestra que la exposición ocupacional a la radiación de microondas de radar conduce a una disminución del tiempo de reacción y al menor rendimiento de la memoria a corto plazo. En conjunto, estos resultados indican que la exposición ocupacional a las radiaciones de microondas de radar puede estar relacionada con algunos efectos no perjudiciales y perjudiciales para la salud.

(E) Motawi TK, Darwish HA, Moustafa YM, Labib MM. Modificaciones bioquímicas y daño neuronal en el cerebro de ratas jóvenes y adultas después de una exposición prolongada a las radiaciones de los teléfonos móviles. Cell Biochem Biophys. 70:845-855, 2014. (AS, CE, CH, CC, OX)

Este estudio investigó el efecto de la exposición a las radiaciones de los teléfonos móviles sobre el estrés oxidativo y la apoptosis en el cerebro de ratas. Las ratas se dividieron en seis grupos (tres jóvenes y tres adultos). Los grupos 1 y 4 no fueron sometidos a la fuente de radiación y sirvieron como grupos de control. En los grupos 2 y 5, los teléfonos móviles solo estaban conectados al sistema global de comunicación móvil, mientras que en los grupos 3 y 6, se utilizó la opción de llamar. Las microondas se generaron mediante un teléfono móvil de prueba (SAR = 1,13 W/kg) durante 60 días (2 h/día). Se evidenciaron incrementos significativos en dienos conjugados, carbonilos proteicos, estado oxidante total e índice de estrés oxidativo junto con una reducción significativa de los niveles de capacidad antioxidante total después de la exposición. La relación Bax/Bcl-2, la actividad de la caspasa-3 y el nivel del factor de necrosis tumoral alfa aumentaron, mientras que no se detectó fragmentación del ADN. El peso relativo del cerebro de las ratas jóvenes se vio muy afectado y el examen histopatológico reforzó el daño neuronal.

El estudio destaca los efectos nocivos de las radiaciones de los teléfonos móviles sobre el cerebro en edades jóvenes y adultas. La interacción de estas radiaciones con el cerebro se produce mediante la disipación de su estado antioxidante y/o el desencadenamiento de la muerte celular apoptótica.

(E) Movvahedi MM, Tavakkoli-Golpayegani A, Mortazavi SA, Haghani M, Razi Z, Shojaie-Fard MB, Zare M, Mina E, Mansourabadi L, Nazari-Jahromi, Safari A, Shokrpour N, Mortazavi SM.
¿La exposición a la radiación de los teléfonos móviles GSM de 900 MHz afecta la memoria a corto plazo de los estudiantes de primaria? J Pediatr Neurosci. 9(2):121-124, 2014. (HU, BE)

ANTECEDENTES: Hoy en día, los niños están expuestos a la radiación de los teléfonos móviles a una edad muy temprana. Hemos demostrado previamente que una gran proporción de niños en la ciudad de Shiraz, Irán, utilizan teléfonos móviles. Además, hemos indicado que el tiempo de reacción visual (TRV) de los estudiantes universitarios se vio afectado significativamente por una exposición real/simulada de 10 minutos a los campos electromagnéticos emitidos por el teléfono móvil. Descubrimos que estas exposiciones redujeron el tiempo de reacción, lo que podría conducir a una mejor respuesta a diferentes peligros. También hemos revelado que las exposiciones ocupacionales a las radiaciones de radar redujeron el tiempo de reacción en los trabajadores del radar. El propósito de este estudio fue investigar si la exposición a corto plazo de los estudiantes de primaria a la radiación de radiofrecuencia (RF) conduce a cambios en su tiempo de reacción y memoria a corto plazo.

MATERIALES Y MÉTODOS: Se utilizaron 60 niños de educación primaria de edades comprendidas entre 8 y 10 años.

En este estudio se inscribieron niños que habían estudiado en una escuela primaria pública de Shiraz (Irán) durante años. Se administraron pruebas estandarizadas basadas en computadora de VRT y memoria a corto plazo (modificadas para niños). Se pidió a los estudiantes que realizaran algunas pruebas preliminares de orientación con la prueba VRT. Después de la orientación, para reducir la variación aleatoria de las mediciones, cada prueba se repitió diez veces en las fases de exposición real y simulada. El intervalo de tiempo entre las dos fases de exposición simulada y real posteriores fue de 30 minutos. RESULTADOS: Los tiempos de reacción medios \pm desviación estándar después de un período de conversación de 10 minutos y después de un período de exposición simulada de 10 minutos (móvil apagado) fueron $249,0 \pm 82,3$ ms y $252,9 \pm 68,2$ ms ($P = 0,629$), respectivamente. Por otra parte, las puntuaciones medias de memoria a corto plazo después de los periodos de exposición a la conversación y a la simulación fueron $1062,60 \pm 305,39$ y $1003,84 \pm 339,68$ ($P = 0,030$), respectivamente.

Conclusión: Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que demuestra que la exposición a corto plazo de estudiantes de escuela primaria a la radiación de RF conduce a un mejor desempeño de su memoria a corto plazo.

(E) Mugunthan N, Shanmugasamy K, Anbalagan J, Rajanarayanan S, Meenachi S. Efectos de la exposición prolongada a la radiación de 900-1800 MHz emitida por un teléfono móvil 2G en el hipocampo de ratones: un estudio histomorfométrico. J Clin Diagn Res. 10(8):AF01-6, 2016. (AS, CE, CC)

INTRODUCCIÓN: El avance en la tecnología de las telecomunicaciones con características multifuncionales añadidas en los teléfonos móviles atrae a más usuarios de todas las edades. Es alarmante observar que el uso de teléfonos móviles ha aumentado entre los niños y que están expuestos a radiaciones de radiofrecuencia potencialmente dañinas a lo largo de su vida. OBJETIVO: Investigar la exposición a largo plazo a radiaciones de 900 a 1800 MHz emitidas por teléfonos móviles 2G en el hipocampo de ratones a nivel histomorfométrico. MATERIALES Y MÉTODOS: Con la debida aprobación del comité de ética animal institucional, 36 ratones fueron expuestos a la radiación de teléfonos móviles 2G, 48 minutos al día durante un período de 30 a 180 días. El grupo de control se mantuvo en condiciones similares sin exposición a 2G. Los ratones fueron sacrificados y se les extrajo el cerebro desde el primer mes hasta el sexto mes. El cerebro se extrajo de la cavidad craneal y la región del hipocampo se diseccionó cuidadosamente y se procesó para el estudio histológico de rutina. Se analizaron secciones seriadas aleatorias bajo microscopio para detectar cambios histomorfométricos. Para el análisis estadístico, se utilizó la prueba t independiente para comparar los grupos de control y expuestos a 2G. RESULTADOS: La densidad media de neuronas en las regiones del hipocampo CA1, CA2 y DGDB del primero al sexto mes fue significativamente menor en los grupos expuestos a 2G; sin embargo, en CA3 y DGVB, los ratones expuestos a 2G mostraron una densidad de neuronas significativamente mayor. El diámetro nuclear medio de las neuronas en la región del hipocampo de CA1, CA2, CA3, DGDB y DGVB del primero al sexto mes mostró un diámetro nuclear menor en los ratones expuestos a 2G. CONCLUSIÓN: La exposición a largo plazo a radiaciones de frecuencia de 900-1800 MHz emitidas por teléfonos móviles 2G podría causar una densidad neuronal significativamente reducida y una disminución del diámetro nuclear en las neuronas del hipocampo de los ratones.

1

(NE) Nakatani-Enomoto S, Furubayashi T, Ushiyama A, Groiss SJ, Ueshima K, Sokejima S, Simba AY, Wake K, Watanabe SI, Nishikawa M, Miyawaki K, Taki M, Ugawa Y. Efectos de

Campos electromagnéticos emitidos por teléfonos móviles tipo W-CDMA durante el sueño en humanos.

Bioelectromagnética. 34:589-598, 2013. (HU,EE,SL)

En este estudio, investigamos los efectos subjetivos y objetivos de los teléfonos móviles que utilizan un sistema de acceso múltiple por división de código de banda ancha (W-CDMA) sobre el sueño humano. Los sujetos fueron 19 voluntarios. Se realizaron exposiciones reales o simuladas a campos electromagnéticos (CEM) durante 3 h antes de su hora de dormir habitual en 3 días consecutivos. Se expusieron a CEM reales en el segundo o tercer día experimental en un diseño doble ciego. La somnolencia y la insuficiencia de sueño se evaluaron a la mañana siguiente. Se registraron polisomnogramas para analizar las variables del sueño y los espectros de potencia de los electroencefalogramas (EEG). No se observaron diferencias significativas entre las dos condiciones en las sensaciones subjetivas. Los parámetros del sueño, incluidos los porcentajes de la etapa del sueño y los espectros de potencia del EEG, no difirieron significativamente entre las exposiciones reales y simuladas. Concluimos que la exposición a CEM de onda continua durante 3 h desde un sistema similar a W-CDMA no tiene efectos detectables sobre el sueño humano.

(NE) Nakatani-Enomoto S, Yamazaki M, Nishiura K, Enomoto H, Ugawa Y. Efectos de los campos electromagnéticos de la evolución a largo plazo en electroencefalogramas despiertos en humanos sanos.

Neurociencia Res. 156:102-107, 25 de enero de 2020. pii: S0168-0102(20)30036-5. (HU, EE)

Los teléfonos móviles son indispensables para la vida diaria, y los efectos adversos del campo electromagnético (CEM) emitido por los teléfonos móviles han sido una gran preocupación. Estudiamos los efectos del CEM similar a la evolución a largo plazo (LTE) durante 30 minutos en un electroencefalograma (EEG) despierto. Treinta y ocho voluntarios sanos, de 20 a 36 años de edad, participaron en este estudio. La SAR local máxima (tasa de absorción específica) promediada sobre 10 g de masa fue de 2,0 W/kg. El EEG se registró antes y después de exposiciones reales o simuladas. Se analizaron los efectos de las condiciones de exposición (reales o simuladas) y el tiempo de registro (antes, durante y después de la exposición) en cada espectro de potencia del EEG de los rangos de frecuencia θ , α y β . Las ondas de banda θ y α se intensificaron después de ambas condiciones de exposición. Estos resultados pueden explicarse por la somnolencia de los participantes durante el registro del EEG en ambas exposiciones. Concluimos que una exposición similar a LTE durante 30 minutos en este estudio no mostró efectos nocivos detectables en los EEG de personas despiertas en humanos sanos.

(E) Narayanan SN, Kumar RS, Potu BK, Nayak S, Mailankot M. Rendimiento de la memoria espacial de ratas Wistar expuestas a un teléfono móvil. Clinics (Sao Paulo). 64(3):231-234, 2009. (AS, CE, BE)

INTRODUCCIÓN: Con el tremendo aumento en el número de usuarios de teléfonos móviles en todo el mundo, los posibles riesgos de esta tecnología se han convertido en una preocupación seria. OBJETIVO: Probamos los efectos de la exposición al teléfono móvil en el rendimiento de la memoria espacial. MATERIALES Y MÉTODOS: Ratas Wistar macho (10-12 semanas de edad) fueron expuestas a 50 llamadas perdidas / día durante 4 semanas desde un teléfono móvil GSM (900/1800 MHz) en modo vibratorio (sin tono de llamada). Después del período experimental, los animales fueron evaluados para el rendimiento de la memoria espacial utilizando la prueba del laberinto acuático de Morris. RESULTADOS: Tanto los animales expuestos al teléfono como los de control mostraron una disminución significativa en la memoria espacial.

Tiempo de escape con entrenamiento. Los animales expuestos al teléfono tuvieron una latencia media significativamente mayor (aproximadamente 3 veces) para alcanzar el cuadrante objetivo y pasaron significativamente menos tiempo (aproximadamente 2 veces) en el cuadrante objetivo que los controles de la misma edad y sexo. CONCLUSIÓN: La exposición al teléfono móvil afectó la adquisición de respuestas aprendidas en ratas Wistar. Esto, a su vez, apunta a la mala navegación espacial y las configuraciones de ubicación de los objetos de los animales expuestos al teléfono.

(E) Narayanan SN, Kumar RS, Potu BK, Nayak S, Bhat PG, Mailankot M. Efecto de las radiaciones electromagnéticas de radiofrecuencia (RF-EMR) en la conducta de evitación pasiva y la morfología del hipocampo en ratas Wistar. Ups J Med Sci. 115(2):91-96, 2010. (AS, CE, ME, BE)

INTRODUCCIÓN: La interacción de la radiación electromagnética de radiofrecuencia de los teléfonos móviles (RF-EMR) con el cerebro es una preocupación seria de nuestra sociedad. OBJETIVO: Evaluamos el efecto de la RF-EMR de los teléfonos móviles sobre el comportamiento de evitación pasiva y la morfología del hipocampo en ratas. MATERIALES Y MÉTODOS: Se expusieron ratas Wistar albinas macho sanas a RF-EMR mediante la realización de 50 llamadas perdidas (en el plazo de 1 hora) por día durante 4 semanas, manteniendo un teléfono móvil GSM (0,9 GHz/1,8 GHz) en modo vibratorio (sin tono de llamada) en la jaula. Después del período experimental, se estudió el comportamiento de evitación pasiva y la morfología del hipocampo. RESULTADOS: El comportamiento de evitación pasiva se vio afectado significativamente en las ratas expuestas a RF-EMR de teléfonos móviles, lo que se demostró como una latencia de entrada más corta al compartimento oscuro en comparación con las ratas de control. También se observaron cambios morfológicos marcados en la región CA(3) del hipocampo de las ratas expuestas al teléfono móvil en comparación con las ratas de control.

CONCLUSIÓN: La exposición a radiofrecuencias electromagnéticas (EMR) de teléfonos móviles alteró significativamente el comportamiento de evitación pasiva y la morfología del hipocampo en ratas.

(E) Narayanan SN, Kumar RS, Paval J, Kedage V, Bhat MS, Nayak S, Bhat PG. Análisis de la emocionalidad y la locomoción en ratas expuestas a radiación electromagnética de radiofrecuencia. Neurol Sci. 34(7):1117-1124, 2013. (Licenciatura, titulación y maestría)

En el presente estudio se evaluó el papel modulador de la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) de los teléfonos móviles sobre la emocionalidad y la locomoción en ratas adolescentes. Se asignaron al azar ratas Wistar albinas macho (de 6 a 8 semanas de edad) a los siguientes grupos con 12 animales en cada grupo. Grupo I (Control): permanecieron en la jaula de la casa durante todo el período experimental. Grupo II (Exposición simulada): estuvieron expuestos al teléfono móvil en modo apagado durante 28 días, y Grupo III (Exposición a RF-EMR): estuvieron expuestos a RF-EMR (900 MHz) de un teléfono móvil GSM (Sistema global para comunicaciones móviles) activo con una densidad de potencia máxima de 146,60 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ durante 28 días. El día 29, se evaluó la emocionalidad y la locomoción de los animales. La prueba del laberinto en cruz elevada (EPM) reveló que el porcentaje de entradas en el brazo abierto, el porcentaje de tiempo empleado en el brazo abierto y la distancia recorrida en el brazo abierto se redujeron significativamente en las ratas expuestas a RF-EMR. La frecuencia de alzarse y la frecuencia de acicalamiento también disminuyeron en las ratas expuestas a RF-EMR. El recuento de bolos de defecación durante la prueba EPM fue mayor en el grupo RF-EMR. No se encontró ninguna diferencia estadísticamente significativa en la distancia total recorrida, las entradas totales en el brazo, el porcentaje de entradas en el brazo cerrado y el índice de paralelismo en las ratas expuestas a RF-EMR en comparación con los controles. Los resultados indican que

La radiación de los teléfonos móviles podría afectar la emocionalidad de las ratas sin afectar la locomoción general.

(E) Narayanan SN, Kumar RS, Kedage V, Nalini K, Nayak S, Bhat PG. Evaluación del estrés oxidativo y la defensa antioxidante en regiones cerebrales discretas de ratas expuestas a radiación de 900 MHz.

Bratisl Lek Listy. 115(5):260-266, 2014. (AS, CE, CH, OX)

OBJETIVO: En el presente estudio, se estudiaron los efectos de la radiación electromagnética de radiofrecuencia de 900 MHz (RF-EMR) sobre los niveles de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), antioxidantes totales (TA) y actividad de glutatión S-transferasa (GST) en regiones cerebrales discretas en ratas adolescentes. MATERIALES Y MÉTODOS: Treinta y seis ratas Wistar macho (de 6 a 8 semanas de edad) se asignaron a tres grupos (n = 12 en cada grupo). El grupo de control (1) permaneció tranquilo en su jaula; el grupo simulado (2) fue expuesto al teléfono móvil en modo apagado durante cuatro semanas; el grupo expuesto a RF-EMR (3) fue expuesto a 900 MHz de RF-EMR (1 h/día con una densidad de potencia máxima de 146,60 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$) de un teléfono móvil GSM (sistema global para comunicaciones móviles) activado (mantenido en modo silencioso; sin tono de llamada y sin vibración) durante cuatro semanas. El día 29 se realizó un análisis de comportamiento. A continuación, se sacrificaron seis animales de cada grupo y se estudiaron los parámetros bioquímicos en la amígdala, el hipocampo, la corteza frontal y el cerebelo. RESULTADOS: Se encontraron alteraciones del comportamiento en las ratas expuestas a RF-EMR.

Además, se encontró un nivel elevado de TBARS en todas las regiones cerebrales estudiadas. La exposición a RF-EMR disminuyó significativamente la TA en la amígdala y el cerebelo, pero su nivel no se modificó significativamente en otras regiones cerebrales. La actividad de GST disminuyó significativamente en el hipocampo, pero su actividad no se alteró en otras regiones cerebrales estudiadas. CONCLUSIÓN: La exposición a RF-EMR durante un mes indujo estrés oxidativo en el cerebro de ratas, pero su magnitud fue diferente en las diferentes regiones estudiadas. El estrés oxidativo inducido por RF-EMR podría ser una de las causas subyacentes de los déficits conductuales observados en ratas después de la exposición a RF-EMR (Fig. 5, Ref. 37).

(E) Narayanan SN, Kumar RS, Karun KM, Nayak SB, Bhat PG. Posible causa de la alteración de la cognición espacial en ratas prepúberes expuestas a radiación electromagnética de radiofrecuencia crónica.

Metab Brain Dis. 30:1193-1206, 2015. (AS, CE, BE, ME)

Se investigaron los efectos de la exposición crónica y repetida a la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RFEMR) sobre la cognición espacial y la arquitectura del hipocampo en ratas prepúberes. Se expusieron ratas Wistar macho de cuatro semanas de edad a RF-EMR (900 MHz; SAR-1,15 W/kg con una densidad de potencia máxima de 146,60 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$) durante 1 h/día, durante 28 días. A continuación, se evaluó la cognición espacial mediante la prueba del laberinto acuático de Morris. Para evaluar la morfología del hipocampo, se realizaron tinciones con H&E, violeta de cresilo y tinción de Golgi-Cox en secciones del hipocampo. Se estudió la morfología de las neuronas piramidales CA3 y el recuento de neuronas supervivientes (en la región CA3) utilizando secciones teñidas con H&E y violeta de cresilo. Se investigó el patrón de arborización dendrítica de las neuronas piramidales CA3 mediante el método del círculo concéntrico. Capacidades de aprendizaje progresivo

Se encontró que la memoria espacial disminuía en las ratas expuestas a RF-EMR. La prueba de retención de memoria realizada 24 h después del último entrenamiento reveló un déficit menor de memoria espacial en el grupo expuesto a RF-EMR.

Sin embargo, las ratas expuestas a RF-EMR exhibieron una pobre retención de memoria espacial cuando se las evaluó 48 h después de la prueba final. Los cuerpos de Hirano y los cuerpos granulovacuolares estaban ausentes en las neuronas piramidales CA3 de los diferentes grupos estudiados. No obstante, la exposición a RF-EMR afectó el recuento de células viables en la región CA3 del hipocampo dorsal. La exposición a RF-EMR influyó en el patrón de arborización dendrítica de los árboles dendríticos apicales y basales en ratas expuestas a RF-EMR. Los cambios estructurales encontrados en el hipocampo de las ratas expuestas a RF-EMR podrían ser una de las posibles razones de la cognición alterada.

(E) Nazıroğlu M, Gümral N. Efectos moduladores de la L-carnitina y el selenio sobre el estrés oxidativo inducido por dispositivos inalámbricos (2,45 GHz) y registros electroencefalográficos en el cerebro de ratas. *Int J Radiat Biol.* 85(8):680-689, 2009. (AS, CE, CH, EE, OX)

OBJETIVO: La radiación electromagnética (REM) de dispositivos inalámbricos puede afectar los sistemas biológicos al aumentar los radicales libres. El presente estudio fue diseñado para determinar los efectos de la REM de 2,45 GHz en el sistema redox antioxidante cerebral y los registros de electroencefalografía (EEG) en ratas. También se probaron los posibles efectos protectores del selenio y la L-carnitina y se compararon con los controles no tratados. MATERIALES Y MÉTODOS: Treinta ratas se dividieron equitativamente en cinco grupos diferentes, a saber: Grupo A (1): Control de jaula, Grupo A (2): Control simulado, grupo B: REM de 2,45 GHz, grupo C: REM de 2,45 GHz + selenio, grupo D: REM de 2,45 GHz + L-carnitina. Los grupos B, C y D fueron expuestos a REM de 2,45 GHz durante 60 min/día durante 28 días. Al final de los experimentos, se tomaron registros de EEG y muestras de la corteza cerebral. RESULTADOS: Las concentraciones de vitamina A ($p < 0,05$), vitamina C ($p < 0,01$) y vitamina E ($p < 0,05$) en la corteza cerebral fueron menores en el grupo B que en el grupo A1 y A2, aunque sus concentraciones aumentaron con la suplementación con selenio y L-carnitina. Los niveles de peroxidación lipídica fueron menores en el grupo C ($p < 0,05$) y D ($p < 0,01$) que en el grupo B, mientras que los niveles de glutatión reducido fueron mayores en el grupo C ($p < 0,05$) que en el grupo A1, A2 y B. Sin embargo, los niveles de β -caroteno no cambiaron en los cinco grupos.

CONCLUSIONES: La L-carnitina y el selenio parecen tener efectos protectores sobre la disminución de las vitaminas inducida por la frecuencia de 2,45 GHz al apoyar el sistema redox antioxidante. La L-carnitina parece tener un efecto más protector sobre las concentraciones de vitaminas que el selenio.

(E) Nazıroğlu M, Çelik Ö, Özgül C, Çiğ B, Doğan S, Bal R, Gümral N, Rodríguez AB, Pariente JA.

La melatonina modula la lesión oxidativa inducida por radiofrecuencia (2,45 GHz) a través de TRPM2 y canales de Ca^{2+} dependientes del voltaje en el cerebro y el ganglio de la raíz dorsal de ratas. *Physiol Behav.*

105(3):683-692, 2012. (AS, CE, CH, EE, OX)

Nuestro objetivo fue investigar los efectos protectores de la melatonina y la radiación electromagnética de 2,45 GHz (REM) sobre el sistema redox antioxidante de las neuronas del cerebro y del ganglio de la raíz dorsal (DRG), el influjo de Ca^{2+} , la viabilidad celular y los registros de electroencefalografía (EEG) en ratas. Treinta y dos ratas se dividieron equitativamente en cuatro grupos diferentes, a saber, grupo A1: control en jaula, grupo A2: simulación

control, grupo B: 2,45 GHz EMR, grupo C: 2,45 GHz EMR + melatonina. Los grupos B y C fueron expuestos a 2,45 GHz EMR durante 60 min/día durante 30 días. Al final de los experimentos, se tomaron registros de EEG y muestras de la corteza cerebral y del DRG. Los valores de peroxidación lipídica (LP), viabilidad celular y Ca^{2+} citosólico en las neuronas del DRG fueron mayores en el grupo B que en los grupos A1 y A2, aunque sus concentraciones aumentaron con la melatonina, 2-aminoetildifenil borinato (2-APB), suplementación con diltiazem y verapamilo. El número de picos de los registros de EEG en el grupo C fue menor que en el grupo B. La concentración de vitamina E en la corteza cerebral fue mayor en el grupo C que en el grupo B. En conclusión, la suplementación con melatonina en las neuronas DRG y el cerebro parece tener efectos protectores sobre el aumento inducido por 2,45 GHz del influjo de Ca^{2+} , los registros de EEG y la viabilidad celular de la hormona a través de TRPM2 y los canales de Ca^{2+} dependientes del voltaje.

(NE) Nazıroğlu M, Ozkan FF, Hapil SR, Ghazizadeh V, Ciğ B. La epilepsia, pero no la frecuencia de los teléfonos móviles (900 MHz), induce la apoptosis y la entrada de calcio en el hipocampo de ratas epilépticas: participación de los canales TRPV1. J Membr Biol. 248:83-91, 2015.] (CS, CC, IA)

Se ha informado que la radiación electromagnética (REM) y la epilepsia median la regulación de la apoptosis y el estrés oxidativo a través del influjo de Ca^{2+} . Los resultados de informes recientes indicaron que la REM puede aumentar la temperatura y el estrés oxidativo de las células corporales, y el canal TRPV1 se activa por el calor nocivo, el estrés oxidativo y la capsaicina (CAP). Investigamos los efectos de la exposición a la REM de teléfonos móviles (900 MHz) en el influjo de Ca^{2+} , la apoptosis, el estrés oxidativo y las activaciones del canal TRPV1 en el hipocampo de ratas epilépticas inducidas con pentilene-tetrazol (PTZ). En el estudio se utilizaron neuronas hipocámpales recién aisladas de veintiún ratas en tres grupos, a saber, control, PTZ y PTZ + REM. Las neuronas de los tres grupos fueron estimuladas por CAP.

La epilepsia se indujo mediante la administración de PTZ. Las neuronas del grupo PTZ + EMR se expusieron a la EMR de 900 MHz durante 1 h. Los valores de apoptosis, despolarización de la membrana mitocondrial, especies reactivas de oxígeno (ROS) intracelulares y caspasa-3 y caspasa-9 fueron mayores en los grupos PTZ y PTZ + EMR que en el control. Sin embargo, la EMR no añadió efectos de aumento adicionales en los valores en las neuronas del hipocampo. Las concentraciones de Ca^{2+} libre intracelular en los análisis de fura-2 también fueron mayores en el grupo PTZ + CAP que en el control, aunque sus concentraciones disminuyeron con el bloqueador del canal TRPV1, capsazepina. Sin embargo, no hubo cambios estadísticos en las concentraciones de Ca^{2+} entre los grupos de epilepsia y EMR. En conclusión, la apoptosis, la mitocondria, las ROS y el influjo de Ca^{2+} a través del canal TRPV1 aumentaron en las neuronas del hipocampo mediante la inducción de la epilepsia, aunque el teléfono móvil no cambió los valores. Los resultados indicaron que los canales TRPV1 en el hipocampo podrían ser un nuevo objetivo eficaz para la epilepsia.

(E) Ning W, Xu SJ, Chiang H, Xu ZP, Zhou SY, Yang W, Luo JH. Efectos de GSM 1800 MHz en el desarrollo dendrítico de neuronas hipocámpales cultivadas. Acta Pharmacol Sin. 28(12):1873-

1880, 2007. (Escuela, Ciencias, Ingeniería, Ingeniería Mecánica)

OBJETIVO: Evaluar los efectos de las microondas GSM de 1800 MHz sobre los filopodios dendríticos, la arborización dendrítica y la maduración de las espinas durante el desarrollo de neuronas hipocámpales cultivadas en ratas. MÉTODOS: Las neuronas hipocámpales cultivadas se expusieron a microondas GSM de 1800 MHz con 2,4 y 0,8 W/kg, respectivamente, durante

15 min cada día desde 6 días in vitro (DIV6) hasta DIV14. Las estructuras sutiles de las dendritas se mostraron mediante la transfección con proteína fluorescente verde mejorada farnesilada (F-GFP) y GFP-actina en DIV5 en las neuronas del hipocampo. RESULTADOS: Hubo una disminución significativa en la densidad y movilidad de los filopodios dendríticos en DIV8 y en la densidad de espinas maduras en DIV14 en las neuronas expuestas a microondas GSM 1800 MHz con 2,4 W/kg. Además, la longitud promedio de las dendritas por neurona en DIV10 y DIV14 disminuyó, mientras que la arborización dendrítica no se alteró en estas neuronas. Sin embargo, no se encontraron cambios significativos en las neuronas expuestas a las microondas GSM 1800 MHz con 0,8 W/kg. CONCLUSIÓN: Estos datos indican que la exposición crónica a microondas GSM 1800 MHz de 2,4 W/kg durante la etapa temprana del desarrollo puede afectar el desarrollo dendrítico y la formación de sinapsis excitatorias de neuronas del hipocampo en cultivo.

(E) Nirwane A, Sridhar V, Majumdar A. Cambios neuroconductuales y estrés oxidativo cerebral inducidos por la exposición aguda a las radiaciones de teléfonos móviles GSM 900 en el pez cebra (Danio rerio). Toxicol Res. 32(2):123-132, 2016. (AS, CE, BE, OX)

El impacto de la radiación de los teléfonos móviles (MP) en el cerebro es de especial interés para la comunidad científica y justifica investigaciones, ya que el MP se sostiene cerca de la cabeza. Los estudios en humanos y roedores revelaron peligros asociados a la radiación de MP, como tumores cerebrales, deterioro cognitivo, auditivo, etc. La melatonina (MT) es un modulador importante del funcionamiento del SNC y es una hormona antioxidante neuronal. El pez cebra se ha convertido en un organismo modelo popular para los estudios del SNC. En este trabajo, evaluamos el impacto de la exposición a la radiación GSM900MP (GSM900MP) diariamente durante 1 hora durante 14 días con una SAR de 1,34 W/Kg sobre los parámetros neuroconductuales y de estrés oxidativo en el pez cebra. Nuestro estudio reveló que la exposición a la radiación GSM900MP redujo significativamente el tiempo pasado cerca de la zona de estímulo social y aumentó la distancia total recorrida, en la prueba de interacción social. En la nueva prueba de buceo en tanque, la exposición a la radiación GSM900MP provocó ansiedad, como lo reveló el aumento significativo del tiempo pasado en la mitad inferior; episodios de congelación y duración y disminución de la distancia recorrida, la velocidad promedio y el número de entradas a la mitad superior del tanque. Los peces cebra expuestos pasaron menos tiempo en el nuevo brazo del laberinto en Y, lo que corroboró un deterioro significativo en el aprendizaje en comparación con el grupo de control. La exposición disminuyó las actividades de superóxido dismutasa (SOD) y catalasa (CAT), mientras que se encontraron mayores niveles de glutatión reducido (GSH) y peroxidación lipídica (LPO), lo que mostró una defensa antioxidante comprometida. El tratamiento con MT revirtió significativamente los trastornos neuroconductuales y oxidativos anteriores inducidos por la exposición a la radiación GSM900MP. Este estudio rastreó las aberraciones neuroconductuales inducidas por la exposición a la radiación GSM900MP y las alteraciones en el estado oxidativo cerebral. Además, MT demostró ser un candidato terapéutico prometedor para mejorar dichos resultados en el pez cebra.

(E) Nittby H, Widegren B, Krogh M, Grafström G, Berlin H, Rehn G, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BRR, Salford L. La exposición a la radiación del sistema global de comunicaciones móviles a 1.800 MHz modifica significativamente la expresión génica en el hipocampo y la corteza de ratas. Environmentalist 28(4), 458-465, 2008. (AS, CH, LI)

Hemos demostrado anteriormente que los campos electromagnéticos de radiofrecuencia pueden causar una fuga significativa de albúmina a través de la barrera hematoencefálica de ratas expuestas en comparación con ratas no expuestas, y también un daño neuronal significativo en cerebros de ratas varias semanas después de una exposición de 2 h a un teléfono móvil, a 915 MHz con una modulación de frecuencia del sistema global para comunicaciones móviles (GSM), a valores de tasa de absorción específica (SAR) de cuerpo entero de 200, 20, 2 y 0,2 mW/kg. Ahora hemos estudiado si 6 h de exposición a la radiación de un teléfono móvil de prueba GSM a 1.800 MHz (a un valor SAR de cuerpo entero de 13 mW/kg, correspondiente a un valor SAR cerebral de 30 mW/kg) tiene un efecto sobre el patrón de expresión génica en la corteza cerebral de ratas y el hipocampo, áreas en las que hemos observado fuga de albúmina desde los capilares hacia las neuronas y daño neuronal. Se realizó un análisis de microarrays de 31.099 genes de rata, incluidas las variantes de empalme, en la corteza y el hipocampo de 8 ratas Fischer 344, 4 animales expuestos a campos electromagnéticos del sistema global para comunicaciones móviles durante 6 h en una cámara anecoica, una rata a la vez, y 4 controles mantenidos durante el mismo tiempo en la misma cámara anecoica sin exposición, también en este caso una rata a la vez. El análisis de ontología génica (utilizando las categorías de ontología génica procesos biológicos, funciones moleculares y componentes celulares) de los genes expresados diferencialmente de los animales expuestos frente al grupo de control reveló las siguientes categorías de genes alterados altamente significativos tanto en la corteza como en el hipocampo: región extracelular, actividad del transductor de señales, intrínseco a la membrana e integral a la membrana. El hecho de que la mayoría de estas categorías estén conectadas con funciones de membrana puede tener una relación con nuestra observación anterior del transporte de albúmina a través de los capilares cerebrales.

(E) Nittby H, Grafström G, Tian DP, Malmgren L, Brun A, Persson BR, Salford LG, Eberhardt J. Deterioro cognitivo en ratas después de una exposición prolongada a la radiación del teléfono móvil GSM-900. Bioelectromagnetismo. 29(3):219-232, 2008. (AS, CE, BE, LI)

Teniendo en cuenta el uso frecuente de teléfonos móviles, hemos centrado nuestra atención en las posibles implicaciones sobre las funciones cognitivas. En este estudio, investigamos en un modelo de rata los efectos a largo plazo de la exposición prolongada a la radiación del Sistema Global para Comunicaciones Móviles de 900 MHz (GSM-900). De un total de 56 ratas, 32 estuvieron expuestas durante 2 h cada semana durante 55 semanas a la radiación electromagnética de radiofrecuencia a diferentes niveles de SAR (0,6 y 60 mW/kg al inicio del período experimental) emitida por un teléfono de prueba (GSM-900). Dieciséis animales fueron expuestos simuladamente y ocho animales fueron controles de jaula, que nunca salieron de la casa de los animales. Después de esta exposición prolongada, las ratas expuestas al GSM-900 se compararon con los controles expuestos simuladamente. Los efectos sobre la conducta exploratoria se evaluaron en la prueba de campo abierto, en la que no se observaron diferencias. Los efectos sobre las funciones cognitivas se evaluaron en la prueba de memoria episódica. En nuestro estudio, las ratas expuestas a GSM tenían una memoria deteriorada para los objetos y su orden temporal de presentación, en comparación con los controles expuestos simuladamente (P = 0,02). La detección del lugar en el que se presentó un objeto no se vio afectada por la exposición a GSM. Nuestros resultados sugieren funciones de memoria significativamente reducidas en ratas después de la exposición a microondas GSM (P = 0,02).

(E) Nittby H, Brun A, Eberhardt J, Malmgren L, Persson BR, Salford LG. Aumento de la permeabilidad de la barrera hematoencefálica en el cerebro de mamíferos 7 días después de la exposición a la radiación de un teléfono móvil GSM-900. Fisiopatología. 16(2-3):103-112, 2009. (AS, ME, LI)

Las microondas fueron producidas por primera vez por el ser humano en 1886, cuando se transmitieron y recibieron ondas de radio. Hasta entonces, las microondas sólo habían existido como parte de la radiación cósmica de fondo desde el nacimiento del universo. Debido a la utilización posterior de las microondas en la comunicación telegráfica, los radares, la televisión y, sobre todo, en la tecnología moderna de telefonía móvil, la humanidad está expuesta hoy en día a microondas a un nivel de hasta 10 (20) veces la radiación de fondo original desde el nacimiento del universo. Nuestro grupo ha demostrado anteriormente que la radiación electromagnética emitida por los teléfonos móviles altera la permeabilidad de la barrera hematoencefálica (BHE), lo que da lugar a una extravasación de albúmina inmediatamente y 14 días después de 2 horas de exposición.

En la sección de antecedentes de este informe, presentamos una revisión exhaustiva de la literatura sobre los efectos demostrados (o la falta de efectos) de la exposición a microondas sobre la barrera hematoencefálica. Además, hemos continuado nuestros propios estudios investigando los efectos de la radiación de los teléfonos móviles GSM sobre la permeabilidad de la barrera hematoencefálica de ratas 7 días después de una ocasión de 2 horas de exposición. Cuarenta y ocho ratas fueron expuestas en células TEM durante 2 h a tasas de absorción específica no térmica (SAR) de 0 mW/kg, 0,12 mW/kg, 1,2 mW/kg, 12 mW/kg y 120 mW/kg. Se evaluaron la extravasación de albúmina a través de la BHE, la captación neuronal de albúmina y el daño neuronal. La extravasación de albúmina aumentó en las ratas expuestas al teléfono móvil en comparación con los controles simulados después de este período de recuperación de 7 días (prueba de probabilidad exacta de Fisher, $p = 0,04$ y Kruskal-Wallis, $p = 0,012$), al valor SAR de 12 mW/kg (Mann-Whitney, $p = 0,007$) y con una tendencia al aumento de la extravasación de albúmina también a los valores SAR de 0,12 mW/kg y 120 mW/kg. Se observó una correlación baja, pero significativa, entre el nivel de exposición (valor SAR) y la aparición de extravasación focal de albúmina ($r(s)=0,33$; $p=0,04$). Los resultados actuales coinciden con nuestros estudios anteriores en los que hemos observado un aumento de la permeabilidad de la BHE inmediatamente y 14 días después de la exposición. En este artículo, analizamos los resultados actuales, así como los resultados anteriores de alteración de la permeabilidad de la BHE obtenidos en nuestro laboratorio y en otros laboratorios.

(E) Nittby H, Moghadam MK, Sun W, Malmgren L, Eberhardt J, Persson BR, Salford LG.

Efectos analgésicos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia GSM-1900 no térmicos en el caracol terrestre *Helix pomatia*. *Int J Radiat Biol.* 88(3):245-252, 2012. (AS, BE, MA, LI)

OBJETIVO: Investigar si la radiación de los teléfonos móviles podría afectar a la nocicepción de los caracoles, empleando campos electromagnéticos (CEM) de radiofrecuencia (RF) que, hasta donde sabemos, no se han estudiado hasta ahora en un modelo de caracol. Sin embargo, se ha demostrado que la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF) afecta significativamente las respuestas nociceptivas. MATERIALES Y MÉTODOS: En el presente estudio, expusimos 29 caracoles terrestres de la cepa *Helix pomatia* a campos electromagnéticos del sistema global para comunicaciones móviles (GSM) a 1900 MHz al nivel no térmico de 48 mW/kg durante 1 hora cada uno y 29 caracoles fueron controles simulados. Los experimentos se llevaron a cabo durante el inicio del verano, y todos los caracoles estaban fuera de la hibernación. Antes y después de la exposición al GSM o a la exposición simulada, los caracoles fueron sometidos a dolor térmico colocándolos sobre una placa caliente. El tiempo de reacción para la retracción de la placa caliente fue medido por dos observadores ciegos.

RESULTADOS: Al comparar el patrón de reacción de cada caracol antes y después de la exposición, los caracoles expuestos a GSM fueron menos sensibles al dolor térmico en comparación con los controles simulados, lo que indica que la exposición a RF induce una analgesia significativa ($p < 0,001$ en la prueba de Mann-Whitney). CONCLUSIÓN: Este estudio podría respaldar hallazgos anteriores que describen efectos beneficiosos de la exposición a campos electromagnéticos sobre la nocicepción.

(E) Noor NA, Mohammed HS, Ahmed NA, Radwan NM. Variaciones en los neurotransmisores de aminoácidos en algunas áreas cerebrales de ratas albinas macho adultas y jóvenes debido a la exposición a la radiación de los teléfonos móviles. Eur Rev Med Pharmacol Sci. 15(7):729-742, 2011. (AS, CE, CH, AD)

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS: Se han planteado preocupaciones sobre la salud y la radiación de los teléfonos móviles, especialmente tras el enorme aumento del uso de la telefonía móvil inalámbrica en todo el mundo. El presente estudio tiene como objetivo investigar el efecto de una hora diaria de exposición a la radiación electromagnética (REM) con una frecuencia de 900 Mz (SAR 1,165 w/kg, densidad de potencia 0,02 mW/cm²) sobre los niveles de neurotransmisores de aminoácidos en el mesencéfalo, el cerebelo y la médula de ratas albinas macho adultas y jóvenes. MATERIALES Y MÉTODOS: Las ratas adultas y jóvenes se dividieron en dos grupos principales (tratadas y control). El grupo tratado de ratas adultas y jóvenes se expuso a la REM durante 1 hora diaria. El otro grupo de animales adultos y jóvenes sirvió como control. La determinación de los niveles de aminoácidos se llevó a cabo después de 1 hora, 1 mes, 2 meses y 4 meses de exposición a la REM, así como después de suspender la radiación. RESULTADOS: Los datos del presente estudio mostraron un aumento significativo de los aminoácidos excitatorios e inhibidores en el cerebelo de ratas adultas y jóvenes y en el mesencéfalo de animales adultos después de 1 hora de exposición a EMR. En el mesencéfalo de animales adultos, hubo un aumento significativo en el nivel de glicina después de 1 mes seguido de un aumento significativo en GABA después de 4 meses. Las ratas jóvenes mostraron disminuciones significativas en los aminoácidos excitatorios del mesencéfalo. En la médula, los cálculos del porcentaje de razón de equilibrio (ER%) mostraron un estado de inhibición neuroquímica después de 4 meses en el caso de animales adultos, mientras que en animales jóvenes, el estado inhibitor neuroquímico se observó después de 1 mes de exposición debido a una disminución significativa en los niveles de glutamato y aspartato. Este estado se convirtió en excitación después de 4 meses debido al aumento del nivel de glutamato. CONCLUSIÓN: Los cambios actuales en las concentraciones de aminoácidos pueden ser la base de los efectos adversos informados del uso de teléfonos móviles.

(E) Ntzouni MP, Stamatakis A, Stylianopoulou F, Margaritis LH. La radiación de los teléfonos móviles afecta la memoria a corto plazo en ratones. Fisiopatología. 18(3):193-199, 2011. (AS, CE, BE)

Los efectos de los campos electromagnéticos (CEM) de los teléfonos móviles se estudiaron en una tarea de memoria no espacial (Object Recognition Task - ORT) que requiere la función de la corteza entorinal. La tarea se aplicó a tres grupos de ratones *Mus musculus* C57BL/6 (expuestos, expuestos simuladamente y control) combinados con 3 protocolos diferentes de exposición a la radiación. En el primer protocolo denominado "exposición aguda", los ratones de 45 días de edad (PND45 - día postnatal 45) fueron expuestos a la radiación del teléfono móvil (MP) (valor SAR 0,22 W/kg) durante las sesiones de habituación, entrenamiento y prueba de la ORT, pero no durante el intervalo entre ensayos de 10 minutos (ITI) donde tiene lugar la consolidación de la información del objeto almacenada. En el segundo protocolo denominado "exposición crónica-I", los mismos ratones fueron expuestos durante 17 días durante 90 minutos/por día a partir del PND55 a la misma radiación del MP. La memoria de reconocimiento de ORT se realizó en el PND72 con radiación presente solo durante la fase ITI. En el tercer protocolo, denominado "exposición crónica II", los ratones continuaron expuestos diariamente en las mismas condiciones hasta el día 86 posnatal tras haber recibido radiación durante 31 días. Un día después se realizó la prueba ORT sin irradiación presente en ninguna de las sesiones. Los índices de discriminación derivados de ORT en los tres protocolos de exposición revelaron un efecto importante en la "exposición crónica-I", lo que sugiere una posible interacción grave de los CEM con el

Fase de consolidación de los procesos de memoria de reconocimiento. Esto puede implicar que el objetivo principal de los campos electromagnéticos puede ser la vía de transferencia de información que conecta las regiones entorrinal-parahipocampal que participan en la tarea de memoria ORT.

(E) Ntzouni MP, Skouroliakou A, Kostomitsopoulos N, Margaritis LH. Alteraciones transitorias y acumulativas de la memoria inducidas por la señal de un teléfono celular GSM de 1,8 GHz en un modelo de ratón. *Electromagn Biol Med.* 32:95-102, 2013. (AS, CE, BE)

Este estudio fue diseñado para investigar los deterioros transitorios y acumulativos en la memoria espacial y no espacial de ratones C57Bl/6J expuestos a una señal GSM de 1,8 GHz durante 90 minutos diarios mediante un teléfono celular (móvil) típico a un valor de tasa de absorción específico de 0,11 W/kg. Se irradiaron ratones machos de 2 meses de edad que se movían libremente en dos protocolos experimentales, con una duración de 66 y 148 días respectivamente. Cada protocolo utilizó tres grupos de animales (n = 8 para cada uno de los expuestos, los expuestos simulados y los controles) en combinación con dos paradigmas conductuales, la tarea de reconocimiento de objetos y la tarea de ubicación de objetos aplicadas secuencialmente en diferentes puntos temporales. El análisis de varianza unidireccional reveló deterioros estadísticamente significativos de ambos tipos de memoria. Los efectos de la exposición se acumulan gradualmente y tienen efectos más pronunciados en la memoria espacial. Los deterioros persistieron incluso dos semanas después de la interrupción de la exposición diaria de ocho semanas, mientras que la memoria de los ratones detectada por ambas tareas mostró una recuperación completa aproximadamente un mes después. La exposición intermitente cada dos días durante un mes no tuvo efecto en ambos tipos de memoria. Los datos sugieren que los mecanismos de procesamiento de la información visual en el hipocampo y la corteza peririnal y entorrinal están funcionando mal gradualmente con la exposición diaria a largo plazo, un fenotipo que persiste durante al menos dos semanas después de la interrupción de la radiación, volviendo a los niveles normales de rendimiento de la memoria cuatro semanas después. Se postula que los mecanismos de reparación celular están funcionando para eliminar las moléculas que afectan la memoria. Se discute la contribución general de varios mecanismos posibles a los deterioros acumulativos y transitorios observados en la memoria espacial y no espacial.

(NE) Nylund R, Kuster N, Leszczynski D. Análisis de la respuesta del proteoma a la radiación del teléfono móvil en dos tipos de células endoteliales primarias humanas. *Proteome Sci.* 8:52, 2010. (CS, CH, WS)

ANTECEDENTES: El uso de teléfonos móviles ha aumentado considerablemente durante la última década. Sin embargo, a pesar de la amplia investigación, la cuestión de los posibles efectos sobre la salud de la radiación de los teléfonos móviles sigue sin respuesta. Hemos propuesto y aplicado anteriormente la proteómica como herramienta para estudiar los efectos biológicos de la radiación de los teléfonos móviles, utilizando como modelo la línea de células endoteliales humanas EA.hy926. La exposición de las células EA.hy926 a la radiación GSM de 900 MHz ha provocado cambios estadísticamente significativos en la expresión de numerosas proteínas. Sin embargo, la exposición de las células EA.hy926 a la señal GSM de 1800 MHz tuvo un efecto muy pequeño sobre el proteoma celular, en comparación con la exposición a la señal GSM de 900 MHz. En el presente estudio, utilizando como modelo células endoteliales primarias humanas, hemos examinado si la exposición a la radiación de los teléfonos móviles GSM de 1800 MHz puede afectar al proteoma celular. RESULTADOS: Las células endoteliales primarias de la vena umbilical humana y las células endoteliales microvasculares primarias del cerebro humano se expusieron durante 1 hora a la radiación de un teléfono móvil GSM de 1800 MHz a una tasa de absorción específica promedio de 2,0 W/kg. Las células se recolectaron

inmediatamente después de la exposición y los patrones de expresión de proteínas de las células expuestas simuladas y expuestas a la radiación se examinaron utilizando proteómica basada en electroforesis en gel de diferencia bidimensional (2DE-DIGE). Se observaron numerosas diferencias entre los proteomas de las células endoteliales de la vena umbilical humana y las células endoteliales microvasculares del cerebro humano (ambas expuestas simuladamente). Estas diferencias probablemente representan diferencias fisiológicas entre los endotelios en diferentes lechos vasculares. Sin embargo, la exposición de ambos tipos de células endoteliales primarias a la radiación del teléfono móvil no causó ningún cambio estadísticamente significativo en la expresión de proteínas. CONCLUSIONES: La exposición de células endoteliales humanas primarias a la radiación del teléfono móvil, señal GSM de 1800 MHz durante 1 hora a una tasa de absorción específica promedio de 2,0 W/kg, no afecta la expresión de proteínas, cuando los proteomas se examinaron inmediatamente después del final de la exposición y cuando se aplicó la corrección de la tasa de descubrimiento falso al análisis. Esta observación concuerda con nuestro estudio anterior que muestra que la exposición a la radiación GSM de 1800 MHz tuvo solo un efecto muy limitado sobre el proteoma de la línea de células endoteliales humanas EA.hy926, en comparación con el efecto de la radiación GSM de 900 MHz.

(NE) O'Connor RP, Madison SD, Leveque P, Roderick HL, Bootman MD. La exposición a campos de radiofrecuencia GSM no afecta la homeostasis del calcio en células endoteliales humanas, células de feocromocitoma de rata o neuronas del hipocampo de rata. PLoS One. 5(7):e11828, 2010. (CS, CC, CH)

En el transcurso de la vida diaria moderna, las personas están expuestas a numerosas fuentes de radiación electromagnética que no están presentes en el entorno natural. La intensidad de los campos electromagnéticos de fuentes como secadores de pelo, pantallas de ordenador y otros dispositivos eléctricos es modesta. Sin embargo, en muchos entornos domésticos y de oficina, las personas pueden experimentar una exposición perpetua a un "smog electromagnético", con picos ocasionales de intensidad de campo electromagnético relativamente alta. Esto ha dado lugar a preocupaciones de que dicha radiación pueda afectar a la salud. En particular, las emisiones de los teléfonos móviles o las antenas de telefonía móvil se han invocado como una fuente potencial de radiación electromagnética patológica. Informes anteriores han sugerido que la homeostasis del calcio celular (Ca^{2+}) se ve afectada por los tipos de campos de radiofrecuencia emitidos por los teléfonos móviles. En el presente estudio, utilizamos una plataforma de imágenes de alto rendimiento para monitorear los posibles cambios en el Ca^{2+} celular durante la exposición de las células a campos GSM de 900 MHz de diferente potencia (tasa de absorción específica de 0,012-2 W/Kg), imitando así el tipo de radiación emitida por los teléfonos móviles actuales. Los datos de las células que experimentaron los campos GSM de 900 Mhz se compararon con los datos obtenidos a partir de experimentos pareados utilizando campos de onda continua o sin campo. Empleamos tres tipos de células (células endoteliales humanas, neuroblastoma PC-12 y neuronas hipocampales primarias) que previamente se había sugerido que eran sensibles a los campos de radiofrecuencia. Los experimentos se diseñaron para examinar los supuestos efectos de los campos de radiofrecuencia sobre el Ca^{2+} en reposo, además de las señales de Ca^{2+} evocadas por un $\text{InsP}(3)$ -agonista generador de Ca^{2+} . Además, examinamos los supuestos efectos de la exposición al campo de radiofrecuencia en el vaciado del depósito de Ca^{2+} y la entrada de Ca^{2+} operada por el depósito después de la aplicación del inhibidor de la Ca^{2+} ATPasa thapsigargin. Se analizaron múltiples parámetros (por ejemplo, amplitud máxima, señal integrada de Ca^{2+} , tasas de recuperación) para explorar el impacto potencial de la exposición al campo de radiofrecuencia en las señales de Ca^{2+} . Nuestros datos indican que los campos GSM de 900 MHz no afectan ni a la homeostasis basal de Ca^{2+} ni a las señales de Ca^{2+} provocadas. Incluso con las intensidades de campo más altas aplicadas, que

exceder los niveles típicos de exposición al teléfono, no observamos ningún cambio en las señales celulares de Ca²⁺. Concluimos que en las condiciones empleadas en nuestros experimentos y utilizando un ensayo altamente sensible, no pudimos detectar ninguna consecuencia de la exposición a RF.

(E) Odaci E, Bas O, Kaplan S. Efectos de la exposición prenatal a un campo electromagnético de 900 MHz en el giro dentado de ratas: un estudio estereológico e histopatológico. Brain Res. 1238:224-229, 2008. (ES, CE, DE, ME)

Los campos electromagnéticos (CEM) inhiben la formación y diferenciación de células madre neurales durante el desarrollo embrionario. En este estudio, se investigaron los efectos de la exposición prenatal a CEM en la cantidad de células granulares en el giro dentado de ratas de 4 semanas de edad. Este experimento utilizó un grupo de control (Cont) y un grupo expuesto a CEM (CEM) (tres ratas preñadas cada grupo). El grupo CEM consistió en seis crías (n = 6) de ratas preñadas que fueron expuestas a un CEM de hasta 900 megahercios (MHz) durante 60 min/día entre el primer y el último día de gestación. El grupo de control consistió en cinco crías (n = 5) de ratas preñadas que no fueron tratadas en absoluto. Las crías fueron sacrificadas cuando tenían 4 semanas de edad. La cantidad de células granulares en el giro dentado se analizó utilizando la técnica del fraccionador óptico. Los resultados mostraron que la exposición prenatal a campos electromagnéticos provocó una disminución en el número de células granulares en el giro dentado de las ratas (P<0,01). Esto sugiere que la exposición prenatal a un campo electromagnético de 900 MHz afecta el desarrollo de las células granulares del giro dentado en el hipocampo de la rata. La pérdida de células podría estar causada por una inhibición de la neurogénesis de las células granulares en el giro dentado.

(E) Odacı E, İkinci A, Yıldırım M, Kaya H, Akça M, Hancı H, Sönmez OF, Aslan A, Okuyan M, Baş O. Los efectos del campo electromagnético de 900 megahercios aplicado en el período prenatal sobre la morfología de la médula espinal y el comportamiento motor en crías de rata hembra. NeuroQuantology 11:573-581, 2013. (AS, CE, DE, BE, ME)

Este estudio investigó el efecto de un campo electromagnético (CEM) de 900 megahercios (MHz) aplicado en el período prenatal sobre la médula espinal y el comportamiento motor de las crías de rata hembra. Al comienzo del estudio, se dejó que ratas Sprague Dawley hembra (180–250 g) se aparearan con ratas macho. Las ratas identificadas como preñadas se dividieron en grupos de control (n = 3) y CEM (n = 3). El grupo CEM fue expuesto a CEM de 900 MHz durante 1 hora al día entre los días 13 y 21 de embarazo. A los 21 días de edad, las crías de rata fueron separadas de sus madres y divididas en dos grupos de ratas recién nacidas, control (n = 13) y CEM (n = 10). Se aplicó la prueba de rotarod a las crías de rata para evaluar las funciones motoras y la prueba de campo abierto para evaluar la actividad locomotora. El día 32 del estudio, las crías de rata fueron decapitadas y se les extrajo la médula espinal en la región torácica superior.

Tras las pruebas histológicas de rutina, se tiñeron con violeta rápido de cresilo. Los resultados de la prueba Rotarod revelaron un aumento significativo de las funciones motoras de las crías de rata del grupo EMF (p = 0,037). Sin embargo, no se observaron diferencias en los resultados de la prueba de campo abierto (p>0,05). En las crías de rata del grupo EMF, observamos cambios patológicos en la médula espinal. Sobre la base de nuestros resultados, los EMF de 900 MHz aplicados en el período prenatal afectaron el desarrollo de la médula espinal. Este efecto fue

Se observó en forma de cambios patológicos en la médula espinal de crías de rata, y es posible que estos cambios patológicos condujeran a un aumento de las actividades motoras de las crías de rata.

(E) Odacı E, Hancı H, İkinci A, Sönmez OF, Aslan A, Şahin A, Kaya H, Çolakoğlu S, Baş O.

La exposición materna a un campo electromagnético continuo de 900 MHz provoca pérdida neuronal y cambios patológicos en el cerebelo de crías de ratas hembra de 32 días de edad. J Chem Neuroanat. 75(Pt B):105-110, 2016. (AS, CE, ME)

Un gran número de personas están expuestas sin saberlo a campos electromagnéticos (CEM) de dispositivos inalámbricos. Existe evidencia de un desarrollo cerebeloso alterado en asociación con la exposición prenatal a CEM. Sin embargo, todavía no se dispone de suficiente información sobre los efectos de la exposición a CEM de 900 megahercios (MHz) durante el período prenatal en el desarrollo cerebeloso posnatal posterior. Este estudio se planificó para investigar el cerebelo de crías de rata hembra de 32 días de edad después de la exposición a CEM de 900 MHz durante el período prenatal utilizando métodos de evaluación estereológica e histopatológica. Las ratas preñadas se dividieron en grupos de control, simulado y CEM. Las ratas preñadas del grupo CEM (PEMFG) fueron expuestas a CEM de 900 MHz durante 1 hora dentro de una jaula CEM durante los días 13 a 21 de embarazo. Las ratas preñadas del grupo simulado (PSG) también fueron colocadas dentro de la jaula CEM durante los días 13 a 21 de embarazo durante 1 hora, pero no fueron expuestas a ningún CEM. No se realizó ningún procedimiento en las ratas del grupo de control preñadas (PCG). Las ratas del grupo de control (CG) recién nacidas se obtuvieron de las madres PCG, las ratas del grupo de simulación (SG) recién nacidas del PSG y las ratas del grupo EMF (EMFG) recién nacidas de las ratas PEMFG. Los cerebelos de las ratas hembras recién nacidas se extrajeron el día 32 posnatal. El número de células de Purkinje se estimó estereológicamente y también se realizaron evaluaciones histopatológicas en secciones cerebelosas. El número total de células de Purkinje calculado mediante análisis estereológico fue significativamente menor en EMFG en comparación con CG ($p < 0,05$) y SG ($p < 0,05$). Además, se observaron algunos cambios patológicos, como neuronas picnóticas con citoplasma oscuro en secciones de EMFG bajo microscopio óptico. En conclusión, los resultados de nuestro estudio muestran que la exposición prenatal a los campos electromagnéticos afecta el desarrollo de las células de Purkinje en el cerebelo de ratas hembra y que las consecuencias de este efecto patológico persisten después del período posnatal.

(NE) Ogawa K, Nabae K, Wang J, Wake K, Watanabe S, Kawabe M, Fujiwara O, Takahashi S, Ichihara T, Tamano S, Shirai T. Efectos de la exposición gestacional a señales W-CDMA de 1,95 GHz para teléfonos celulares IMT-2000: Falta de embriotoxicidad y teratogenicidad en ratas. Bioelectromagnetismo. 30(3):205-212, 2009. (AS, CE, DE)

El presente estudio fue diseñado para evaluar si la exposición gestacional a un campo electromagnético dirigido a la región de la cabeza, similar a la de los teléfonos celulares, podría afectar la embriogénesis en ratas. Se empleó una señal de acceso múltiple por división de código (W-CDMA) de banda ancha de 1,95 GHz, que se aplica para el sistema de Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (IMT-2000) y se utiliza para la libertad de acceso multimedia móvil (FOMA), para la exposición a las cabezas de cuatro grupos de ratas IGS CD(SD) preñadas (20 por grupo) durante los días de gestación 7 a 17. La exposición se realizó durante 90 min/día por la mañana. La tasa de absorción específica promedio espacial (SAR) para

Los cerebros individuales se diseñaron para tener 0,67 y 2,0 W/kg con SAR cerebrales máximos de 3,1 y 7,0 W/kg para exposiciones bajas (grupo 3) y altas (grupo 4), respectivamente, y un SAR promedio de cuerpo entero menor a 0,4 W/kg para no causar efectos térmicos debido al aumento de la temperatura.

También se incluyeron grupos de exposición de control y simulada. En el día 20 de gestación, se sacrificó a todas las madres y se extrajeron los fetos mediante cesárea. No hubo diferencias en el aumento de peso corporal materno. No se observaron efectos adversos de la exposición a los CEM en ningún parámetro reproductivo o embriotóxico, como el número de fetos vivos (243-271), los embriones muertos o reabsorbidos, el peso de la placenta, la proporción de sexos, el peso o las anomalías externas, viscerales o esqueléticas de los fetos vivos.

(NE) Okano T, Terao Y, Furubayashi T, Yugeta A, Hanajima R, Ugawa Y. El efecto del campo electromagnético emitido por un teléfono móvil en el control inhibitorio de las sacudidas. *Clínica Neurofisiol.* 121(4):603-611, 2010. (HU, PE)

OBJETIVO: Investigar si la exposición a un campo electromagnético pulsado de alta frecuencia (CEM pulsado) emitido por un teléfono móvil tiene efectos a corto plazo en el control inhibitorio de los movimientos sacádicos. MÉTODOS: Se empleó un diseño de estudio cruzado, doble ciego y contrabalanceado.

Evaluamos el desempeño de 10 sujetos normales en tareas de antisacadas (AS) y sacadas señaladas (CUED), así como dos tipos de tareas de sacadas superpuestas (OL1, OL2) antes y después de 30 minutos de exposición a campos electromagnéticos emitidos por un teléfono móvil o exposición simulada. RESULTADOS: Después de la exposición a campos electromagnéticos o exposición simulada, observamos un acortamiento leve pero significativo de la latencia en las tareas CUED y OL2. La amplitud de los movimientos sacádicos disminuyó, así como las velocidades de los movimientos sacádicos en las tareas AS, CUED y OL1 después de la exposición. Estos cambios ocurrieron independientemente de si la exposición fue real o simulada. Las frecuencias de los movimientos sacádicos pro-sacádicos en la tarea AS, los movimientos sacádicos a la señal en la tarea CUED y los movimientos sacádicos iniciados prematuramente en la tarea de superposición (OL2) no cambiaron significativamente después de la exposición real o simulada a campos electromagnéticos. CONCLUSIONES: Treinta minutos de exposición al teléfono móvil no tienen un efecto significativo a corto plazo sobre el control inhibitorio de los movimientos sacádicos. SIGNIFICADO: El procesamiento cortical responsable de la inhibición de los movimientos sacádicos no se ve afectado por la exposición a campos electromagnéticos emitidos por un teléfono móvil.

(E) Othman H, Ammari M, Sakly M, Abdelmelek H. Efectos de la exposición prenatal a la señal WiFi (2,45 GHz) en el desarrollo y el comportamiento posnatal en ratas: influencia de la restricción materna. *Behav Brain Res.* 326:291-302, 2017. (AS, CE, DE, BE, OX)

El presente estudio se llevó a cabo para investigar la posible influencia combinada del estrés de la restricción materna y la exposición a la señal WiFi de 2,45 GHz en el desarrollo y el comportamiento posnatal de las crías de ratas expuestas. Se asignaron aleatoriamente 24 ratas Wistar albinas preñadas a cuatro grupos: grupo de control, grupo expuesto a WiFi, grupo restringido y grupo expuesto a WiFi y grupo restringido. Cada uno de la exposición a WiFi y la restricción se produjo 2 h/día durante la gestación hasta el parto. Se evaluó el desarrollo físico y la maduración neuromotora de las crías. Además, también se determinaron la prueba del laberinto en cruz elevada, la actividad en campo abierto y la prueba de la viga estacionaria en los días posnatales 28, 30 y 31, respectivamente. Después de las pruebas de comportamiento, las ratas fueron anestesiadas y se les extrajo el cerebro para realizar un análisis bioquímico. Nuestros principales hallazgos no mostraron efectos perjudiciales en el progreso de la gestación y los resultados en el parto en todos los grupos. Posteriormente, el WiFi y la restricción, per se y principalmente en conjunto, alteraron el desarrollo físico de las crías con ligeras diferencias entre los géneros.

En términos conductuales, la irradiación WiFi gestacional, la restricción y, especialmente, el tratamiento asociado afectaron la maduración neuromotora, principalmente en la progenie masculina. En la edad adulta, notamos ansiedad, déficit motor y deterioro del comportamiento exploratorio en la progenie masculina coexpuesta a la radiación WiFi y la restricción, y en la progenie femenina sometida a tres tratamientos. La investigación bioquímica mostró que los tres tratamientos produjeron estrés oxidativo global en el cerebro de ambos sexos. En cuanto a la bioquímica sérica, se alteraron los niveles de fósforo, magnesio, glucosa, triglicéridos y calcio. En conjunto, la radiación WiFi prenatal y la restricción, solas y combinadas, provocaron varios deterioros conductuales y bioquímicos tanto en la edad juvenil como adulta de la progenie.

(E) Ouadah NS, Blazy K, Villégier AS Efecto de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en la sensibilidad térmica en ratas. Int J Environ Res Public Health 2020 18 de octubre; 17 (20): 7563. (AS, CE, BE, CH)

La Organización Mundial de la Salud y la Agencia Francesa de Seguridad Sanitaria (ANSES) reconocen que el dolor y el sufrimiento expresados por las personas con síndrome de hipersensibilidad a los campos electromagnéticos (EHS) son una realidad vivida que requiere adaptaciones de la vida diaria para afrontarla. Los mecanismos que involucran a los receptores glutamatérgicos N-metil D-aspartato (NMDA) aún no se han explorado, a pesar de su posible papel en la hipersensibilidad a las sustancias químicas. Aquí, planteamos la hipótesis de que las exposiciones a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) pueden afectar la percepción del dolor bajo un papel modulador desempeñado por el receptor NMDA. Las ratas fueron expuestas a RF-EMF durante cuatro semanas (cinco veces a la semana, a 0 (simulación), 1,5 o 6 W/kg en sujeción) o fueron controles de jaula (CC). Una vez a la semana, recibieron una inyección de NMDA o solución salina antes de ser calificadas por su preferencia entre dos platos en la prueba de elección de dos temperaturas: 50 °C (nocicepción térmica) versus 28 °C. Los resultados en las ratas CC y en las ratas simuladas indicaron que la latencia para escapar del calor se redujo significativamente en un -45% después de la NMDA, en comparación con el tratamiento con solución salina. La evitación del calor aumentó significativamente en un +40% en los grupos expuestos a 6 W/kg, en comparación con los grupos expuestos al tratamiento simulado. El efecto de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia se eliminó después del tratamiento con NMDA. En conclusión, la evitación del calor fue mayor después de una alta tasa de absorción específica promedio en el cerebro, lo que brinda más respaldo al posible efecto de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Es necesario realizar más estudios para confirmar estos datos.

(E) Özgür A, Tümkaya L, Terzi S, Kalkan Y, Erdivanlı ÖÇ, Dursun E. Efectos de la exposición crónica a ondas electromagnéticas en el sistema auditivo. Acta otorrinolaringol. 135:765-770, 2015. (COMO, CE, YO)

OBJETIVOS: Se han realizado numerosas investigaciones sobre los riesgos de la exposición a los campos electromagnéticos que se producen durante el uso de estos dispositivos, especialmente los efectos sobre la audición. El objetivo de este estudio es evaluar los efectos de las ondas electromagnéticas emitidas por los teléfonos móviles a través de métodos electrofisiológicos e histológicos. **MÉTODOS:** Se incluyeron en el estudio doce ratas albinas Wistar adultas. Las ratas se dividieron en dos grupos de seis ratas. El grupo de estudio estuvo expuesto a las ondas electromagnéticas durante un período de 30 días. El grupo de control no estuvo expuesto a los campos electromagnéticos. Después de completar la aplicación de las ondas electromagnéticas, se registraron las respuestas auditivas del tronco encefálico de ambos grupos bajo anestesia. La degeneración de los núcleos cocleares fue calificada por dos histólogos diferentes, ambos ciegos a la información del grupo. **RESULTADOS:** El análisis histopatológico e inmunohistoquímico mostró signos de degeneración neuronal, como aumento de la vacuolización en el núcleo coclear, apariencia de células picnóticas y edema en el grupo expuesto a los campos electromagnéticos en comparación con el grupo control. La latencia media de onda en el ABR fue similar en ambos grupos ($p > 0,05$). **CONCLUSIÓN:** Los resultados apoyan que la exposición crónica a campos electromagnéticos puede causar daño al conducir a la degeneración neuronal del sistema auditivo.

(E) Pakhomov A, Bojarinova J, Cherbunin R, Chetverikova R, Grigoryev PS, Kavokin K, Kobylkov D, Lubkovskaja R, Chernetsov N. Un campo magnético oscilante muy débil altera la brújula magnética de las aves cantoras migratorias. *JR Soc Interface*. Agosto de 2017;14(133). pii: 20170364. doi: 10.1098/rsif.2017.0364. (AS, LI, BE)

Anteriormente, se ha demostrado que las currucas migratorias de larga distancia (*Sylvia borin*) se desorientaban en presencia de un campo magnético oscilante de banda estrecha (OMF de 1,403 MHz, 190 nT) durante la migración de otoño. Esto concuerda con los datos de experimentos previos con petirrojos europeos (*Erithacus rubecula*). En este estudio, informamos de los resultados de experimentos con currucas migratorias probados bajo un OMF de 1,403 MHz con varias amplitudes (0,4, 1, 2,4, 7 y 20 nT).

Descubrimos que la capacidad de las currucas zarceras para orientarse en arenas circulares utilizando la brújula magnética podría verse alterada por un campo oscilante muy débil, como un OMF de aproximadamente 2,4, 7 y 20 nT, pero no por un OMF con una amplitud de aproximadamente 0,4 nT. Los resultados del presente estudio indican que el umbral de sensibilidad de la brújula magnética al OMF se encuentra alrededor de 2-3 nT, mientras que en experimentos con petirrojos europeos, las aves se desorientaron en un OMF de 15 nT pero pudieron elegir la dirección migratoria apropiada cuando se agregó un OMF de 5 nT al campo magnético estacionario. El modelo de pares radicales, una de las teorías principales de la magnetorrecepción aviar, no puede explicar la sensibilidad a un OMF de tan baja intensidad y, por lo tanto, necesita un mayor refinamiento.

(E) Panda NK, Jain R, Bakshi J, Munjal S. Trastornos audiológicos en usuarios de teléfonos móviles a largo plazo. *J Otolaryngol Head Neck Surg*. 39(1):5-11, 2010. (HU, CE, PE)

INTRODUCCIÓN: Existe una preocupación general sobre los posibles efectos nocivos para la salud de la exposición a la radiación electromagnética de radiofrecuencia emitida por los teléfonos móviles. Este estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos de la exposición crónica a las ondas electromagnéticas emitidas por los teléfonos móviles del Sistema Global para la Comunicación Móvil (GSM) sobre las funciones auditivas. **MATERIAL Y MÉTODOS:** Se llevó a cabo un estudio retrospectivo, transversal, aleatorizado, de casos y controles en un hospital de atención terciaria. Ciento doce sujetos que eran usuarios de teléfonos móviles a largo plazo (más de 1 año) y 50 controles que nunca habían utilizado un teléfono móvil se sometieron a una serie de investigaciones audiológicas que incluyeron audiometría de tonos puros (tanto de voz como de alta frecuencia), timpanometría, otoemisiones acústicas por productos de distorsión, respuestas cerebrales auditivas y respuestas de latencia media. Se estudiaron los cambios en los diversos parámetros en los oídos de los sujetos que usaban y no usaban teléfonos móviles y en los oídos correspondientes de los controles para determinar los efectos de la exposición electromagnética. **RESULTADOS:** No hubo diferencias significativas entre los usuarios y los controles para ninguno de los parámetros audiológicos. Sin embargo, se observaron tendencias hacia anomalías audiológicas entre los usuarios. Se observó pérdida de alta frecuencia y ausencia de otoemisiones acústicas de productos de distorsión con un aumento en la duración del uso del teléfono móvil, uso excesivo de teléfonos móviles y edad superior a 30 años. Además, los usuarios con algunas quejas durante el uso del teléfono móvil demostraron ausencia de otoemisiones acústicas de productos de distorsión y anomalías en la respuesta auditiva del tronco encefálico. **CONCLUSIÓN:** El uso prolongado e intensivo del teléfono móvil puede causar daño al oído interno. Se necesitaría un tamaño de muestra grande para llegar a conclusiones definitivas.

(E) Panda NK, Modi R, Munjal S, Virk RS. Cambios auditivos en usuarios de dispositivos móviles: ¿hay evidencias disponibles? *Otolaryngol Head Neck Surg.* 144(4):581-585, 2011. (HU, CE, PE)

OBJETIVO: Existe una preocupación genuina por los posibles riesgos para la salud que plantea la exposición a frecuencias electromagnéticas secundarias al uso de teléfonos móviles. Este estudio se realizó para evaluar y comparar los posibles cambios en la función auditiva a nivel del oído interno y la vía auditiva central debido a la exposición crónica a ondas electromagnéticas provenientes del sistema global de comunicaciones móviles (GSM) y del acceso múltiple por división de código (CDMA). **DISEÑO:** Estudio de cohorte. **ESCENARIO:** Centro de referencia terciario. **SUJETOS Y MÉTODOS:** Ciento veinticinco sujetos que eran usuarios de teléfonos móviles a largo plazo (más de 1 año; 63 GSM y 62 CDMA) y 58 controles que nunca habían utilizado teléfonos móviles se sometieron a investigaciones audiológicas que incluyeron audiometría de tonos puros (250-12 kHz), timpanometría, otoemisiones acústicas por productos de distorsión (DPOAE), resonancia magnética cerebral auditiva (RMC). Respuestas de latencia media (ABR) y respuestas de latencia media (MLR). Se estudiaron los cambios en varios parámetros en los oídos de sujetos GSM y CDMA que usaban y no usaban dispositivos móviles y en los oídos correspondientes de los controles para determinar los efectos de la exposición electromagnética. **RESULTADOS:** Se encontró que los usuarios de GSM y CDMA tenían un riesgo significativamente mayor de ausencia de DPOAE en comparación con los controles ($P < .05$). Se encontró que tenían umbrales de frecuencia del habla más altos y amplitudes de onda MLR y Na y Pa más bajas. Más de 3 años de uso de teléfonos móviles El uso de teléfonos móviles GSM y CDMA resultó ser un factor de riesgo ($P < .05$). El daño fue bilateral y la magnitud del daño fue la misma para GSM y CDMA. **CONCLUSIÓN:** El uso prolongado e intensivo de teléfonos móviles GSM y CDMA puede causar daños en la cóclea y en la corteza auditiva.

(E) Papageorgiou CC, Hountala CD, Maganioti AE, Kyprianou MA, Rabavilas AD, Papadimitriou GN, Capsalis CN. Efectos de las señales de wifi en el componente p300 de los potenciales relacionados con eventos durante una tarea de hayling auditiva. *J Integr Neurosci*. 10(2):189-202, 2011 (HU, EE)

Se cree que el componente P300 de los potenciales relacionados con eventos (PRE) es un indicador de la atención y la operación de la memoria de trabajo (MT) del cerebro. El presente estudio se centró en los posibles efectos relacionados con el género de los campos electromagnéticos (CEM) de Wi-Fi (Wireless Fidelity) en estos procesos. Se investigó a quince sujetos masculinos y quince femeninos, emparejados por edad y nivel educativo, mientras realizaban una versión modificada de la prueba de finalización de oraciones de Hayling ajustada para inducir la MT. Los PRE se registraron en 30 electrodos del cuero cabelludo, tanto sin como con exposición a una señal de Wi-Fi. Se encontró que los valores de amplitud de P300 en 18 electrodos eran significativamente más bajos en la condición de inhibición de respuesta que en las condiciones de inicio de respuesta y de referencia. Independientemente del efecto anterior, dentro de la condición de inhibición de respuesta también hubo un efecto significativo de interacción de la radiación X de género manifestado en 15 derivaciones por amplitudes P300 reducidas de los hombres en comparación con los sujetos femeninos solo en presencia de CEM. En conclusión, los hallazgos actuales sugieren que la exposición a Wi-Fi puede ejercer alteraciones relacionadas con el género en la actividad neuronal asociada con la cantidad de recursos atencionales involucrados durante una prueba lingüística ajustada para inducir memoria de trabajo.

(NE) Paporini A, Rossi P, Gianfranceschi G, Brugaletta V, Falsaperla R, De Luca P, Romano Spica V. No hay evidencia de cambios transcripcionales importantes en el cerebro de ratones expuestos a una señal GSM de 1800 MHz. *Bioelectromagnetismo*. 29(4):312-323, 2008. (AS, CH)

Para analizar los posibles efectos de las microondas en la expresión génica, se expuso a ratones a una señal GSM de 1800 MHz durante 1 h con una SAR corporal total de 1,1 W/kg. Se estudió la expresión génica en todo el cerebro, donde la SAR media fue de 0,2 W/kg, mediante microarreglos de expresión que contenían más de 22.600 conjuntos de sondas. La comparación de los datos de los animales expuestos y los sometidos a tratamiento simulado no mostró diferencias significativas en la modulación de la expresión génica.

Sin embargo, cuando se adoptaron restricciones menos estrictas para analizar los resultados de la micromatriz, se encontró que 75 genes se modulaban después de la exposición. Cuarenta y dos sondas mostraron cambios de pliegues que oscilaban entre 1,5 y 2,8, mientras que 33 se regularon a la baja entre 0,67 y 0,29 veces, pero estas diferencias en la expresión génica no se confirmaron mediante PCR en tiempo real. En estas condiciones limitadas específicas, no se encontró ninguna indicación consistente de modulación de la expresión génica en el cerebro completo del ratón asociada a la exposición a GSM 1800 MHz.

(E) Parazzini M, Ravazzani P, Tognola G, Thuróczy G, Molnar FB, Sacchetti A, Ardesi G, Mainardi LT. Campos electromagnéticos producidos por teléfonos celulares GSM y variabilidad de la frecuencia cardíaca. *Bioelectromagnetismo*. 28(2):122-129, 2007. (HU, PE)

En este estudio, 26 voluntarios jóvenes sanos fueron sometidos a exposición a teléfonos celulares GSM de 900 MHz (2 W) y a exposición simulada en sesiones separadas. El estudio fue diseñado para evaluar el mecanismo regulador cardíaco en diferentes estados del sistema nervioso autónomo (SNA) durante la exposición a campos electromagnéticos de baja intensidad. Se aplicó un protocolo de reposo a bipedestación para evaluar el SNA en condiciones de tranquilidad (reposo, prevalencia vagal) y después de una activación simpática (bipedestación). El procedimiento es

Se realizó dos veces en un diseño doble ciego: una vez con una exposición genuina a EMF y otra con una exposición simulada (al menos con 24 h de diferencia). Durante cada sesión se registraron electrocardiogramas de tres derivaciones y se extrajeron series RR fuera de línea. Se calcularon los parámetros de HRV de dominio temporal y de dominio de frecuencia en cada fase del protocolo y durante diferentes exposiciones. El análisis de los datos muestra que no hubo un efecto estadísticamente significativo debido a la exposición a EMF tanto en el principal (es decir, RR medio) como en la mayoría de los otros parámetros de HRV. Se observó una interacción débil entre algunos parámetros de HRV (es decir, SDNN, TINN e índice triangular en el dominio temporal y potencia LF en el análisis del dominio de frecuencia) y la exposición a RF y este efecto parece estar reunido alrededor de la respuesta simpática a ponerse de pie.

(NE) Parazzini M, Sibella F, Lutman ME, Mishra S, Moulin A, Sliwiska-Kowalska M, Woznicka E, Politanski P, Zmyslony M, Thuroczy G, Molnár F, Kubinyi G, Tavartkiladze G, Bronyakin S, Uloziene I, Uloza V, Gradauskiene E, Ravazzani P. Efectos de los teléfonos móviles UMTS sobre la audición humana: resultados del proyecto europeo EMFnEAR. Radiat Res. 172(2):244-251, 2009. (HU, PE)

El proyecto europeo EMFnEAR se llevó a cabo para evaluar los posibles cambios en la función auditiva humana después de una exposición a corto plazo a la radiación de radiofrecuencia (RF) producida por los teléfonos móviles UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles). Los participantes eran adultos jóvenes sanos sin trastornos auditivos ni auditivos. La función auditiva se evaluó inmediatamente antes y después de la exposición a la radiación de radiofrecuencia, y solo se examinó el oído expuesto. Las pruebas para la evaluación de la función auditiva fueron el nivel del umbral auditivo (HTL), las otoemisiones acústicas por productos de distorsión (DPOAE), la supresión contralateral de la otoemisión acústica evocada transitoriamente (efecto CAS en las TEOAE) y los potenciales evocados auditivos (AEP). La exposición consistió en el habla a un nivel de conversación típico emitido a través de un auricular en un oído, más la exposición genuina o simulada a la radiación de RF producida por un teléfono comercial controlado por una computadora personal. Los resultados de 134 participantes no mostraron ningún patrón consistente de efectos en el sistema auditivo después de una exposición de 20 minutos a UMTS a la salida máxima del teléfono con 69 mW/kg SAR en la región de la cóclea en una comparación doble ciego de exposición genuina y simulada.

Se identificó un efecto aislado en el umbral de audición a altas frecuencias, pero no fue estadísticamente significativo después de la corrección para comparaciones múltiples. Se concluye que la exposición a corto plazo a la salida máxima de los teléfonos móviles de consumo no causa efectos inmediatos mensurables en el sistema auditivo humano.

(E) Partsvania B, Sulaberidze T, Shoshiashvili L, Modebadze Z. Efecto agudo de la exposición de una neurona única de moluscos a la radiación de teléfonos móviles de 900 MHz. Electromagn Biol Med. 30(3):170-179, 2011. (CS, EE)

El objetivo del presente trabajo fue explorar la influencia de los teléfonos celulares disponibles comercialmente Efecto de la irradiación sobre la excitabilidad de neuronas individuales y los procesos de memoria.

Se utilizó una célula electromagnética transversal (célula TEM) para exponer neuronas individuales de moluscos al campo electromagnético. Se utilizó el método de dominio temporal de diferencias finitas (FDTD) para modelar la célula TEM y las interacciones del campo electromagnético con los ganglios nerviosos y las neuronas vivas. Se investigó la electrofisiología neuronal mediante la técnica estándar de microelectrodos. Se calculó que la tasa de absorción específica (SAR) depositada en cada neurona era de 0,63 W/kg.

con un incremento de temperatura de 0,1 °C. Después de la exposición aguda, el umbral de activación promedio de los potenciales de acción no se modificó. Sin embargo, el período de latencia promedio disminuyó significativamente. Esto indica que, junto con el período de latencia, el umbral y el tiempo de habituación podrían alterarse durante la exposición. Sin embargo, estas alteraciones son transitorias y solo el período de latencia permanece en el nivel modificado.

(E) Pelletier A, Delanaud S, Décima P, Thuroczy G, de Seze R, Cerri M, Bach V, Libert JP, Loos N. Efectos de la exposición crónica a campos electromagnéticos de radiofrecuencia en el equilibrio energético en ratas en desarrollo. Environ Sci Pollut Res Int. 20:2735-2746, 2013. (AS, LI, CE, BE, PE, EE, SL)

Los efectos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) en el control del equilibrio energético corporal en organismos en desarrollo no se han estudiado, a pesar de la participación del estado energético en funciones fisiológicas vitales. Examinamos los efectos de la exposición crónica a RF-EMF (900 MHz, 1 V m(-1)) en las principales funciones involucradas en la homeostasis energética corporal (comportamiento alimentario, sueño y procesos termorreguladores). Trece ratas Wistar macho jóvenes fueron expuestas a RF-EMF continuos durante 5 semanas a 24 °C de temperatura del aire (T (a)) y comparadas con 11 animales no expuestos. Por lo tanto, al comienzo de la sexta semana de exposición, las funciones se registraron a T (a) de 24 °C y luego a 31 °C. Mostramos que la frecuencia de episodios de sueño de movimientos oculares rápidos fue mayor en el grupo expuesto a RF-EMF, independientemente de T (a) (+42,1 % a 24 °C y +31,6 % a 31 °C). Los demás efectos de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia sobre diversos parámetros del sueño dependían de T (a). A 31 °C, los animales expuestos a campos electromagnéticos de radiofrecuencia tenían una temperatura subcutánea de la cola significativamente menor (-1,21 °C) que los controles en todas las etapas del sueño; esto sugería vasoconstricción periférica, que se confirmó en un experimento con el vasodilatador prazosina. La exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia también aumentó la ingesta de alimentos durante el día (+0,22 g h(-1)).

La mayoría de los efectos observados de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia dependían de T (a). La exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia parece modificar el funcionamiento del tono vasomotor al actuar periféricamente a través de los adrenoreceptores α . La vasoconstricción provocada puede restringir el enfriamiento corporal, mientras que aumenta la ingesta de energía. Nuestros resultados muestran que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia puede inducir procesos de ahorro de energía sin alterar considerablemente el patrón general del sueño.

(E) Pelletier A, Delanaud S, de Seze R, Bach V, Libert JP, Loos N. ¿La exposición a un campo electromagnético de radiofrecuencia modifica la preferencia térmica en ratas jóvenes? PLoS One. 6 de junio de 2014;9(6):e99007. (AS, LI, CE, BE, PE, EE, SL)

Algunos estudios han demostrado que las personas que viven cerca de una estación base de telefonía móvil pueden reportar trastornos y malestar del sueño. Utilizando un modelo de rata, hemos demostrado previamente que la exposición crónica a un campo electromagnético de radiofrecuencia (RF-EMF) de baja intensidad estaba asociada con la fragmentación del sueño paradójico (PS) y un mayor tono vasomotor en la cola. Aquí, buscamos establecer si los trastornos del sueño podrían ser resultado de la alteración de los procesos termorreguladores por un RF-EMF. Registramos la preferencia térmica y la distribución de las etapas del sueño en 18 ratas Wistar macho jóvenes. Nueve animales fueron expuestos a un RF-EMF de baja intensidad (900 MHz, 1 Vm-

1) durante cinco semanas y nueve sirvieron como controles no expuestos. La preferencia térmica se evaluó en una cámara experimental que comprendía tres compartimentos interconectados, en los que las temperaturas del aire (T_a) se establecieron en 24 °C, 28 °C y 31 °C. También se registraron el sueño y la temperatura de la piel de la cola. Nuestros resultados indicaron que, en relación con el grupo de control, la exposición a RF-EMF a 31 °C se asoció con una temperatura de la piel de la cola significativamente menor (-1,6 °C), lo que confirmó los datos anteriores. Durante el período de luz, el grupo expuesto prefirió dormir a $T_a = 31$ °C y los controles prefirieron $T_a = 28$ °C. La duración media del sueño en el grupo expuesto fue significativamente mayor (en un 15,5 %) que en el grupo de control (debido a su vez a una cantidad significativamente mayor de sueño de ondas lentas (SWS, +14,6 %)). De manera similar, la frecuencia de SWS fue mayor en el grupo expuesto (en 4,9 episodios.h-1).

El PS no difirió significativamente entre los dos grupos. Durante el período oscuro, hubo

No se observaron diferencias significativas entre los grupos. Concluimos que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia indujo un cambio en la preferencia térmica hacia temperaturas más altas. El cambio en la temperatura preferida podría ser resultado de una sensación térmica fría. El cambio en la distribución de las fases del sueño puede implicar señales de los termorreceptores de la piel. La modulación de la SWS puede ser una adaptación protectora en respuesta a la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia.

(NE) Perentos N, Croft RJ, McKenzie RJ, Cvetkovic D, Cosic I. Comparación de los efectos de la exposición continua y pulsada a radiofrecuencias similares a las de los teléfonos móviles en el EEG humano. *Australas Phys Eng Sci Med.* 30(4):274-280, 2007.

(HU, EE)

Todavía no está claro si la radiación de los teléfonos móviles GSM (Sistema Global para Móviles) tiene la capacidad de interferir con el funcionamiento normal del cerebro en reposo. Existen informes de que la exposición a GSM aumenta la potencia de la banda alfa y lo hace sólo cuando la señal se modula a frecuencias bajas (Huber, R., Treyer, V., Borbely, AA, Schuderer, J., Gottselig, JM, Landolt, HP, Werth, E., Berthold, T., Kuster, N., Buck, A y Achermann, P. Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J Sleep Res* 11, 289-295, 2002.) Sin embargo, como esa investigación empleó distribuciones de exposición que no son típicas del uso normal de los teléfonos móviles GSM (las áreas profundas del cerebro estaban sobreexpuestas), aún queda por determinar si se obtendría un patrón de resultados similar a partir de una exposición más representativa. En este diseño cruzado totalmente equilibrado, reclutamos a 12 participantes e intentamos replicar el aumento de potencia de banda alfa posterior a la exposición vinculado a la modulación descrito anteriormente, pero con una fuente de exposición (antena dipolo) más parecida a la de un teléfono GSM real. Las exposiciones duraron 15 minutos. No se encontraron cambios en la potencia alfa ni para los campos de radiofrecuencia modulados ni para los no modulados, por lo que no pudimos replicar los resultados anteriores. Se discuten las posibles razones de esta falla en la replicación, y se argumenta que la razón principal es la distribución de exposición más baja y más representativa empleada en el presente estudio.

Además, investigamos los posibles efectos relacionados con la exposición a GSM en las características no lineales del electroencefalograma en reposo utilizando el método de análisis de entropía aproximada (ApEn). Nuevamente, no se demostró ningún efecto para las exposiciones a radiofrecuencias moduladas o no moduladas.

(E) Perentos N, Croft RJ, McKenzie RJ, Cosic I. La banda alfa del electroencefalograma en reposo bajo exposición a radiofrecuencias pulsadas y continuas. *IEEE Trans Biomed Eng.* 60(6):1702-1710, 2013. (HU, EE)

Se investigó el efecto de los campos electromagnéticos similares a los GSM sobre la actividad de la banda alfa del electroencefalograma (EEG) en reposo en un paradigma experimental cruzado de doble ciego, para probar la hipótesis de que la exposición a radiofrecuencia (RF) pulsada pero no continua afectaría la actividad alfa, y la hipótesis de que los campos de baja frecuencia pulsados similares a los GSM afectarían a la alfa. Setenta y dos voluntarios sanos asistieron a una única sesión de grabación en la que se registró la actividad del EEG en reposo con los ojos abiertos. Se presentaron cuatro intervalos de exposición (simulación, RF modulada pulsada, RF continua y baja frecuencia pulsada) en un orden contrabalanceado donde cada exposición duró 20 minutos. En comparación con la simulación, se observó una supresión de la actividad global de la banda alfa bajo la exposición a RF modulada pulsada, y esto no difirió de la exposición a RF continua. No se observó ningún efecto en la condición de frecuencia extremadamente baja. El hecho de que hubiera un efecto de RF pulsada que no difiriera significativamente de la exposición a RF continua no respalda la hipótesis de que se requiere RF "pulsada" para producir efectos en el EEG. Los resultados respaldan la opinión de que los campos electromagnéticos de RF alteran el alfa, pero sugieren que la naturaleza pulsante de los campos no es esencial para que se produzca este efecto.

(E) Perez FP, Maloney B, Chopra N, Morisaki JJ, Debomoy K, Lahiri DK. La estimulación repetida con campos electromagnéticos reduce los niveles de péptido amiloide- β en cultivos primarios de tejido cerebral humano mixto. *Sci Rep.* 12 de enero de 2021;11(1):621. doi: 10.1038/s41598-020-77808-2. (CS, CH, MA)

La enfermedad de Alzheimer de inicio tardío es la causa más común de demencia, caracterizada por la deposición extracelular de placas principalmente de péptido amiloide- β ($A\beta$) y ovillos principalmente de proteína tau hiperfosforilada. Presentamos datos para sugerir una estrategia no invasiva para disminuir los niveles potencialmente tóxicos de $A\beta$, utilizando estimulación repetida del campo electromagnético (REMFS) en cultivos primarios de cerebro humano (PHB). Examinamos los efectos de REMFS en los niveles de $A\beta$ ($A\beta_{40}$ y $A\beta_{42}$, que tienen 40 o 42 residuos de aminoácidos de longitud, respectivamente) en cultivos de PHB a diferentes frecuencias, potencias y tasas de absorción específica (SAR). Los cultivos de PHB en el día in vitro 7 (DIV7) tratados con 64 MHz y 1 hora diaria durante 14 días (DIV 21) tuvieron niveles significativamente reducidos de péptidos secretados $A\beta_{40}$ ($p = 0,001$) y $A\beta_{42}$ ($p = 0,029$), en comparación con los cultivos no tratados. Los cultivos de PHB (DIV7) tratados a 64 MHz, durante 1 o 2 horas durante 14 días también produjeron niveles significativamente más bajos de $A\beta$. Los cultivos de PHB (DIV28) tratados con 64 MHz 1 hora/día durante 4 u 8 días produjeron una reducción significativa similar en los niveles de $A\beta_{40}$. 0,4 W/kg fue la SAR mínima requerida para producir un efecto biológico. La exposición no resultó en toxicidad celular ni cambios significativos en los niveles de proteína precursora de $A\beta$ secretada- α (sAPP α), lo que sugiere que la disminución de $A\beta$ probablemente no resultó de la redirección hacia la vía de la α -secretasa. La frecuencia y potencia de los campos electromagnéticos utilizados en nuestro trabajo se utilizan en imágenes por resonancia magnética (IRM) humana, lo que sugiere que la REMFS se puede desarrollar aún más en entornos clínicos para modular la deposición de $A\beta$.

(NE) Platano D, Mesirca P, Paffi A, Pellegrino M, Liberti M, Apollonio F, Bersani F, Aicardi G.

La exposición aguda a radiofrecuencias de 900 MHz moduladas por CW y GSM de bajo nivel no afecta las corrientes de Ba^{2+} a través de canales de calcio dependientes de voltaje en neuronas corticales de rata. *Bioelectromagnetism.* 28(8):599-607, 2007. (CS, EE)

Hemos estudiado los efectos no térmicos de los campos electromagnéticos (CEM) de radiofrecuencia (RF) sobre las corrientes $Ba(2+)$ ($I_{Ba^{2+}}$) a través de canales de calcio dependientes de voltaje (VGCC), registrados en

Cultivos primarios de neuronas corticales de rata utilizando la técnica de fijación de parche. Para evaluar si la exposición aguda a campos de RF de bajo nivel podría modificar la amplitud y/o la dependencia de voltaje de I Ba 2+, las placas de Petri que contenían neuronas cultivadas se expusieron durante 1-3 períodos de 90 s a campos electromagnéticos de radiofrecuencia de 900 MHz de onda continua (CW) o modulados en amplitud según el estándar de comunicación móvil del sistema global (GSM) durante el registro de células completas. Las tasas de absorción específica (SAR) fueron 2 W/kg para CW y 2 W/kg (valor promedio de tiempo) para señales moduladas por GSM, respectivamente. Los resultados obtenidos indican que las exposiciones agudas simples o múltiples a campos electromagnéticos de radiofrecuencia de 900 MHz, ya sea de CW o modulados por GSM, no alteran significativamente la amplitud de corriente o la relación corriente-voltaje de I Ba 2+, a través de VGCC.

(NE) Poulletier de Gannes F, Haro E, Hurtier A, Taxile M, Ruffié G, Billaudel B, Veyret B, Lagroye I. Efecto de la exposición a la señal de borde sobre el estrés oxidativo en modelos de células cerebrales. *Radiat Res.* 175(2):225-230, 2011. (CS, OX)

En este estudio investigamos el efecto de la señal EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution) en células de tres líneas celulares del cerebro humano, SH-SY5Y, U87 y CHME5, utilizadas como modelos de neuronas, astrocitos y microglia, respectivamente, así como en cultivos primarios de neuronas corticales. Las guías de onda SXC-1800 (IT'IS-Foundation, Zúrich, Suiza) se modificaron para la exposición in vitro a la radiación de radiofrecuencia (RF) de la señal EDGE a 1800 MHz. Se probaron cuatro condiciones de exposición: 2 y 10 W/kg durante 1 y 24 h. La producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) se midió mediante citometría de flujo utilizando la sonda de diacetato de diclorofluoresceína (DCFH-DA) al final de la exposición de 24 h o 24 h después de la exposición de 1 h. El tratamiento con rotenona se utilizó como control positivo. Todas las células analizadas respondieron al tratamiento con rotenona aumentando la producción de ROS. Estos hallazgos indican que la exposición a la señal EDGE no induce estrés oxidativo en estas condiciones de prueba, incluidos 10 W/kg. Nuestros resultados concuerdan con hallazgos anteriores de que la radiación de RF por sí sola no aumenta la producción de ROS.

(NE) Poulletier de Gannes F, Masuda H, Billaudel B, Poque-Haro E, Hurtier A, Lévêque P, Ruffié G, Taxile M, Veyret B, Lagroye I. Efectos de las señales de telefonía móvil GSM y UMTS en la degeneración neuronal y la permeabilidad de la barrera hematoencefálica en el cerebro de la rata. *Sci Rep.* 7(1):15496, 2017. (AS, CE, ME)

Se evaluó la permeabilidad de la barrera hematoencefálica (BHE) y la degeneración neuronal en el cerebro de ratas tras la exposición a señales de radiofrecuencia (RF) de comunicaciones móviles (GSM-1800 y UMTS-1950). Se utilizaron dos protocolos: (i) exposición única de 2 h, con ratas sacrificadas inmediatamente, y 1 h, 1, 7 o 50 días después, y (ii) exposiciones repetidas (2 h/día, 5 días/semana, durante 4 semanas) con los efectos evaluados inmediatamente y 50 días después del final de la exposición. Las cabezas de las ratas se expusieron a tasas de absorción específica promedio en el cerebro (BASAR) de 0,026, 0,26, 2,6 y 13 W/kg. No se observó ningún impacto adverso en términos de fuga de la BHE o degeneración neuronal después de exposiciones únicas o inmediatamente después del final de la exposición repetida, con la excepción de una fuga transitoria de la BHE (UMTS, 0,26 W/kg). Cincuenta días después de la exposición repetida, la aparición de neuronas degenerativas no varió en promedio. Sin embargo, se detectó un aumento significativo de la fuga de albúmina con ambas señales de RF a 13 W/kg. En este trabajo, el efecto retardado más fuerte fue inducido por GSM-1800 a 13 W/kg. Teniendo en cuenta que 13 W/kg de BASAR en la cabeza de la rata es

equivalente a 4 veces más en la cabeza humana, pueden ocurrir efectos nocivos después de una exposición repetida del cerebro humano a más de 50 W/kg.

(NE) Prochnow N, Gebing T, Ladage K, Krause-Finkeldey D, El Ouardi A, Bitz A, Streckert J, Hansen V, Dermietzel R.

¿Efecto del campo electromagnético o simplemente estrés? Efectos de UMTS

Exposición a la luz solar sobre la plasticidad a largo plazo del hipocampo en el contexto de la liberación de hormonas relacionada con procedimientos. PLoS One. 6(5):e19437, 2011. (AS, EE)

Los efectos nocivos de los campos electromagnéticos (CEM) sobre las características cognitivas y conductuales de los seres humanos y los roedores han sido objeto de debates controvertidos y han suscitado una preocupación persistente sobre los efectos adversos de los CEM sobre las funciones cerebrales generales. En el presente estudio aplicamos señales de radiofrecuencia (RF) del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) a ratas Wistar macho expuestas por completo al cerebro con el fin de elaborar supuestas influencias en la liberación de la hormona del estrés (corticosterona; CORT y hormona adrenocorticotrópica; ACTH) y en la plasticidad sináptica a largo plazo (LTP) derivada del hipocampo y la depresión (LTD) como marcadores electrofisiológicos del almacenamiento y la consolidación de la memoria. La exposición se controló por ordenador proporcionando condiciones ciegas. Las tasas de absorción específica (SAR) promedio nominales del cerebro como medida de la potencia de RF disipada relacionada con la masa aplicada fueron 0, 2 y 10 W/kg durante un período de 120 min. La comparación de los animales expuestos a jaulas reveló, independientemente de la exposición a campos electromagnéticos, niveles significativamente mayores de CORT y ACTH que se correspondían con pendientes y amplitudes de potencial de campo generalmente reducidas en LTP y LTD del hipocampo. Los animales después de la exposición a SAR de 2 W/kg (promediada sobre todo el cerebro de 2,3 g de masa tisular) no difirieron del grupo expuesto simuladamente en experimentos de LTP y LTD. Por el contrario, se observó una reducción significativa en LTP y LTD a la alta tasa de potencia de SAR (10 W/kg). Los resultados demuestran que una tasa de 2 W/kg no muestra un impacto adverso en LTP y LTD, mientras que 10 W/kg conduce a efectos significativos en los parámetros electrofisiológicos, que pueden distinguirse claramente del fondo derivado del estrés. Nuestros hallazgos sugieren que la exposición a UMTS con SAR en el rango de 2 W/kg no es dañina para los marcadores críticos para el almacenamiento de la memoria y la consolidación de la memoria, sin embargo, no se puede excluir una influencia de UMTS a altas tasas de absorción de energía (10 W/kg).

(E) Qiao S, Peng R, Yan H, Gao Y, Wang C, Wang S, Zou Y, Xu X, Zhao L, Dong J, Su Z, Feng X, Wang L, Hu X. La reducción de la sinapsina I fosforilada (Ser-553) conduce a un deterioro de la memoria espacial al atenuar la liberación de GABA después de la exposición a microondas en ratas Wistar. PLoS One. 9(4):e95503, 2014. (AS, CS, BE, CH)

ANTECEDENTES: La liberación anormal de neurotransmisores después de la exposición a microondas puede causar déficits de aprendizaje y memoria. Este estudio investigó el mecanismo de este efecto explorando el papel potencial de la sinapsina I fosforilada (p-Syn I). MÉTODOS: Se expusieron ratas Wistar, sinaptosomas de hipocampo de rata y células PC12 diferenciadas (neuronales) a radiación de microondas durante 5 minutos a una densidad de potencia media de 30 mW/cm². Las ratas, los sinaptosomas y las células del grupo simulado recibieron el mismo tratamiento y actuaron como controles para todos los siguientes análisis posteriores a la exposición. Se evaluó el aprendizaje espacial y la memoria en ratas utilizando la tarea de navegación del laberinto acuático de Morris (MWM). Se examinó la expresión proteica y la distribución presináptica de p-Syn I y los transportadores de neurotransmisores mediante transferencia Western.

y microscopía inmunoelectrónica, respectivamente. Los niveles de liberación de neurotransmisores de aminoácidos de los sinaptosomas del hipocampo de rata y las células PC12 se midieron utilizando un cromatógrafo líquido de alto rendimiento (HPLC) a las 6 horas después de la exposición, con o sin silenciamiento de la sinapsina I mediante transfección de shRNA. RESULTADOS: En los experimentos con ratas, hubo una disminución en el rendimiento de la memoria espacial después de la exposición a microondas. La expresión de p-Syn I (ser-553) disminuyó a los 3 días posteriores a la exposición y aumentó en puntos de tiempo posteriores. El transportador vesicular de GABA (VGAT) aumentó significativamente después de la exposición. La liberación de GABA de los sinaptosomas se atenuó y p-Syn I (ser-553) y VGAT se enriquecieron en pequeñas vesículas sinápticas claras, que se ensamblaron anormalmente en la terminal presináptica después de la exposición. En los experimentos con células PC12, la expresión de p-Syn I (ser-553) y la liberación de GABA se atenuaron a las 6 horas después de la exposición. Tanto la exposición a microondas como el silenciamiento de p-Syn I redujeron la liberación de GABA y se encontró una reducción máxima para la combinación de los dos, lo que indica un efecto sinérgico. CONCLUSIÓN: Se descubrió que p-Syn I (ser-553) desempeña un papel clave en la liberación deficiente de GABA y la disfunción cognitiva inducida por la exposición a microondas.

(E) Qin F, Yuan H, Nie J, Cao Y, Tong J. [Efectos del nanoselenio en el rendimiento cognitivo de ratones expuestos a campos de radiofrecuencia de 1800 MHz]. Wei Sheng Yan Jiu. 43(1):16-21, 2014.

[Artículo en chino] (AS, CE, BE, CH, OX)

OBJETIVO: Estudiar los efectos del nanoselenio (NSe) en el rendimiento cognitivo de ratones expuestos a campos de radiofrecuencia (RF) de 1800 MHz. MÉTODOS: Los ratones machos se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos, grupo control y grupo nano-Se de dosis baja, media y alta (L, M, H). Cada grupo se subdividió en tres grupos, RF 0 min, RF 30 min y RF 120 min. Se administró solución de nano-se (2, 4 y 8 microg/ml) a ratones de los grupos L, M, H mediante inyección intragástrica respectivamente, 0,5 ml/d durante 50 días, al grupo control se le administró agua destilada. El día 21, los ratones del subgrupo RF fueron expuestos a 208 microW/cm² 1800 MHz.

Los ratones expuestos a radiofrecuencia recibieron campos de radiofrecuencia (0, 30 y 120 min/d respectivamente) durante 30 días. La capacidad cognitiva de los ratones se evaluó con un laberinto en Y. Además, se midieron los niveles de MDA, GABA, Glu, Ach y las actividades de CAT y GSH-Px en el cerebro. RESULTADOS: Se observaron alteraciones significativas en el aprendizaje y la memoria ($P < 0,05$) en el grupo de radiofrecuencia de 120 min, y con una reducción del nivel de Ach y las actividades de CAT y GSH-Px y un aumento del contenido de GABA, Glu y MDA en el cerebro. La NSe mejoró el rendimiento cognitivo de los ratones expuestos a radiofrecuencia, disminuyó los niveles de GABA, Glu y MDA, aumentó los niveles de Ach, GSH-Px y las actividades de CAT. CONCLUSIÓN: La NSe podría mejorar las alteraciones cognitivas de los ratones expuestos a radiofrecuencia, cuyo mecanismo podría implicar el aumento de la antioxidación, la disminución del contenido de radicales libres y los cambios de los neurotransmisores cerebrales.

(E) Ouadah NS, Blazy K, Villégier AS. Efecto de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en la sensibilidad térmica en ratas. Int J Environ Res Public Health. 18 de octubre de 2020;17(20):E7563. doi: 10.3390/ijerph17207563. (AS, CE, BE, IA)

La Organización Mundial de la Salud y la Agencia Nacional de Seguridad Sanitaria de Francia (ANSES) reconocen que el dolor y el sufrimiento expresados por las personas con síndrome de hipersensibilidad a los campos electromagnéticos (EHS) son una realidad vivida que requiere adaptaciones en la vida diaria para afrontarla.

Los receptores glutamatérgicos N-metil d-aspartato (NMDA) aún no se han explorado, a pesar de su posible papel en la hipersensibilidad a los productos químicos. Aquí, planteamos la hipótesis de que las exposiciones a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) pueden afectar la percepción del dolor bajo un papel modulador desempeñado por el receptor NMDA. Las ratas fueron expuestas a RF-EMF durante cuatro semanas (cinco veces a la semana, a 0 (simulado), 1,5 o 6 W/kg en sujeción) o fueron controles de jaula (CC). Una vez a la semana, recibieron una inyección de NMDA o solución salina antes de ser puntuadas por su preferencia entre dos platos en la prueba de elección de dos temperaturas: 50 °C (nocicepción térmica) frente a 28 °C. Los resultados en el CC y las ratas simuladas indicaron que la latencia para escapar del calor se redujo significativamente en un -45% después de NMDA, en comparación con el tratamiento con solución salina. La evitación del calor aumentó significativamente en un +40% en los 6 W/kg, en comparación con los grupos expuestos simulados. El efecto de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia desapareció tras el tratamiento con NMDA. En conclusión, la evitación del calor fue mayor tras una tasa de absorción específica media elevada en el cerebro, lo que respalda aún más el posible efecto de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en la percepción del dolor. Es necesario realizar más estudios para confirmar estos datos.

(E) Qubty D, Schreiber S, Rubovitch V, Boag A, Pick CG. No hay efectos significativos de la radiación electromagnética de los teléfonos móviles en la memoria o la ansiedad de los ratones: algunos efectos mixtos en ratones con lesión cerebral traumática. *Neurotrauma Rep.* 17 de agosto de 2021;2(1):381-390. doi: 10.1089/neur.2021.0009.
(AS, CE, BE)

La literatura actual detalla una serie de resultados contradictorios sobre el efecto de la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) en la salud, tanto en humanos como en modelos animales. El presente estudio fue diseñado para determinar los datos contradictorios publicados sobre el posible impacto de la exposición celular (radiación) en ratones machos y hembras en lo que respecta a la memoria espacial, la ansiedad y el bienestar general. Para aumentar la probabilidad de identificar posibles efectos "sutiles", elegimos probarlo en ratones ya cognitivamente deteriorados (después de una lesión cerebral traumática leve; ICCE). La exposición a la radiación celular por sí sola no tuvo un impacto significativo en los niveles de ansiedad o la memoria espacial/visual en ratones. Al examinar el impacto dual de la ICCE y la radiación celular en la ansiedad, no se encontraron diferencias en el comportamiento similar a la ansiedad como se vio en el laberinto en cruz elevada (EPM). Cuando se expuso tanto a la ICCE como a la radiación celular, nuestros resultados mostraron una mejora del deterioro de la memoria visual tanto en ratones hembra como macho, pero un empeoramiento de la memoria espacial de los ratones hembra. Estos resultados no permiten llegar a una conclusión decisiva respecto de los posibles riesgos de la radiación celular sobre la función cerebral de los ratones, y el ICTBI no facilitó la identificación de efectos sutiles aumentándolos.

(NE) Rağbetli MC, Aydinlioğlu A, Koyun N, Rağbetli C, Karayel M. Efecto de la exposición prenatal al teléfono móvil en el número de células piramidales en el hipocampo del ratón: un estudio estereológico. *Int J Neurosci.* 119(7):1031-1041, 2009. (COMO, YO, DE)

Debido al posible factor de riesgo para la salud, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomendó el estudio con animales sobre el sistema nervioso en desarrollo en relación con la exposición al campo de radiofrecuencia (RF). Hay algunos estudios relacionados con la exposición del hipocampo que indican el impacto del campo de RF en algunos parámetros. El presente estudio investigó el efecto de la exposición al teléfono móvil en el hipocampo en desarrollo.

Se utilizaron ratones albinos suizos hembra como grupo de control y como grupo expuesto a teléfonos móviles. Las hembras del grupo de prueba se expusieron a los efectos de los teléfonos móviles en una habitación que poseía el sistema de exposición. Los hemisferios izquierdos de los cerebros se procesaron mediante un micrótopo congelado. Las secciones obtenidas se tiñeron con hematoxilina y eosina. Para el recuento de células mediante el método del fraccionador óptico, primero se realizó un estudio piloto. Las áreas del hipocampo se analizaron utilizando el software Axiovision que se ejecuta en una computadora personal. El disector óptico, espaciado de forma sistemática y aleatoria, se enfocó en el perfil más amplio del núcleo de las células piramidales. No se encontró ninguna diferencia significativa en el número de células piramidales de los sectores totales de Cornu Ammonis (CA) del hipocampo entre el grupo de control y el grupo expuesto a teléfonos móviles ($p > .05$). Se concluyó que se necesitan más estudios en este campo debido al uso popular de los teléfonos móviles y la exposición relativamente alta del cerebro en desarrollo.

(E) Rağbetli MC, Aydinlioğlu A, Koyun N, Rağbetli C, Bektas S, Ozdemir S. El efecto del teléfono móvil en la cantidad de células de Purkinje: un estudio estereológico. *Int J Radiat Biol.* 86(7):548-554, 2010. (AS, ME, DE)

OBJETIVO: La Organización Mundial de la Salud propuso una investigación sobre la exposición de animales a campos de radiofrecuencia debido al posible factor de riesgo para la salud. En las frecuencias de potencia, hay evidencia que asocia tanto la leucemia infantil como los tumores cerebrales con la exposición a campos magnéticos. También hay evidencia del efecto de la exposición a teléfonos móviles tanto en las funciones cognitivas como en el cerebelo. Las células de Purkinje del cerebelo también son sensibles a la exposición a microondas en dosis altas en ratas. El presente estudio investigó el efecto de la exposición a teléfonos móviles en el número de neuronas de Purkinje y granulares en el cerebelo en desarrollo.

MATERIAL Y MÉTODOS: Se alojaron ratones albinos suizos machos y hembras como control y

Grupos expuestos a teléfonos móviles. Las hembras preñadas del grupo experimental estuvieron expuestas a la radiación de los teléfonos móviles GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles) a 890-915 MHz con una tasa de absorción específica (SAR) de 0,95 W/Kg. Los cerebelos se procesaron mediante un micrótopo congelado. Las secciones obtenidas se tiñeron con hematoxilina-eosina y violeta de cresilo. Para el recuento celular por el método del fraccionador óptico, se realizó en primer lugar un estudio piloto. Las áreas cerebelosas se analizaron utilizando el software Axiovision que se ejecuta en una computadora personal. Los disectores ópticos se espaciaron sistemáticamente al azar y se enfocaron hacia el perfil más amplio del núcleo de la célula neuronal.

RESULTADOS: Se encontró una disminución significativa en el número de células de Purkinje y una tendencia a que las células granulares aumenten en el cerebelo. CONCLUSIÓN: Se necesitan más estudios en esta área debido al uso popular de teléfonos móviles y la exposición relativamente alta en el cerebro en desarrollo.

(E) Razavinasab M, Moazzami K, Shabani M. La exposición materna al teléfono móvil altera las propiedades electrofisiológicas intrínsecas de las neuronas piramidales CA1 en crías de ratas. *Toxicol Ind Health.* 32:968-979, 2016. (AS, CE, BE, DE, EE)

Algunos estudios han demostrado que la exposición a campos electromagnéticos (CEM) puede provocar daños estructurales en las neuronas. En este estudio, hemos dilucidado la alteración de la función hipocampal de crías de ratas Wistar ($n = 8$ ratas en cada grupo) que estuvieron expuestas crónicamente a teléfonos móviles durante su período gestacional mediante la aplicación de técnicas de análisis conductual, histológico y

Pruebas electrofisiológicas. Las ratas del grupo EMF estuvieron expuestas a una irradiación EMF pulsada de 900 MHz durante 6 h/día. Los registros de células completas en las células piramidales del hipocampo en los grupos de teléfonos móviles mostraron una disminución de la excitabilidad neuronal. La exposición al teléfono móvil se asoció principalmente con una disminución en el número de potenciales de acción disparados en la actividad espontánea y en respuesta a la inyección de corriente tanto en los grupos de machos como de hembras. Hubo un aumento en la amplitud de la poshiperpolarización (AHP) en las ratas del teléfono móvil en comparación con el control.

Los resultados de la evaluación del aprendizaje y la memoria mediante la evitación pasiva y el laberinto acuático de Morris mostraron que la exposición al teléfono alteró significativamente la adquisición del aprendizaje y la retención de la memoria en ratas macho y hembra en comparación con las ratas de control. El estudio con microscopio óptico de secciones del cerebro de las ratas de control y expuestas al teléfono móvil mostró una morfología normal. Nuestros resultados sugieren que la exposición a los teléfonos móviles afecta negativamente al rendimiento cognitivo de las crías de ratas hembra y macho utilizando técnicas conductuales y electrofisiológicas.

(E) Redmayne M, Smith E y Abramson MJ. La relación entre el bienestar de los adolescentes y el uso de teléfonos inalámbricos: un estudio transversal. *Environmental Health* 12(1):90, 2013. (Hungria, Bélgica)

Antecedentes. La exposición de los jóvenes a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) ha aumentado rápidamente en los últimos años con el aumento del uso de teléfonos celulares y el uso de teléfonos inalámbricos y WiFi. Buscamos determinar las asociaciones entre el bienestar subjetivo de los adolescentes de Nueva Zelanda y el uso autodeclarado de, o la exposición a, la tecnología de teléfonos inalámbricos e Internet. Métodos. En esta encuesta transversal, los participantes completaron cuestionarios en clase sobre su uso de teléfonos celulares e inalámbricos, su bienestar autodeclarado y posible información de confusión, como si habían tenido gripe recientemente o tenían un televisor en el dormitorio. Los cuestionarios de los padres proporcionaron datos sobre si tenían WiFi en casa y la propiedad y el modelo de teléfono inalámbrico. Los datos se analizaron con regresión logística ordinal ajustando los factores de confusión comunes. Se calcularon los odds ratios (OR) y los intervalos de confianza del 95%. Resultados. La cantidad y duración de las llamadas de teléfonos celulares e inalámbricos se asociaron con un mayor riesgo de dolores de cabeza (>6 llamadas de teléfono celular durante 10 minutos por semana, OR ajustado 2,4, IC 1,2-4,8; >15 minutos de uso inalámbrico diario OR ajustado 1,74, IC 1,1-2,9).

Enviar mensajes de texto y el uso prolongado de teléfonos inalámbricos se relacionaron con tener un pulgar doloroso "para enviar mensajes de texto").

El uso de auriculares con cable para teléfono móvil se asoció con tinnitus (OR ajustado 1,8; IC 1,0-3,3), mientras que los auriculares inalámbricos se asociaron con dolor de cabeza (OR ajustado 2,2; IC 1,1-4,5), sensación de desánimo/depresión (OR ajustado 2,0; IC 1,1-3,8) y despertarse durante la noche (OR ajustado 2,4; IC 1,2-3,3).

4.8). Varias bandas de frecuencias de teléfonos inalámbricos se relacionaron con tinnitus, sensación de

desánimo/depresión y somnolencia en la escuela, mientras que la última de estas también se relacionó con la

modulación. El despertarse por la noche era menos probable para aquellos con WiFi en casa (OR ajustado 0,7, IC 0,4-

0,99). El hecho de despertarse por la noche por culpa de un teléfono móvil se relacionó fuertemente con el cansancio en la

escuela (OR 4,1; IC 2,2-7,7). Conclusiones. Se encontraron más asociaciones estadísticamente significativas (36%) de las que se pudieron

Se esperaba que esto sucediera por casualidad (5%). Varias de estas relaciones dependían de la dosis. Para proteger el bienestar de los jóvenes, sugerimos limitar el uso de teléfonos celulares e inalámbricos a menos de 15 minutos diarios y utilizar un dispositivo de manos libres para un uso diario más prolongado. Recomendamos que los padres tomen medidas para evitar que los jóvenes se despierten con sus teléfonos celulares.

(NE) Redmayne M, Smith CL, Benke G, Croft RJ, Dalecki A, Dimitriadis C, Kaufman J, Macleod S, Sim MR, Wolfe R, Abramson MJ. Uso de teléfonos móviles e inalámbricos y cognición en niños de escuelas primarias de Australia: un estudio de cohorte prospectivo. *Environ Health*. 15(1):26, 2016. (HU, CE, BE)

ANTECEDENTES: El uso de teléfonos móviles e inalámbricos es común entre los niños pequeños, pero no se sabe si la exposición a radiofrecuencias resultante afecta el desarrollo de las habilidades cognitivas. Se han encontrado pequeños cambios en niños mayores. Este estudio se centró en la exposición de los niños a teléfonos móviles e inalámbricos y en el desarrollo cognitivo. La hipótesis era que los niños que utilizaban estos teléfonos mostrarían diferencias en la función cognitiva en comparación con los que no lo hacían. MÉTODOS: Reclutamos a 619 estudiantes de cuarto grado (8-11 años) de 37 escuelas de Melbourne y Wollongong, Australia. Los participantes completaron un cuestionario breve, una batería de pruebas cognitivas computarizadas y la prueba de colores y palabras de Stroop. Los padres completaron cuestionarios de exposición en nombre de sus hijos. El análisis utilizó regresión lineal múltiple. Las principales métricas de exposición fueron el número total de llamadas de teléfonos móviles e inalámbricos informadas semanalmente categorizadas en sin uso ("Ninguno"); uso menor o igual a la cantidad mediana ("Algo"); y uso mayor que la mediana ("Más"). El número medio de llamadas/semana fue de 2,5 para MP y 2,0 para CP. RESULTADOS: El uso de MP y CP para llamadas fue bajo; y solo 5 de 78 comparaciones del uso del teléfono con medidas cognitivas fueron estadísticamente significativas. El tiempo de reacción a la tarea de inhibición de respuesta fue más lento en aquellos que usaron un MP "Más" en comparación con el grupo de uso "Algo" y los no usuarios. Para el uso de CP, el tiempo de respuesta a la tarea de interferencia de Stroop fue más lento en el grupo "Más" frente al grupo "Algo", y la precisión fue peor en las tareas de reconocimiento visual y memoria episódica y la tarea de identificación. En un análisis exploratorio adicional, hubo alguna evidencia de un efecto de género en los tiempos de reacción medios. Las mayores usuarias de ambos tipos de teléfono fueron niñas. CONCLUSIONES: En general, hubo poca evidencia de que la función cognitiva estuviera asociada con el uso de CP y MP en este grupo de edad. Aunque hubo alguna evidencia de que los efectos del uso de MP y CP en la cognición pueden diferir según el género, esto necesita más exploración. Los resultados de CP pueden ser más confiables ya que los padres estimaron el uso del teléfono de los niños y los CP estaban en casa; Los resultados sobre el uso de CP fueron ampliamente consistentes con nuestro estudio anterior de niños mayores.

(E) Regel SJ, Tinguely G, Schuderer J, Adam M, Kuster N, Landolt HP, Achermann P. Campos electromagnéticos de radiofrecuencia pulsada: efectos dependientes de la dosis sobre el sueño, el EEG del sueño y el rendimiento cognitivo. *J Sleep Res*. 16(3):253-258, 2007. (HU, EE, BE, SL)

Para establecer una relación dosis-respuesta entre la intensidad de los campos electromagnéticos (CEM) y los efectos informados previamente sobre el cerebro, investigamos la influencia de la exposición a los CEM variando la intensidad de la señal en tres sesiones experimentales. La cabeza de 15 sujetos varones sanos fue expuesta unilateralmente durante 30 minutos antes de dormir a un CEM modulado por pulsos (señal similar a la de un teléfono GSM) con una tasa de absorción espacial específica máxima promediada en 10 g de (1) 0,2 W kg(-1), (2) 5 W kg(-1), o (3) exposición simulada en un diseño cruzado y doble ciego. Durante la exposición, los sujetos realizaron dos series de tres tareas cognitivas computarizadas, cada una presentada en un orden fijo [tarea de tiempo de reacción simple, tarea de tiempo de reacción de dos opciones (CRT), tarea de 1, 2 y 3 respuestas]. Inmediatamente después de la exposición, se registró polisomnográficamente el sueño nocturno durante 8 h. La arquitectura del sueño no se vio afectada por la exposición a los campos electromagnéticos. El análisis del electroencefalograma (EEG) del sueño reveló un aumento dependiente de la dosis de potencia en el rango de frecuencia del huso en el sueño no REM. La velocidad de reacción se desaceleró con el aumento de la intensidad del campo en la tarea 1-back, mientras que la precisión en la tarea CRT y N-back no se vio afectada de manera dependiente de la dosis. En resumen, este estudio revela los primeros indicios de una relación dosis-respuesta entre la intensidad del campo electromagnético y sus efectos sobre la fisiología cerebral, como lo demuestran los cambios en el EEG del sueño y en el rendimiento cognitivo.

(NE) Riddervold IS, Pedersen GF, Andersen NT, Pedersen AD, Andersen JB, Zachariae R, Mølhave L, Sigsgaard T, Kjaergaard SK. Función cognitiva y síntomas en adultos y adolescentes en relación con la radiación de radiofrecuencia de las estaciones base UMTS. *Bioelectromagnética*. 29(4):257-267, 2008. (HU, BE)

Existe una preocupación pública generalizada sobre los posibles efectos adversos para la salud de los teléfonos móviles en general y sus estaciones base asociadas en particular. Este estudio fue diseñado para investigar los efectos agudos de los campos electromagnéticos (CEM) de radiofrecuencia (RF) emitidos por las estaciones base de telefonía móvil del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) sobre la función cognitiva humana y los síntomas. Cuarenta adolescentes (15-16 años) y 40 adultos (25-40 años) fueron expuestos a cuatro condiciones: (1) simulación, (2) una onda continua (OC) a 2140 MHz, (3) una señal a 2140 MHz modulada como UMTS y (4) UMTS a 2140 MHz incluyendo todas las características de control en un diseño cruzado, aleatorizado y doble ciego. Cada exposición duró 45 min.

Durante la exposición, los participantes realizaron diferentes tareas cognitivas con la prueba Trail Making B (TMB) como resultado principal y completaron un cuestionario que medía los síntomas subjetivos autoinformados. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las condiciones UMTS y simuladas para el desempeño en TMB. Para los adultos, la diferencia estimada entre UMTS y simulada fue de -3,2% (-9,2%; 2,9%) y para los adolescentes de 5,5% (-1,1%; 12,2%).

No se encontraron cambios significativos en ninguna de las tareas cognitivas. Se observó un aumento en la "clasificación del dolor de cabeza" cuando se combinaron los datos de los adolescentes y los adultos (P = 0,027), un efecto que puede deberse a diferencias al inicio. En conclusión, la hipótesis principal de que la radiación UMTS reduce el rendimiento general en la prueba TMB no se confirmó. Sin embargo, sugerimos que la hipótesis de los síntomas subjetivos y la exposición a los campos electromagnéticos necesita más investigación.

(E) Roggeveen S, van Os J, Viechtbauer W, Lousberg R. Cambios en el EEG debido a la radiación de teléfonos móviles 3G inducida experimentalmente. *PLoS One*. 10(6):e0129496, 2015. (HU, EE)

El objetivo de este estudio fue investigar si la colocación durante 15 minutos de un teléfono móvil con marcación 3G provoca cambios directos en la actividad EEG en comparación con la colocación de un teléfono simulado. Además, se investigó si la colocación del teléfono móvil en la oreja o en el corazón daría lugar a resultados diferentes. Participaron 31 mujeres sanas. A todos los sujetos se les midió dos veces: uno de los dos días el teléfono móvil estaba adherido a la oreja, el otro día en el pecho. En este diseño cruzado, a simple ciego, se realizaron evaluaciones en la condición de teléfono simulado directamente antes y después de la exposición al teléfono móvil. Durante cada evaluación, se registraron conjuntamente la actividad del EEG y la radiación de radiofrecuencia. Se calculó la actividad delta, theta, alfa, beta lenta, beta rápida y gamma. La asociación entre la exposición a la radiación y el EEG se probó utilizando análisis de regresión aleatoria multinivel con la radiación como predictor de interés principal. Se encontraron efectos significativos de la radiación para las bandas alfa, beta lenta, beta rápida y gamma. Cuando se analizaron por separado, la ubicación del teléfono en la oreja se asoció con resultados significativos, mientras que la ubicación en el pecho no. Los resultados respaldan la noción de que las alteraciones del EEG están asociadas con el uso del teléfono móvil y que el efecto depende del lugar de colocación. Se requieren más estudios para demostrar la relevancia fisiológica de estos hallazgos.

(E) Roggeveen S, van Os J, Lousberg R. ¿Detecta el cerebro los picos de radiación de los teléfonos móviles 3G? Un análisis exploratorio en profundidad de un estudio experimental. PLoS One. 10(5):e0125390, 2015. (HU, EE)

Este estudio tuvo como objetivo investigar si los picos de radiación de los teléfonos móviles de tercera generación dan lugar a potenciales relacionados con eventos. Participaron 31 mujeres sanas. En este diseño cruzado, a simple ciego, se comparó una exposición a un teléfono móvil de 15 minutos con dos condiciones de teléfono simulado de 15 minutos, una anterior y otra posterior a la condición de exposición. Se midió a cada participante en dos días separados, en los que la colocación del teléfono móvil varió entre la oreja y el corazón. La actividad del EEG y la radiación de radiofrecuencia se registraron conjuntamente. Se extrajeron épocas de 1200 ms, comenzando 200 ms antes y durando hasta 1000 ms después del inicio de un pico de radiación, de la condición de exposición. Las épocas de control se seleccionaron aleatoriamente de las dos condiciones de teléfono simulado. La principal hipótesis a priori que se iba a probar se refería a un aumento del área en el intervalo de 240-500 ms posterior al estímulo, en la sesión de exposición con colocación en la oreja. Mediante análisis de regresión multinivel, el efecto de interacción ubicación*exposición fue significativo para las regiones corticales frontal y central, lo que indica que solo en la exposición al teléfono móvil con la ubicación en la oreja se encontró una reactividad cortical aumentada. Los análisis post-hoc basados en la inspección visual de los ERP mostraron una segunda área significativamente aumentada entre 500 y 1000 ms después del estímulo para casi todas las ubicaciones de EEG medidas. Se concluyó que, cuando se coloca un teléfono móvil en la oreja, su radiación, aunque de manera inconsciente, es detectada eléctricamente por el cerebro. La cuestión de si esta reactividad cortical produce o no un resultado negativo para la salud debe responderse en futuros experimentos longitudinales.

(NE) Roser K, Schoeni A, Rösli M. Uso de teléfonos móviles, problemas de conducta y capacidad de concentración en adolescentes: un estudio prospectivo. Int J Hyg Environ Health.; 219(8):759-769, 2016. (HU, BE)

El objetivo de este estudio es investigar prospectivamente si la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) emitidos por teléfonos móviles y otros dispositivos de comunicación inalámbrica está relacionada con problemas de conducta o capacidad de concentración en adolescentes. La muestra del estudio HERMES (Health Effects Related to Mobile phone use in teenagerS) consistió en 439 adolescentes suizos de 12 a 17 años. Los problemas de conducta se evaluaron utilizando el Cuestionario de fortalezas y dificultades (SDQ), la capacidad de concentración de los adolescentes se midió por medio de una prueba cognitiva computarizada estandarizada llamada FAKT. Se realizaron análisis transversales y longitudinales (1 año de seguimiento) para investigar posibles asociaciones entre los problemas de conducta y la capacidad de concentración y diferentes medidas de exposición: uso de dispositivos de comunicación inalámbrica informados por los propios participantes y registrados por el operador, dosis acumulada de RF-EMF en el cerebro y en todo el cuerpo y exposición personal a RF-EMF medida. En los análisis transversales, los problemas de conducta se asociaron con varias mediciones de uso de dispositivos inalámbricos autoinformadas, pero no con mediciones de uso de teléfonos móviles registradas por el operador; la capacidad de concentración se asoció con varias exposiciones autoinformadas y registradas por el operador. Los análisis longitudinales apuntan hacia la ausencia de asociaciones. La falta de patrones consistentes de exposición-respuesta en los análisis longitudinales sugiere que los problemas de conducta y la capacidad de concentración no se ven afectados por el uso de dispositivos de comunicación inalámbrica o la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia. El sesgo de información y la causalidad inversa son explicaciones probables para los hallazgos transversales observados.

(E) Şahin A, Aslan A, Baş O, İkinci A, Özyılmaz C, Fikret Sönmez O, Çolakoğlu S, Odacı E.

Efectos nocivos de un campo electromagnético de 900 MHz sobre las neuronas piramidales del hipocampo de ratas Sprague Dawley macho de 8 semanas de edad. Brain Res. 1624:232-238, 2015. (AS, CE, ME)

Los niños corren un riesgo potencial debido al uso intenso de los teléfonos móviles. Examinamos ratas de 8 semanas de edad porque esa edad es comparable con el período preadolescente en humanos. Se examinó el número de neuronas piramidales en el cuerno de la rata macho Sprague Dawley (de 8 semanas de edad, con un peso de 180-250 g) tras la exposición a un campo electromagnético (CEM) de 900 MHz (MHz). El estudio consistió en grupos de control (CN-G), exposición simulada (SHM-EG) y exposición a CEM (CEM-EG), 6 ratas en cada uno. Las ratas CEM-EG fueron expuestas a CEM de 900 MHz (1 h/día durante 30 días) en un frasco CEM. Las ratas SHM-EG fueron colocadas en el frasco CEM pero no expuestas a CEM (1 h/día durante 30 días). Las ratas CN-G no fueron colocadas en el frasco de exposición y no fueron expuestas a CEM durante el período de estudio. Todos los animales fueron sacrificados al final del experimento y se les extrajo el cerebro para realizar análisis histopatológicos y estereológicos. El número de neuronas piramidales en el cuerno de Amón del hipocampo se estimó en secciones del cerebro teñidas con violeta de cresilo utilizando la técnica de recuento con disector óptico.

También se realizaron evaluaciones histopatológicas en estas secciones. La observación histopatológica mostró abundantes células con citoplasma anormal, negro o azul oscuro y morfología encogida entre las neuronas piramidales normales. Los ventrículos laterales más grandes se observaron en las secciones EMF-EG en comparación con las de los otros grupos. Los análisis estereológicos mostraron que el número total de neuronas piramidales en el cornu ammonis de las ratas EMF-EG fue significativamente menor que en CN-G ($p < 0,05$) y SHM-EG ($p < 0,05$). En conclusión, nuestros resultados sugieren que la pérdida de neuronas piramidales y los cambios histopatológicos en el cornu ammonis de ratas macho de 8 semanas de edad pueden deberse a la exposición a EMF de 900 MHz.

(E) Saikhedkar N, Bhatnagar M, Jain A, Sukhwal P, Sharma C, Jaiswal N. Efectos de la radiación de los teléfonos móviles (radiofrecuencia de 900 MHz) en la estructura y las funciones del cerebro de ratas. *Neurol Res.* 36:1072-1076, 2014. (AS, CE, BE, CC, OX)

Objetivos: Los objetivos de este estudio fueron: (1) obtener información básica sobre los efectos del uso a largo plazo del teléfono móvil en la composición citológica del hipocampo en el cerebro de ratas (2) evaluar los efectos en el estado antioxidante, y (3) evaluar los efectos en el comportamiento cognitivo, particularmente en el aprendizaje y la memoria. Métodos: Las ratas (de 30 días de edad, 120 ± 5 g) fueron expuestas a ondas de radio de 900 MHz por medio de un teléfono móvil durante 4 horas al día durante 15 días. Los efectos en la ansiedad, el aprendizaje espacial y la memoria se estudiaron utilizando la prueba de campo abierto, el laberinto en cruz elevada, el laberinto acuático de Morris (MWM) y la prueba del laberinto clásico. También se estudiaron los efectos en el estado antioxidante del cerebro. Se realizó una tinción con violeta de cresilo para acceder al daño neuronal. Resultado: Los animales de prueba mostraron un cambio significativo en el comportamiento, es decir, más ansiedad y aprendizaje deficiente en comparación con los controles y el grupo simulado. En ratas de prueba se observó un cambio significativo en el nivel de enzimas antioxidantes y antioxidantes no enzimáticos y un aumento en la peroxidación lipídica. El examen histológico mostró células neurodegenerativas en subregiones del hipocampo y la corteza cerebral. Discusión: Por lo tanto, nuestros hallazgos indican una neurodegeneración extensa por exposición a ondas de radio. El aumento de la producción de especies reactivas de oxígeno debido al agotamiento de antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos y el aumento de la peroxidación lipídica indican una neurodegeneración extensa en áreas selectivas de CA1, CA3, DG y corteza cerebral. Este daño neuronal extenso resulta en alteraciones en el comportamiento relacionado con la memoria y el aprendizaje.

(NE) Sakurai T, Kiyokawa T, Narita E, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J. Análisis de la expresión génica en una línea de células gliales derivadas de humanos expuestas a radiofrecuencia continua de 2,45 GHz Campos electromagnéticos. *J Radiat Res.* 52(2):185-192, 2011. (CS, CH)

El uso creciente de teléfonos móviles ha despertado la preocupación pública con respecto a los posibles riesgos para la salud de los campos de radiofrecuencia (RF). Investigamos los efectos de la exposición a campos de RF (2,45 GHz, onda continua) a una tasa de absorción específica (SAR) de 1, 5 y 10 W/kg durante 1, 4 y 24 h sobre la expresión génica en una línea celular glial humana normal, SVGp12, utilizando una micromatriz de ADN. El análisis de la micromatriz reveló 23 puntos genéticos asignados y 5 puntos genéticos no asignados como posibles puntos genéticos alterados. Veintidós genes de los 23 puntos genéticos asignados se analizaron más a fondo mediante reacción en cadena de la polimerasa con transcripción inversa para validar los resultados de la micromatriz, y no se observaron alteraciones significativas en la expresión génica. En las condiciones experimentales utilizadas en este estudio, no encontramos evidencia de que la exposición a campos de RF afectara la expresión génica en células SVGp12.

(NE) Salunke BP, Umathe SN, Chavan JG. Ineficacia conductual de los campos electromagnéticos de alta frecuencia en ratones. *Physiol Behav.* 140:32-37, 2015. (AS, CE, BE)

La presente investigación se llevó a cabo con el objetivo de estudiar la influencia de los campos electromagnéticos de alta frecuencia (AF-EMF) en la ansiedad, el trastorno obsesivo compulsivo (TOC) y el comportamiento similar a la depresión. Para la exposición a los AF-EMF, se utilizó material no magnético para fabricar la carcasa. Los ratones fueron expuestos a AF-EMF (2,45 GHz), 60 min/día durante 7 o 30 o 60 o 90 minutos.

120 días. La exposición se llevó a cabo encendiendo el dispositivo BLUETOOTH de clase I incorporado que funciona en la frecuencia de 2,45 GHz en modo de transferencia de archivos a una densidad máxima de 100 mW. Los ratones fueron sometidos a la evaluación de la ansiedad, el TOC y el comportamiento similar a la depresión durante 7, 30, 60, 90 o 120 días de exposición. El comportamiento similar a la ansiedad se evaluó mediante el laberinto en cruz elevado, la prueba de campo abierto y la prueba de interacción social. El comportamiento similar al TOC se evaluó mediante el comportamiento de enterrar canicas, mientras que el comportamiento similar a la depresión se evaluó mediante la prueba de natación forzada y la prueba de suspensión de la cola. El presente experimento demuestra que hasta 120 días de exposición a campos electromagnéticos de alta frecuencia no produce ansiedad, TOC ni comportamiento similar a la depresión en ratones.

Sam J, Catapano M, Sahni S, Ma F, Abd-Elsayed A, Visnjevac O Radiofrecuencia pulsada en el tratamiento intervencionista del dolor: mecanismos de acción celulares y moleculares: actualización y revisión. *Pain Physician* 2021; 24(8):525-532. (Revisión) (MA)

Antecedentes: El tratamiento con radiofrecuencia pulsada (PRF) utiliza pulsaciones cortas y de baja energía para modular las características del tejido. El tratamiento con PRF ha sido eficaz como técnica intervencionista para el tratamiento de diversos trastornos de dolor neuropático crónico (neuralgia), pero no se ha actualizado una revisión exhaustiva de su mecanismo biológico en una década.

Objetivos: En esta revisión de la literatura, realizamos una búsqueda bibliográfica en PubMed para identificar publicaciones que describan los mecanismos de acción de la radiofrecuencia pulsada para indicaciones de dolor.

Diseño del estudio: Revisión narrativa de la literatura. Métodos: Se realizó una búsqueda sistemática a través de PubMed desde el inicio de la base de datos hasta el 31 de diciembre de 2019, para identificar todos los artículos que abordaran los mecanismos celulares o moleculares de acción de la PRF en el dolor neuropático. Se utilizaron los términos de búsqueda "radiofrecuencia pulsada" y "mecanismos de la radiofrecuencia pulsada".

Los mecanismos celulares y moleculares de las intervenciones con PRF se subdividieron en 3 grandes categorías: señalización nociceptiva, actividad inmunitaria y función sináptica. Se identificaron 20 publicaciones en total para su inclusión en esta revisión actualizada. Resultados: Se encontró que la radiofrecuencia pulsada afecta a muchas vías biológicas diferentes involucradas en la modulación del dolor neuropático crónico (neuralgia). Con respecto a la señalización nociceptiva, el tratamiento con PRF modula los canales iónicos (Na/K ATPasa, HCN, P2X3), CGRP, neurotransmisores (aspartato, citrulina, M-ENK, glutamato), receptores postsinápticos (AMPA-R, GABA-B) y función sináptica (KCC2). El tratamiento con PRF también modula la actividad inmunitaria, incluidos los marcadores microgliales (CD3, CD56, Iba1), las citocinas inflamatorias (IL-6, IL-17, IRF8, IFN-g, TNF α) y las proteínas intracelulares implicadas en el dolor neuropático inmunomediado (BDNF, b-catenina, JNK, p38, ERK1/2). Limitaciones: Esta revisión está limitada principalmente por los diversos conjuntos de datos que se necesitaban cotejar y correlacionar, ya que ningún estudio fue exhaustivo al abordar todos los marcadores, citocinas, vías, neurotransmisores, canales iónicos, proteínas, genes y cambios en la expresión génica, junto con sus resultados clínicos al mismo tiempo. Como tal, no se puede concluir la interacción de estas vías y mecanismos individuales y sus efectos aislados sobre la eficacia de la PRF. Más bien, la gran mayoría de los hallazgos pueden verse como asociaciones en lugar de relaciones causales definitivas con los resultados clínicos. Conclusiones: En este artículo se describe una actualización cotejada clínicamente relevante que describe los mecanismos de acción celulares y moleculares de la PRF para el tratamiento del dolor.

(E) Sarapultseva EI, Igolkina JV, Tikhonov VN, Dubrova YE. LOS EFECTOS IN VIVO DE LOS CAMPOS DE RADIOFRECUENCIA DE BAJA INTENSIDAD EN LA ACTIVIDAD MOTORA DE LOS PROTOZOOS. *Int J Radiat Biol.* 90:262-267, 2014. (AS, BE, LI)

Objetivo: Analizar los efectos directos y transgeneracionales de la exposición a dosis bajas de campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) de 1 GHz (rango de telefonía móvil/telecomunicaciones inalámbricas) y 10 GHz (rango de comunicación por radar/satélite) sobre la motilidad de los ciliados *Spirostomum ambiguum*. Materiales y métodos: *S. ambiguum* fue expuesto a RF-EMF de 1 GHz y 10 GHz con densidades de flujo de potencia (PD) que oscilaban entre 0,05 y 0,5 W/m² durante un período de tiempo de 0,05 a 10 h. Se midió la motilidad de los ciliados expuestos directamente y su progenie no expuesta a lo largo de 10-15 generaciones. Resultados: La exposición a 0,1 W/m² de RF-EMF de 1 o 10 GHz resultó en una disminución significativa de la motilidad. La dosis de exposición capaz de alterar la movilidad de los ciliados se correlacionó inversamente con la densidad de flujo de RF-EMF. La motilidad de la progenie no expuesta de ciliados irradiados con 0,1 W/m² de RF-EMF de 10 GHz permaneció significativamente comprometida, al menos, a lo largo de 10-15 generaciones, lo que indica la presencia de efectos transgeneracionales. Conclusiones: Los resultados de nuestro estudio muestran que la exposición a dosis bajas de RF-EMF puede afectar significativamente la motilidad de los ciliados irradiados y su progenie no expuesta, lo que proporciona más información sobre los mecanismos desconocidos que subyacen a los efectos in vivo de RF-EMF.

(NE) Sauter C, Dorn H, Bahr A, Hansen ML, Peter A, Bajbouj M, Danker-Hopfe H. Efectos de la exposición a campos electromagnéticos emitidos por teléfonos móviles GSM 900 y WCDMA sobre la función cognitiva en sujetos varones jóvenes. *Bioelectromagnetics*. 32(3):179-190, 2011. (HU, BE)

Los resultados de los estudios sobre los posibles efectos de los campos electromagnéticos emitidos por los teléfonos móviles sobre las funciones cognitivas son contradictorios, por lo tanto, los posibles efectos de la exposición a largo plazo (7 h 15 min) a los campos electromagnéticos (CEM) a las señales similares a las de los teléfonos móviles del Sistema Global para Móviles. Se estudió el efecto de las comunicaciones GSM (GSM) 900 y el acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA) sobre la atención y la memoria de trabajo. La muestra estuvo compuesta por 30 sujetos varones sanos (media \pm DE: 25,3 \pm 2,6 años), que fueron evaluados durante nueve días de estudio en los que fueron expuestos a tres condiciones de exposición (simulación, GSM 900 y WCDMA) en un orden aleatorio y equilibrado. Todas las pruebas se presentaron dos veces (mañana y tarde) en cada día de estudio dentro de un marco de tiempo fijo. Las comparaciones univariadas revelaron cambios significativos cuando los sujetos fueron expuestos a GSM 900 en comparación con la simulación, solo en la prueba de vigilancia. En la condición de exposición a WCDMA, un parámetro en la vigilancia y uno en la prueba de atención dividida se alteraron en comparación con la simulación. El rendimiento en la prueba de atención selectiva y la tarea n-back no se vio afectado por la exposición a GSM 900 o WCDMA. Los efectos de la hora del día fueron evidentes para las pruebas de atención dividida y selectiva, así como para la memoria de trabajo. Después de realizar correcciones para múltiples pruebas, solo los efectos de la hora del día siguieron siendo significativos en dos pruebas, lo que dio como resultado reacciones más rápidas en las pruebas de la tarde. Los resultados del presente estudio no brindan ninguna evidencia de un efecto de los campos electromagnéticos en la cognición humana, pero subrayan la necesidad de controlar la hora del día.

(NE) Sauter C, Eggert T, Dorn H, Schmid G, Bolz T, Marasanov A, Hansen ML, Peter A, Danker-Hopfe H. ¿Las señales de un transmisor TETRA portátil afectan el rendimiento cognitivo, el bienestar, el estado de ánimo o las quejas somáticas en hombres jóvenes sanos? Resultados de un estudio de provocación cruzado, aleatorizado y doble ciego. *Environ Res*. 140:85-94, 2015. (HU, BE)

ANTECEDENTES: TETRA (radio troncal terrestre) es un estándar de comunicación por radio digital que se ha implementado en varios países europeos y es utilizado por ejecutivos públicos, servicios de transporte y empresas privadas. Faltan estudios sobre los posibles impactos en la salud de los usuarios considerando diferentes condiciones de exposición. OBJETIVOS: Investigar los posibles efectos agudos de los campos electromagnéticos (CEM) de dos niveles diferentes de señales de transmisores portátiles TETRA sobre la función cognitiva y el bienestar en varones jóvenes sanos.

MÉTODOS: En el presente estudio doble ciego cruzado se analizaron los posibles efectos del tratamiento a corto plazo (2,5 h) Se estudió la exposición a los campos electromagnéticos de las señales TETRA (385 MHz) similares a las de los teléfonos móviles en 30 participantes varones sanos (media \pm DE: 25,4 \pm 2,6 años). Los sujetos fueron evaluados durante nueve días de estudio, en los que estuvieron expuestos a tres condiciones de exposición diferentes (simulación, TETRA 1,5 W/kg y TETRA 6,0 W/kg) en un orden aleatorio y equilibrado. Los participantes fueron evaluados por la tarde en un horario fijo. RESULTADOS: La atención se mantuvo sin cambios en dos de las tres tareas. En la memoria de trabajo se observaron cambios significativos en dos de las cuatro subtareas. Se encontraron resultados significativos en 5 de los 35 parámetros evaluados, cuatro de ellos llevaron a una mejora en el rendimiento. El estado de ánimo, el bienestar y las quejas somáticas subjetivas no se vieron afectados por la exposición a TETRA. CONCLUSIONES: Los resultados del presente estudio no indican un impacto negativo de un efecto EMF a corto plazo de TETRA sobre la función cognitiva y el bienestar en hombres jóvenes sanos.

(E) Schmid MR, Loughran SP, Regel SJ, Murbach M, Bratic Grunauer A, Rusterholz T, Bersagliere A, Kuster N, Achermann P. Alteraciones del EEG durante el sueño: efectos de diferentes campos electromagnéticos de radiofrecuencia modulados por pulsos. J Sleep Res. 21(1):50-58, 2012a. (HU, EE, BE, SL, WS)

Estudios previos han observado aumentos en la potencia electroencefalográfica durante el sueño en el rango de frecuencia del huso (aproximadamente 11-15 Hz) después de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia similares a los de los teléfonos móviles (RF EMF). Los resultados también sugieren que la modulación del pulso de la señal es crucial para inducir estos efectos. Sin embargo, sigue sin estar claro qué elementos específicos del campo son responsables de los cambios observados. Investigamos si los componentes de frecuencia de modulación de pulso en el rango de los husos del sueño pueden estar involucrados en la mediación de estos efectos. Treinta hombres jóvenes sanos fueron expuestos, a intervalos semanales, a tres condiciones diferentes durante 30 minutos directamente antes de un período de sueño de 8 horas. La exposición consistió en un EMF de RF de 900 MHz, modulado por pulso a 14 Hz o 217 Hz, y una condición de control simulada. Ambas condiciones activas tuvieron una tasa de absorción específica espacial máxima de 2 W kg⁻¹. Durante la exposición, los sujetos realizaron tres tareas cognitivas diferentes (medición de la atención, la velocidad de reacción y la memoria de trabajo), que se presentaron en un orden fijo. La potencia electroencefalográfica en el rango de frecuencia del huso aumentó durante el sueño sin movimientos oculares rápidos (segundo episodio) después de la condición de modulación de pulso de 14 Hz. También se observó un aumento similar pero no significativo después de la condición de modulación de pulso de 217 Hz. Es importante destacar que este efecto inducido por la exposición mostró una variabilidad individual considerable. Con respecto al rendimiento cognitivo, no se observaron efectos claros relacionados con la exposición. En consonancia con hallazgos anteriores, nuestros resultados proporcionan más evidencia de que los campos electromagnéticos de radiofrecuencia modulados por pulso alteran la fisiología cerebral, aunque la evolución temporal

El grado de efecto sigue siendo variable en los distintos estudios. Además, demostramos que los componentes de frecuencia de modulación dentro de un rango fisiológico pueden ser suficientes para inducir estos efectos.

(E) Schmid MR, Murbach M, Lustenberger C, Maire M, Kuster N, Achermann P, Loughran SP.

Alteraciones del EEG durante el sueño: efectos de los campos magnéticos pulsados frente a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia modulados por pulsos. J Sleep Res. 21(6):620-629, 2012b. (HU, EE, SL)

Los estudios han demostrado repetidamente que la potencia electroencefalográfica durante el sueño aumenta en el rango de frecuencia del huso después de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia modulados por pulsos con componentes de frecuencia fundamental de 2, 8, 14 o 217 Hz y combinaciones de estos. Sin embargo, las señales utilizadas en estudios anteriores también tenían componentes armónicos significativos por encima de los 20 Hz. El estudio actual tenía como objetivo: (i) determinar si los componentes de modulación por encima de los 20 Hz Los Hz, en combinación con la radiofrecuencia, son necesarios para alterar el electroencefalograma; y (ii) para probar la hipótesis de demodulación, si los mismos efectos ocurren después de la exposición al campo magnético con la misma secuencia de pulsos utilizada en la exposición a la radiofrecuencia modulada por pulsos. En un diseño cruzado, doble ciego y aleatorizado, 25 hombres jóvenes sanos fueron expuestos a intervalos semanales a tres condiciones diferentes durante 30 minutos antes de dormir. También se realizaron tareas cognitivas durante la exposición. Las condiciones fueron un campo de radiofrecuencia modulado por pulsos de 2 Hz, un campo magnético pulsado de 2 Hz y simulación. La exposición a la radiofrecuencia aumentó la potencia del electroencefalograma en el rango de frecuencia del huso. Además, la actividad delta y theta (sueño sin movimientos oculares rápidos) y la actividad alfa y delta (sueño con movimientos oculares rápidos) se vieron afectadas después de ambas condiciones de exposición. No se observó ningún efecto sobre la arquitectura del sueño ni un impacto claro de la exposición sobre la cognición. Estos resultados demuestran que tanto la radiofrecuencia modulada por pulsos como los campos magnéticos pulsados afectan la fisiología cerebral, y la presencia de componentes de frecuencia significativos por encima de 20 Hz no son fundamentales para que ocurran estos efectos. Debido a que las respuestas no fueron idénticas para todas las exposiciones, el estudio no respalda la hipótesis de que los efectos de la exposición a la radiofrecuencia se basan únicamente en la demodulación de la señal.

(E) Schneider J, Stangassinger M. Efectos no térmicos de la exposición a campos electromagnéticos de alta frecuencia durante toda la vida sobre el rendimiento de la memoria social en ratas. Behav Neurosci. 128:633-637, 2014. (AS, CE, EB, WS)

En la actualidad, estamos rodeados casi constantemente de campos electromagnéticos (CEM) de alta frecuencia procedentes de estaciones base de comunicaciones móviles. Sin embargo, hasta la fecha ha habido poca preocupación por los efectos no térmicos de los CEM sobre la cognición. En el presente estudio, ratas macho y hembra fueron sometidas a una exposición continua de campo lejano a una frecuencia de 900 MHz (Sistema Global para Comunicaciones Móviles [GSM]) o 1,966 GHz (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles [UMTS]) a 0,4 W/kg. Se evaluó el rendimiento de la memoria de ratas hembras adultas expuestas a CEM y ratas macho expuestas simuladamente (a los 6 meses de edad) y ratas macho (a los 3 y 6 meses de edad) utilizando un procedimiento de discriminación social. Para este procedimiento, se introdujo un macho joven objetivo en la jaula del sujeto durante 4 minutos (Prueba 1). Después de 30 minutos, el mismo animal objetivo y un macho joven nuevo se presentaron simultáneamente al sujeto durante 4 minutos (Prueba 2). Las diferencias en la duración del olfateo de las ratas objetivo conocidas y nuevas durante la Prueba 2 se utilizaron para evaluar la memoria.

Rendimiento. Las hembras expuestas a campos electromagnéticos no mostraron diferencias en la duración del olfateo en comparación con los controles. En cambio, la duración del olfateo de los machos expuestos a campos electromagnéticos a los 3 meses de edad se vio afectada significativamente. A los 6 meses de edad, los adultos machos expuestos a GSM, pero no a UMTS, mostraron un déficit en el rendimiento de la memoria. Estos hallazgos proporcionan una nueva perspectiva sobre los efectos no térmicos de la exposición a campos electromagnéticos de alta frecuencia a largo plazo sobre la memoria.

(E) Schoeni A, Roser K, Röösl M. Rendimiento de la memoria, comunicación inalámbrica y exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia: un estudio de cohorte prospectivo en adolescentes. Environ Int. 85:343-351, 2015.

(HU, CE, BE)

ANTECEDENTES: El objetivo de este estudio es investigar si el rendimiento de la memoria en adolescentes se ve afectado por los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) del uso de dispositivos inalámbricos o por el uso del dispositivo inalámbrico en sí debido a factores no relacionados con la radiación en ese contexto.

MÉTODOS: Realizamos un estudio de cohorte prospectivo con 439 adolescentes. Se completaron tareas de memoria verbal y figurativa al inicio y al cabo de un año utilizando una batería de pruebas cognitivas estandarizadas y computarizadas. Se indagó sobre el uso de dispositivos inalámbricos mediante un cuestionario y se obtuvieron datos de uso del teléfono móvil registrados por el operador para un subgrupo de 234 adolescentes. Se calcularon mediciones de dosis de RF-EMF considerando varios factores que afectan la exposición a RF-EMF para el cerebro y el cuerpo entero. Los datos se analizaron utilizando un enfoque longitudinal, para investigar si la exposición acumulada durante un año estaba relacionada con cambios en el rendimiento de la memoria.

Todos los análisis se ajustaron para factores de confusión relevantes. RESULTADOS: Los coeficientes kappa entre la duración acumulada de la llamada telefónica móvil y la dosis de RF-EMF en el cerebro y en todo el cuerpo fueron de 0,62 y 0,67, respectivamente, para toda la muestra, y de 0,48 y 0,28, respectivamente, para la muestra con datos del operador. En los modelos lineales de exposición-respuesta, un aumento intercuartil en la duración acumulada de la llamada telefónica móvil registrada por el operador se asoció con una disminución en la puntuación de rendimiento de memoria figural de -0,15 (IC del 95 %: -0,33, 0,03) unidades. Para la dosis acumulada de RF-EMF en el cerebro y en todo el cuerpo, las disminuciones correspondientes en las puntuaciones de memoria figural fueron de -0,26 (IC del 95 %: -0,42, -0,10) y -0,40 (IC del 95 %: -0,79, -0,01), respectivamente. No se observaron asociaciones entre la exposición y la respuesta en el caso del envío de mensajes de texto y la duración del juego, que produce emisiones de campos electromagnéticos de radiofrecuencia minúsculas. CONCLUSIONES: Un cambio en el rendimiento de la memoria a lo largo de un año se asoció negativamente con la duración acumulada del uso del teléfono inalámbrico y, más fuertemente, con la dosis de campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Esto puede indicar que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia afecta al rendimiento de la memoria.

(E) Seckin E, Suren Basar F, Atmaca S, Kaymaz FF, Suzer A, Akar A, Sunan E, Koyuncu M. El efecto de la radiación de radiofrecuencia generada por una fuente del Sistema Global para Comunicaciones Móviles en el desarrollo coclear en un modelo de rata. J Laryngol Otol. 128:400-405, 2014. (AS, CE, CC, DE)

Objetivo: Este estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de la radiación de radiofrecuencia generada por fuentes del Sistema Global de Comunicaciones Móviles de 900 y 1800 MHz sobre el oído coclear.

Desarrollo en el modelo de rata. Métodos: Ocho ratas albinas Wistar preñadas se dividieron en tres grupos: control, 900 MHz y 1800 MHz. Los dos últimos grupos de ratas preñadas fueron expuestas a radiación de radiofrecuencia durante 1 hora por día a partir del día 12 de embarazo hasta el parto. Las ratas en los grupos de control, 900 MHz y 1800 MHz dieron a luz a 24, 31 y 26 ratas recién nacidas respectivamente. Las ratas recién nacidas en los grupos de 900 MHz y 1800 MHz fueron expuestas a radiación de radiofrecuencia durante 1 hora por día durante 21 días después del parto. Las evaluaciones auditivas de las ratas recién nacidas se llevaron a cabo utilizando pruebas de otoemisiones acústicas de productos de distorsión. Ocho ratas recién nacidas fueron seleccionadas aleatoriamente de cada grupo para la evaluación microscópica electrónica. Resultados: Las pruebas de otoemisiones acústicas de productos de distorsión no revelaron diferencias significativas entre los grupos, pero la evaluación microscópica electrónica reveló diferencias significativas entre los grupos con respecto al número de células normales, apoptóticas y necróticas. Conclusión: Los hallazgos indicaron daño estructural celular en la cóclea causado por la exposición a la radiación de radiofrecuencia durante el desarrollo coclear en el modelo de rata.

(E) Seymen CM, Ilgaz C, Erdogan D, Elmas C, Yar Saglam AS, Elmazoglu Z, Sirav Aral B, Take Kaplanoglu G. La melatonina modula las vías del receptor NMDA 2B/calpaína-1/caspasa-12 en el cerebro de ratas después de una exposición prolongada a la radiación GSM. Turk Neurosurg. 11 de julio de 2019. doi: 10.5137/1019-5149.JTN.26492-19.2. (AS, CE, YO, CH)

OBJETIVO: En este estudio nos propusimos investigar los posibles efectos protectores de la melatonina sobre la radiación crónica emitida por los teléfonos móviles de tercera generación en el cerebro. MATERIAL Y MÉTODOS: Se dividieron 24 ratas albinas Wistar macho en cuatro grupos iguales. A lo largo de un período de 90 días, se evaluó el efecto protector de la melatonina sobre la radiación crónica emitida por los teléfonos móviles de tercera generación en el cerebro. En el experimento de un día, no se realizó ninguna aplicación en el grupo de control. El segundo grupo fue expuesto a una radiación de 2100 MHz durante 30 minutos. Se inyectó melatonina subcutánea al tercer grupo. La inyección de melatonina subcutánea se aplicó 40 minutos antes de la radiación y luego el cuarto grupo fue expuesto a la radiación durante 30 minutos. Al final del experimento, se tomaron tejidos cerebrales (cerebro y cerebelo) de los sujetos. Se aplicaron análisis histoquímicos, inmunohistoquímicos, ultraestructurales y de transferencia Western. Además del peso del cerebro, se examinaron estadísticamente el número de células de Purkinje, los análisis inmunohistoquímicos de la puntuación H y los resultados de la transferencia Western. RESULTADOS: Como resultado, con la aplicación de radiación, se observó edema neuronal, números relativamente disminuidos de neuronas en las regiones CA1 y CA3 del hipocampo, desplazamiento de las neuronas de Purkinje y hallazgos de neuronas oscuras como resultado de las tinciones histoquímicas. La radiación también activó la vía del receptor NMDA 2B/calpaína-1/caspasa-12, el receptor NMDA 2B y la calpaína-1, hallazgos respaldados por análisis de transferencia Western. Se identificó una síntesis de proteínas aumentada antes de la apoptosis mediante microscopía electrónica. CONCLUSIÓN: En conjunto, la radiación del teléfono móvil provocó ciertos cambios (ultra) estructurales en el cerebro y activó la vía del receptor NMDA 2B/calpaína-1/caspasa-12; además, la melatonina fue eficaz, pero insuficiente para demostrar algún efecto protector.

(E) Shahi A, Shahnazar F, Nematollahi S, Dehghan A, Shojaeifard MB. ¿La exposición a la radiación emitida por los bloqueadores de señales móviles influye en la memoria espacial? Int J Radiat Res 2021, 19(4): 993-1000. (AS, BE)

Antecedentes: El sistema nervioso central es sensible a la exposición a la radiación como la contaminación ambiental. Este proyecto tuvo como objetivo evaluar la influencia de la radiación de la exposición a los inhibidores en la

Aprendizaje y memoria. Materiales y métodos: Se dividieron 50 ratas Sprague-Dawley macho adultas en cinco grupos. Los grupos experimentales fueron expuestos a la radiación del inhibidor durante 2 h/día una vez o 2 h/día durante dos semanas. Los grupos simulados fueron similares a los grupos experimentales que fueron expuestos al apagado. La distancia desde el enrutador del inhibidor hasta las jaulas de los animales fue de 30 cm. En la segunda fase, utilizando el laberinto acuático de Morris, se estudió el efecto de la radiación de exposición al inhibidor en el aprendizaje espacial y la memoria. Resultados: Los datos mostraron que la exposición a la radiación una vez al día durante 2 semanas fue similar a la de los grupos experimentales que fueron expuestos al apagado. h provocó un aumento significativo en el proceso de aprendizaje en el grupo experimental 1, pero observamos un aumento en los parámetros de distancia y latencia de escape para encontrar la plataforma durante dos semanas de exposición en el grupo experimental 2. Conclusión: Los resultados indicaron que probablemente La motivación de escape y el uso de diferentes señales condujeron al aprendizaje en los animales, mientras que la interrupción del rendimiento móvil a través de un enrutador bloqueador del entorno animal provocó un mejor rendimiento cerebral en el aprendizaje espacial y la memoria en el grupo de animales tratados con radiación bloqueadora a corto plazo. Sin embargo, con las mismas condiciones de prueba, en el grupo de animales tratados con radiación bloqueadora a largo plazo, la motivación se redujo, lo que afectó las respuestas y el rendimiento y redujo el aprendizaje. Además, los conflictos ambientales como las ondas de radiofrecuencia conducen a alteraciones del comportamiento.

(E) Sharma A, Sisodia R, Bhatnagar D, Saxena VK. Memoria espacial y rendimiento de aprendizaje y su relación con la síntesis de proteínas de ratones albinos suizos expuestos a microondas de 10 GHz.

Int J Radiat Biol. 90:29-35, 2014. (AS, CE, BE, CH)

Objetivo: Estudiar el posible papel de la exposición a microondas (MW) en la memoria espacial de ratones albinos suizos y su relación con la concentración de proteínas en todo el cerebro. Materiales y métodos: Los ratones fueron expuestos a microondas de 10 GHz (Giga Hertz) con una densidad de potencia de 0,25 mW/cm² (milivatios por centímetro cuadrado) con una tasa de absorción específica corporal (SAR) media de 0,1790 W/kg al día durante 2 horas al día (h/día) durante 30 días. Tras la exposición, se evaluó el rendimiento de la memoria espacial de los ratones utilizando la prueba del laberinto acuático de Morris (MWT). Para ello, los ratones (de 6 a 8 semanas de edad) se dividieron en dos grupos (i) expuestos simuladamente y (ii) expuestos a microondas. Tras el entrenamiento inicial de dos días, se realizó la MWT durante otros 6 días. La proteína se estimó 48 horas después de la exposición e inmediatamente después de completar la MWT. Resultados: Tanto los animales expuestos simuladamente como los expuestos a microondas mostraron una disminución significativa del tiempo de escape con el entrenamiento. Los animales expuestos a microondas tuvieron una latencia media estadísticamente significativamente mayor para alcanzar el cuadrante objetivo en comparación con los ratones expuestos simuladamente. Se estimó una disminución concurrente en los niveles de proteína en todo el cerebro de los ratones expuestos en comparación con los ratones expuestos simuladamente.

Conclusiones: Del presente estudio se puede concluir que la exposición a la radiación de microondas provocó disminuciones en la capacidad de los ratones para aprender la tarea de memoria especial, esto puede deberse a una disminución simultánea de los niveles de proteína en el cerebro de los ratones.

(E) Sharma A, Kesari KK, Saxena VK, Sisodia R. La radiación de microondas de diez gigahercios perjudica la memoria espacial, la actividad enzimática y la histopatología del cerebro de ratones en desarrollo.

Mol Cell Biochem. 3 de mayo de 2017. doi: 10.1007/s11010-017-3051-8. [Publicación electrónica antes de la impresión] (AS, CE, BE, ME, OX)

Durante décadas, ha habido una creciente preocupación por los peligros potenciales de los campos electromagnéticos no ionizantes que están presentes en el medio ambiente y que son alarmantes como un contaminante importante o electrocontaminante para el riesgo de salud y las enfermedades neuronales. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue explorar los efectos de la radiación de microondas de 10 GHz en el cerebro de ratones en desarrollo. Se seleccionaron ratones de dos semanas de edad y se dividieron en dos grupos (i) grupos de exposición simulada y (ii) grupos de exposición a microondas. Los animales fueron expuestos durante 2 h/día durante 15 días consecutivos. Después de completar la exposición, dentro de una hora, la mitad de los animales fueron autopsiados inmediatamente y se permitió que los demás alcanzaran las 6 semanas de edad para el estudio de seguimiento. Posteriormente, se registraron los resultados en términos de varios parámetros bioquímicos, conductuales e histopatológicos. El resultado del peso corporal mostró cambios significativos inmediatamente después del tratamiento, mientras que se observaron cambios no significativos en los ratones que alcanzaron las 6 semanas de edad. También se encontraron significativamente alterados ($p < 0,05$) otros puntos finales como el peso cerebral, la peroxidación lipídica, el glutatión, la proteína, la catalasa y la superóxido dismutasa en el cerebro completo de los ratones. Estas diferencias significativas se encontraron inmediatamente después de la exposición y también en el seguimiento al alcanzar las 6 semanas de edad en el grupo de exposición a microondas. Además, se investigó el efecto estadísticamente significativo ($p < 0,001$) en la memoria espacial de los animales, en el aprendizaje para localizar la posición de la plataforma en la prueba del laberinto acuático de Morris. Aunque en la prueba de prueba de sonda, los animales expuestos simuladamente pasaron más tiempo buscando la plataforma en el cuadrante objetivo que en el opuesto u otros cuadrantes. También se observó una alteración significativa en los parámetros histopatológicos (cualitativos y cuantitativos) en la región CA1 del hipocampo, la corteza cerebral y el lóbulo ansiforme del cerebelo. Los resultados del presente estudio concluyen que el cerebro de ratones de 2 semanas de edad era muy sensible a la exposición a microondas como se observó inmediatamente después de la exposición y durante el estudio de seguimiento a las 6 semanas de edad.

(E) Sharma A, Sharma S, Shrivastava S, Singhal PK, Shukla S. Consecuencias cognitivas y neuroquímicas inducidas por el uso de teléfonos móviles. J Chem Neuroanat. 2019 102:101684. (AS, CE, BE, CH, OX)

Con los rápidos avances en la tecnología, el uso extensivo de teléfonos móviles ha aumentado el riesgo de problemas de salud. Este estudio se realizó para averiguar el efecto de la frecuencia de los teléfonos móviles en ratas Wistar macho. Los animales se dividieron en dos grupos ($n = 6$ en cada grupo). El grupo uno se consideró como control y el grupo dos (grupo experimental) se expuso a la radiación de microondas (2100 MHz) durante 4 horas/día (5 días/semana) durante 3 meses. La exposición a la frecuencia de la radiación de microondas mostró alteraciones significativas en la actividad de la colinesterasa, la fuerza muscular, la capacidad de aprendizaje y la ansiedad. La exposición a la radiación de microondas también se asoció con una alteración significativa en el sistema de defensa oxidativa y la degeneración del hipocampo. Las observaciones histopatológicas describieron claramente la degeneración neuronal. Por lo tanto, se puede concluir que la radiación de microondas afecta significativamente al sistema nervioso central y puede provocar muchas enfermedades graves. Este estudio puede revelar una plataforma para comprender su efecto tóxico y puede usarse además para modificar las pautas actuales de radiación móvil.

(E) Sharma A, Shrivastava S, Shukla S, Daño oxidativo en el hígado y el cerebro de ratas expuestas a la exposición electromagnética a radiofrecuencias dependientes de la frecuencia: evidencia bioquímica e histopatológica. Free Radic Res 2021 17 de agosto;1-30. doi: 10.1080/10715762.2021.1966001. En línea antes de su impresión. (AS, CE, CC, ME, CH, OX)

El estudio tuvo como objetivo descubrir un vínculo entre el estado funcional del hígado y el cerebro debido a la radiación electromagnética de radiofrecuencia dependiente de la frecuencia (RF-EMR). 40 ratas Wistar se clasificaron aleatoriamente como grupos de control (exposición simulada) y expuestos a EMR. Los animales fueron expuestos a 900, 1800 y 2100 MHz con la tasa de absorción específica (SAR) de 0,434 (W/Kg), 0,433 (W/Kg) y 0,453 (W/Kg) respectivamente. La exposición de los animales se limitó a 1 hora/día, 5 días/semana durante 1 mes con una densidad de potencia restringida (900 MHz - 11,638 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, 1800-11.438 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ y frecuencia de 2100 MHz - 8,237 $\mu\text{W}/\text{m}^2$). La exposición a diversas frecuencias mostró un cambio dependiente de la frecuencia en el peso corporal y los parámetros hematológicos (GR, WBC, plaquetas, hemoglobina y hematocrito) en comparación con el grupo de control ($P \leq 0,01$) ($P \leq 0,001$).

Se observó una elevación significativa de las transaminasas séricas y la bilirrubina, la urea, el ácido úrico y la creatinina, mientras que la albúmina disminuyó significativamente después de la exposición a EMR ($P \leq 0,01$) ($P \leq 0,001$). La glucosa en sangre, la peroxidación lipídica, los triglicéridos y el colesterol aumentaron, mientras que las adenosina trifosfatasa, la acetilcolinesterasa y los antioxidantes tisulares como el glutatión, la superóxido dismutasa, la catalasa, la glutatión reductasa, la glutatión peroxidasa, la glutatión-S-transferasa y la glucosa-6-fosfato deshidrogenasas disminuyeron significativamente ($P \leq 0,001$). Las observaciones histopatológicas del hígado mostraron infiltración de células mononucleares centrolobulillares e hinchazón en los espacios sinusoidales, mientras que en el cerebro se observaron neuronas piramidales y de Purkinje degeneradas.

Además, se encontró evidencia sustancial de que el cerebro es más susceptible a la mutilación oxidativa en comparación con el hígado de los animales expuestos. En conclusión, la exposición a RF-EMR mostró daño oxidativo al hígado, aumentando la incidencia de daño cerebral de manera dependiente de la frecuencia. Aspectos destacados La exposición a EMR mostró toxicidad dependiente de la frecuencia. Alteraciones en el perfil sanguíneo y modificaciones en los marcadores serológicos. Aumento de la peroxidación lipídica que indica daño de la membrana. Inhibición de la actividad de la acetilcolinesterasa que afecta la neurotransmisión colinérgica. La exposición a EMR resultó en la pérdida de energía celular y la producción de cantidades excesivas de ROS, alterando así varias enzimas antioxidantes. Evidencia histopatológica de cambios degenerativos severos en el hígado y el cerebro.

(E) Shehu A, Mohammed A, Magaji RA, Muhammad MS. La exposición a la radiación del campo electromagnético, el tono de llamada y la vibración de los teléfonos móviles afecta el comportamiento similar a la ansiedad y los biomarcadores del estrés oxidativo en ratas albinas Wistar. *Metab Brain Dis.* 31:355-362, 2016.
(AS, CE, BE, OX)

La investigación sobre los efectos de las emisiones de radiofrecuencia de los teléfonos móviles en los sistemas biológicos se ha centrado en el ruido y las vibraciones como estresores auditivos. Este estudio investigó los efectos potenciales de la exposición a la radiación del campo electromagnético, el tono de llamada y la vibración del teléfono móvil en el comportamiento similar a la ansiedad y los biomarcadores de estrés oxidativo en ratas wistar albinas. Veinticinco ratas wistar macho se dividieron aleatoriamente en cinco grupos de 5 animales cada uno: grupo I: expuesto al teléfono móvil en modo apagado (control), grupo II: expuesto al teléfono móvil en modo silencioso, grupo III: expuesto al teléfono móvil en modo vibración, grupo IV: expuesto al teléfono móvil en modo tono de llamada, grupo V: expuesto al teléfono móvil en modo vibración y tono de llamada. Los animales del grupo II al V fueron expuestos a 10 min de llamada (30 llamadas perdidas de 20 s cada una) por día durante 4 semanas. Se realizaron estudios neuroconductuales para evaluar la ansiedad 24 h después de la última exposición y se sacrificó a los animales. Se recogieron muestras de cerebro para evaluación bioquímica inmediatamente. Los resultados obtenidos mostraron una disminución significativa ($P < 0,05$) en el brazo abierto.

duración en todos los grupos experimentales en comparación con el control. También se observó una disminución significativa ($P < 0,05$) en la actividad de la catalasa en el grupo IV y V en comparación con el control. En conclusión, los resultados del presente estudio indican que la exposición de 4 semanas a radiación electromagnética, vibración, tono de llamada o ambos produjo un efecto significativo en el comportamiento similar a la ansiedad y el estrés oxidativo en ratas Wistar jóvenes.

(NE) Shirai T, Imai N, Wang J, Takahashi S, Kawabe M, Wake K, Kawai H, Watanabe SI, Furukawa F, Fujiwara O. Efectos multigeneracionales de la exposición de todo el cuerpo a señales de teléfonos celulares W-CDMA de 2,14 GHz sobre la función cerebral en ratas. *Bioelectromagnetism*. 35(7):497-511, 2014. (AS, CE, BE, ME)

El presente estudio experimental se llevó a cabo con ratas para evaluar los efectos de la exposición de todo el cuerpo a señales de acceso múltiple por división de código (W-CDMA) en la banda de 2,14 GHz durante 20 h/día, a lo largo de tres generaciones. La tasa de absorción específica promedio (SAR, en unidad de W/kg) para las madres se diseñó en tres niveles: alto ($<0,24$ W/kg), bajo ($<0,08$ W/kg) y 0 (exposición simulada). Las madres preñadas (4 ratas/grupo) fueron expuestas desde el día de gestación (DG) 7 hasta el destete y luego sus crías (generación F1, 4 machos y 4 hembras/madre, respectivamente) fueron expuestas continuamente hasta las 6 semanas de edad. Las hembras F1 se aparearon con machos F1 a las 11 semanas de edad y, a partir del día 7 de gestación, se las expuso de forma continua al campo electromagnético (CEM; se utilizó la mitad de las crías F1 para el apareamiento, es decir, dos de cada sexo por madre y 8 machos y 8 hembras/grupo, a excepción de todas las crías para las pruebas de desarrollo funcional). Este protocolo se repitió de la misma manera en hembras preñadas F2 y crías F3; estas últimas fueron sacrificadas a las 10 semanas de edad. No se observaron anomalías en las ratas madres (F0, F1 y F2) ni en las crías (F1, F2 y F3) en ningún parámetro biológico, incluida la función neuroconductual. Por lo tanto, se concluyó que, en las condiciones experimentales aplicadas, la exposición multigeneracional de cuerpo entero a señales W-CDMA de 2,14 GHz durante 20 h/día no causó ningún efecto adverso en las crías F1, F2 y F3.

(E) Singh KV, Gautam R, Meena R, Nirala JP, Jha SK, Rajamani P. Efecto de la radiación de los teléfonos móviles sobre el estrés oxidativo, la respuesta inflamatoria y la memoria contextual del miedo en ratas Wistar. *Environ Sci Pollut Res Int*. 27: 19340-19351, 2020. (AS, CE, BE, CH, OX)

En el estilo de vida actual, estamos expuestos continuamente a la radiación del campo electromagnético de radiofrecuencia (RF-EMF) generada principalmente por los teléfonos móviles (MP). Entre otros órganos, nuestro cerebro y el hipocampo en particular, es la región donde el efecto de cualquier perturbación ambiental es más pronunciado. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo examinar los cambios en los principales parámetros (estrés oxidativo, nivel de citocinas proinflamatorias (PIC), hormonas del eje hipotálamo-hipofisario-adrenal (HPA) y condicionamiento del miedo contextual) que están vinculados al hipocampo directa o indirectamente, tras la exposición a la radiación del campo electromagnético de radiofrecuencia del teléfono móvil (MP-RF-EMF). La exposición se realizó en ratas Wistar macho adultas jóvenes durante 16 semanas de forma continua (2 h/día) con radiación MP-RF-EMF con una frecuencia, densidad de potencia y tasa de absorción específica (SAR) de 1966,1 MHz, 4,0 mW/cm² y 0,36 W/kg, respectivamente. Otro grupo de animales mantenidos en condiciones similares sin ninguna exposición a la radiación sirve como control. Hacia el final del período de exposición, se evaluó la memoria del miedo en los animales y luego se los sacrificó para medirlo.

Estrés oxidativo hipocampal, nivel de PIC circulatorios y hormonas del estrés. Observamos un aumento significativo del estrés oxidativo hipocampal ($p < 0,05$) y un nivel elevado de PIC circulatorios, a saber, IL-1beta ($p < 0,01$), IL-6 ($p < 0,05$) y TNF-alfa ($p < 0,001$) en animales experimentales tras la exposición a la radiación MP-RF-EMF. También se encontró que el peso de la glándula suprarrenal ($p < 0,001$) y el nivel de hormonas del estrés, a saber, la hormona adrenocorticotrópica (ACTH) ($p < 0,01$) y la corticosterona (CORT) ($p < 0,05$) aumentaron significativamente en los animales expuestos a la radiación MP-RF-EMF en comparación con el control. Sin embargo, la alteración de la memoria contextual del miedo no fue lo suficientemente significativa. En conclusión, el estudio actual muestra que la exposición crónica a la radiación MP-RF-EMF emitida por los teléfonos móviles puede inducir estrés oxidativo, respuesta inflamatoria y desregulación del eje HPA. Sin embargo, los cambios en la funcionalidad del hipocampo dependen de la interacción compleja de varios factores opuestos que se vieron afectados por la exposición a MP-RF-EMF.

(E) Singh KV, Arya R, Nirala JP, Sahu D, Nanda RK, Rajamani P. Efectos de la radiación electromagnética de los teléfonos móviles en el proteoma del hipocampo de ratas. *Environ Toxicol* 2022 5 de enero. doi: 10.1002/tox.23447. En línea antes de su publicación. (AS, LI, CE, CH)

En todo el mundo, el número de usuarios de teléfonos móviles ha aumentado de 5.570 millones en 2011 a 6.800 millones en 2019. Sin embargo, el impacto a corto y largo plazo de la radiación electromagnética emitida por los teléfonos móviles en la homeostasis tisular, en particular en la composición del proteoma cerebral, necesita más investigación. En este estudio, intentamos un estudio de perfil de proteoma global del hipocampo de ratas expuestas a la radiación del teléfono móvil durante 20 semanas (durante 3 h/día durante 5 días/semana) para identificar proteínas desreguladas y análisis de transferencia Western para validación. Como resultado, identificamos 358 proteínas del hipocampo, de las cuales 16 mostraron desregulación ($\log_2(\text{expuesta/simulada}) \geq \pm 1,0$, valor $p < 0,05$). La mayoría de estas proteínas desreguladas se agruparon en tres grupos que comparten vías moleculares similares. Se seleccionó para la validación un conjunto de cuatro proteínas (succinato-semialdehído deshidrogenasa: Aldh5a1, ATPasa transportadora de Na⁺ K⁺ : Atp1b2, ATPasa transportadora de calcio de la membrana plasmática: PMCA y proteína S100B) que presentan cada vía funcional. El análisis Western blot de estas proteínas, en un conjunto de muestras independientes, corroboró los hallazgos de la espectrometría de masas. Aldh5a1 participa en el metabolismo energético celular, tanto Atp1b2 como PMCA responsables del transporte de membrana y la proteína S100B tiene un papel neuroprotector. En conclusión, presentamos un proteoma de hipocampo desregulado tras la exposición a la radiación del teléfono móvil, que podría influir en el funcionamiento saludable del cerebro.

(E) Sirav B, Seyhan N. Alteración de la barrera hematoencefálica por radiación de radiofrecuencia de onda continua. *Electromagn Biol Med*. 28:215-222, 2009. (AS, ME)

El uso cada vez mayor de teléfonos celulares y el número cada vez mayor de estaciones base asociadas se están convirtiendo en una fuente generalizada de radiación electromagnética no ionizante. Es probable que se produzcan algunos efectos biológicos incluso en campos electromagnéticos de bajo nivel. Este estudio fue diseñado para investigar los efectos de la radiación de radiofrecuencia de onda continua (CW RFR) de 900 y 1800 MHz en la permeabilidad de la sangre cerebral. Barrera de la barrera hematoencefálica (BHE) de ratas. Los resultados han demostrado que la exposición a RFR durante 20 minutos a 900 y 1800 MHz induce un efecto y aumenta la permeabilidad de la BHE de las ratas macho. No se observaron cambios en las ratas hembra. La evidencia científica sobre la seguridad o el daño de la RFR sigue sin ser concluyente. Se necesitan más estudios para demostrar los efectos de la RFR en la permeabilidad de la BHE y los mecanismos de esa degradación.

(E) Sirav B, Seyhan N. Efectos de la exposición a la radiación de radiofrecuencia en la permeabilidad de la barrera hematoencefálica en ratas macho y hembra. *Electromagn Biol Med.* 30(4):253-260, 2011. (AS, ME)

Durante las últimas décadas, se han realizado numerosos estudios que apuntan a la cuestión de si la exposición a la radiación de radiofrecuencia (RFR) influye o no en la permeabilidad de la barrera hematoencefálica (BHE). El objetivo de este estudio fue investigar el efecto de la RFR en la permeabilidad de la BHE en ratas albinas Wistar macho y hembra. El cerebro derecho, el cerebro izquierdo, el cerebelo y el cerebro total se analizaron por separado en el estudio. Las ratas fueron expuestas a RFR de onda continua (CW) de 0,9 y 1,8 GHz durante 20 minutos (a SAR de 4,26 mW/kg y 1,46 mW/kg, respectivamente) mientras estaban bajo anestesia. Las ratas de control fueron expuestas simuladamente. La alteración de la integridad de la BHE se detectó espectrofotométricamente utilizando el colorante azul de Evans, que se ha utilizado como trazador de la BHE y se sabe que se une a la albúmina sérica. El cerebro derecho, el cerebro izquierdo, el cerebelo y el cerebro total se evaluaron para la permeabilidad de la BHE. En ratas hembra, no se encontró extravasación de albúmina en el cerebro después de la exposición a RFR. Se encontró un aumento significativo de albúmina en los cerebros de las ratas macho expuestas a RF en comparación con los cerebros machos expuestos simuladamente. Estos resultados sugieren que la exposición a RFR de onda continua de 0,9 y 1,8 GHz a niveles por debajo de los límites internacionales puede afectar la permeabilidad vascular en el cerebro de las ratas macho. El posible riesgo de exposición a RFR en humanos es una preocupación importante para la sociedad. Por lo tanto, este tema debería investigarse más a fondo en el futuro.

(E) Sirav B, Seyhan N. Efectos de la radiación electromagnética de radiofrecuencia modulada por GSM sobre la permeabilidad de la barrera hematoencefálica en ratas macho y hembra. *J Chem Neuroanat.* 75(Pt B):123-127, 2016. (AS, YO)

Con el aumento del uso de teléfonos móviles, sus efectos biológicos y sobre la salud han adquirido mayor importancia. El uso de teléfonos móviles cerca de la cabeza aumenta la posibilidad de efectos sobre el tejido cerebral. Este estudio fue diseñado para investigar los posibles efectos de la radiación de radiofrecuencia modulada por pulsos de 900 MHz y 1800 MHz sobre la permeabilidad de la barrera hematoencefálica de ratas. El estudio se realizó con 6 grupos de ratas albinas wistar machos y hembras jóvenes adultas. La permeabilidad de la barrera hematoencefálica al tinte azul de Evans inyectado por vía intravenosa se examinó cuantitativamente tanto para los grupos de control como para los expuestos a la radiación de radiofrecuencia. Para los grupos de machos; se encontró que el contenido de azul de Evans en todo el cerebro era de $0,08 \pm 0,01$ mg% en el control, $0,13 \pm 0,03$ mg% en los animales expuestos a 900 MHz y $0,26 \pm 0,05$ mg% en los animales expuestos a 1800 MHz. En ambos grupos de machos expuestos a la radiación de radiofrecuencia, se encontró que la permeabilidad de la barrera hematoencefálica aumentaba con respecto a los controles ($p < 0,01$). La exposición a la radiación de radiofrecuencia modulada por pulsos de 1800 MHz resultó más eficaz en los animales machos ($p < 0,01$). En el caso de los grupos de hembras, el contenido de colorante en todo el cerebro fue de $0,14 \pm 0,01$ mg% en el grupo de control, de $0,24 \pm 0,03$ mg% en los animales expuestos a 900 MHz y de $0,14 \pm 0,02$ mg% en los animales expuestos a 1800 MHz. No se encontró ninguna variación estadística entre el grupo de control y los animales expuestos a 1800 MHz ($p > 0,01$). Sin embargo, la exposición a la radiofrecuencia modulada por pulsos de 900 MHz resultó eficaz en la permeabilidad de la barrera hematoencefálica de las hembras. Los resultados han demostrado que la exposición a la radiación de radiofrecuencia modulada por pulsos de 20 minutos de 900 MHz y 1800 MHz induce un efecto y aumenta la permeabilidad de la barrera hematoencefálica de las ratas macho. En el caso de las hembras, se encontró que la radiación de 900 MHz era eficaz y se podría concluir que este resultado puede deberse a las diferencias fisiológicas entre los animales hembra y macho. Los resultados de este estudio sugieren que la radiación de los teléfonos móviles podría provocar un aumento de la permeabilidad de la barrera hematoencefálica en niveles de exposición no térmicos. Se necesitan más estudios para demostrar los mecanismos de esa degradación.

(E) Söderqvist F, Carlberg M, Hardell L. Teléfonos móviles e inalámbricos, transtiretina sérica y barrera hematoencefálica: un estudio transversal. Environ Health. 21; 8:19, 2009. (HU, PE)

ANTECEDENTES: Desde hace mucho tiempo se ha debatido si la radiación de radiofrecuencia de baja intensidad daña la barrera hematoencefálica, pero se ha prestado poca o ninguna atención a la barrera hematoencefálica. En este estudio transversal, probamos si el uso a largo y/o corto plazo de teléfonos inalámbricos estaba asociado con cambios en el nivel sérico de transtiretina, lo que indica una concentración alterada de transtiretina en el líquido cefalorraquídeo, posiblemente reflejando un efecto de la radiación. MÉTODOS: Se reclutaron al azar mil sujetos, 500 de cada sexo con edades comprendidas entre 18 y 65 años, utilizando el registro de población. Los datos sobre el uso de teléfonos inalámbricos se evaluaron mediante un cuestionario postal y se analizaron muestras de sangre para determinar las concentraciones séricas de transtiretina mediante técnicas inmunonefelométricas estándar en un instrumento BN Prospec. RESULTADOS: La tasa de respuesta fue del 31,4%. La regresión logística de los niveles séricos de TTR dicotomizados con un punto de corte de 0,31 g/l en el uso del teléfono inalámbrico produjo mayores razones de probabilidades que no fueron estadísticamente significativas. La regresión lineal del tiempo desde el primer uso en general y el día en que se extrajo la sangre dio resultados diferentes para hombres y mujeres: para los hombres se observaron concentraciones séricas significativamente más altas de TTR cuanto más tiempo se había utilizado un teléfono analógico o un teléfono móvil e inalámbrico de escritorio combinados, y en contraste, se observaron niveles séricos significativamente más bajos cuanto más tiempo se había utilizado un teléfono UMTS. El ajuste para las fracciones de uso de los diferentes tipos de teléfono no modificó el efecto para el uso acumulado o los años desde el primer uso para el teléfono móvil y DECT, combinados. Para las mujeres, la regresión lineal dio una asociación significativa para el uso a corto plazo de teléfonos móviles e inalámbricos combinados, lo que indica que cuanto antes se extrajo sangre después de la llamada telefónica más reciente, mayor fue la concentración esperada de transtiretina. CONCLUSIÓN: En este estudio descriptivo generador de hipótesis, el tiempo transcurrido desde el primer uso de teléfonos móviles y DECT combinados se asoció significativamente con niveles más altos de TTR independientemente de cuánto se había utilizado cada tipo de teléfono. Con respecto al uso a corto plazo, se observaron concentraciones significativamente más altas de TTR en las mujeres cuanto antes se extrajo sangre después de la última extracción.

llamada telefónica ese día.

(E) Söderqvist F, Carlberg M, Hansson Mild K, Hardell L. Exposición a una señal similar a la de un teléfono móvil de 890 MHz y niveles séricos de S100B y transtiretina en voluntarios. Toxicol Lett. 189(1):63-66, 2009. (HU, PE)

Desde finales de los años 70 se viene debatiendo si la radiación de microondas no térmica de baja intensidad altera la integridad de la barrera hematoencefálica, pero no se ha llevado a cabo ningún estudio experimental en seres humanos. El objetivo de este estudio era comprobar, utilizando marcadores periféricos, si la exposición a una señal similar a la de un teléfono móvil altera la integridad de las barreras hematoencefálica y hematoencefálica humana. Se llevó a cabo un estudio de provocación en el que se expuso a 41 voluntarios a una señal GSM de 890 MHz durante 30 minutos con una distribución de tasa de absorción de energía específica media de 1,0 W/kg en la zona temporal de la cabeza, medida sobre cualquier gramo de tejido contiguo. El resultado se evaluó mediante cambios en las concentraciones séricas de dos supuestos marcadores de la integridad de la barrera cerebral, S100B y transtiretina. Las muestras de sangre repetidas antes y después de la provocación no mostraron cambios.

aumento estadísticamente significativo en los niveles séricos de S100B, mientras que para la transtiretina se observó un aumento estadísticamente significativo en la muestra de sangre final 60 minutos después del final de la provocación en comparación con la muestra anterior tomada inmediatamente después de la provocación (p = 0,02).
Se desconoce la importancia clínica de este hallazgo, si es que la hay. Se necesitan más estudios aleatorizados que utilicen marcadores cerebrales adicionales más específicos.

(NE) Söderqvist F, Carlberg M, Hardell L. Uso de teléfonos inalámbricos y niveles séricos de S100B: un estudio transversal descriptivo entre adultos suecos sanos de entre 18 y 65 años. *Sci Total Environ.* 407(2):798-805, 2009. (HU, PE)

Antecedentes: Desde finales de los años 70 se han llevado a cabo estudios experimentales en animales sobre los posibles efectos de los campos de radiofrecuencia de baja intensidad en la barrera hematoencefálica (BHE), pero hasta la fecha no se ha publicado ningún estudio epidemiológico. Objetivo: Utilizando el S100B sérico como posible marcador de disfunción de la BHE, realizamos un estudio descriptivo transversal para investigar si los niveles de proteína eran más altos entre los usuarios frecuentes que no frecuentes de teléfonos móviles y de escritorio inalámbricos. Método: Se reclutaron aleatoriamente mil sujetos, 500 de cada sexo de 18 a 65 años de edad, utilizando el registro de población. Los datos sobre el uso de teléfonos inalámbricos se evaluaron mediante un cuestionario postal y se analizaron muestras de sangre para detectar el S100B. Resultados: La tasa de respuesta fue del 31,4%. Los resultados de los análisis de regresión logística y lineal fueron estadísticamente insignificantes, con una excepción: el análisis de regresión lineal de latencia para el uso de UMTS, que después de estratificar por género siguió siendo significativo solo para los hombres (p = 0,01; n = 31). Se obtuvo un valor p bajo (0,052) para el uso de teléfono inalámbrico (n = 98) antes de dar las muestras de sangre, lo que indica una asociación negativa débil. El uso total de teléfonos móviles e inalámbricos a lo largo del tiempo arrojó un odds ratio (OR) de 0,8 y un intervalo de confianza del 95% (IC) de 0,3-2,0 y el uso el mismo día de la donación de sangre arrojó un OR = 1,1, IC = 0,4-2,8. CONCLUSIONES: Este estudio no logró demostrar que el uso a largo o corto plazo de teléfonos inalámbricos estuviera asociado con niveles elevados de S100B sérico como marcador de integridad de la BHE. El hallazgo sobre la latencia del uso de UMTS puede ser interesante, pero se basa en números pequeños. En general, los niveles de S100B fueron bajos y para determinar si esta asociación, si es causal, es clínicamente relevante, se necesitan estudios más amplios con suficiente seguimiento.

(E) Söderqvist F, Hardell L, Carlberg M, Mild KH. Campos de radiofrecuencia, transtiretina y enfermedad de Alzheimer. *J Alzheimers Dis.* 20(2):599-606, 2010. (HU, PE, MA)

La exposición a campos de radiofrecuencia (RF) proporcionó beneficios cognitivos en un estudio con animales. En ratones con enfermedad de Alzheimer (EA), la exposición redujo la deposición de beta amiloide (Abeta) cerebral a través de una menor agregación de Abeta y un aumento en los niveles de Abeta soluble. Con base en nuestros estudios en humanos con RF de teléfonos inalámbricos, proponemos que la transtiretina (TTR) podría explicar los hallazgos. En un estudio transversal en 313 sujetos, utilizamos TTR sérica como marcador de TTR en líquido cefalorraquídeo. Encontramos un coeficiente beta estadísticamente significativo positivo para TTR para el tiempo desde el primer uso de teléfonos móviles y teléfonos inalámbricos de escritorio combinados (P = 0,03). Los parámetros del campo electromagnético fueron similares para los tipos de teléfono. En un estudio de provocación en 41 personas expuestas durante 30 minutos a una señal GSM de 890 MHz con una tasa de absorción específica de 1,0 watio/kg en el área temporal del cerebro, encontramos un aumento estadísticamente significativo de la TTR sérica en el tiempo transcurrido desde el primer uso de teléfonos móviles y teléfonos inalámbricos de escritorio combinados (P = 0

TTR 60 min después de la exposición. En nuestro estudio transversal, el uso de rapé oral también produjo concentraciones séricas de TTR estadísticamente significativas y se asoció la nicotina con un menor riesgo de EA y con la regulación positiva del gen TTR en el plexo coraideo pero no en el hígado, otra fuente de TTR sérica. La TTR secuestra Abeta, evitando así la formación de placas de Abeta en el cerebro. Los estudios han demostrado que los pacientes con EA tienen concentraciones reducidas de TTR en el líquido cefalorraquídeo y han atribuido la aparición de EA al secuestro insuficiente de Abeta por parte de la TTR. Proponemos que la TTR podría estar involucrada en los hallazgos del beneficio de la exposición a RF en ratones con EA.

(E) Sokolovic D, Djindjic B, Nikolic J, Bjelakovic G, Pavlovic D, Kocic G, Krstic D, Cvetkovic T, Pavlovic V. La melatonina reduce el estrés oxidativo inducido por la exposición crónica a la radiación de microondas de los teléfonos móviles en el cerebro de ratas. J Radiat Res. 49(6):579-586, 2008. (AS, CE, CH, OX)

OBJETIVO: El objetivo del estudio fue evaluar la intensidad del estrés oxidativo en el cerebro de animales expuestos crónicamente a teléfonos móviles y los posibles efectos protectores de la melatonina en la reducción del estrés oxidativo y la lesión cerebral. MATERIALES Y MÉTODOS: Los experimentos se realizaron en ratas Wistar expuestas a radiación de microondas durante 20, 40 y 60 días. Se formaron cuatro grupos: grupo I (control): animales tratados con solución salina, intraperitoneal (ip) aplicada diariamente durante el seguimiento, grupo II (Mel): ratas tratadas diariamente con melatonina (2 mg kg⁻¹ de peso corporal ip), grupo III (MWs): ratas expuestas a microondas, grupo IV (MWs + Mel): ratas expuestas a MWs tratadas con melatonina (2 mg kg⁻¹ de peso corporal ip). La radiación de microondas fue producida por un teléfono móvil de prueba (SAR = 0,043-0,135 W / kg). RESULTADOS: Se registró un aumento significativo en la concentración de malondialdehído (MDA) y de grupos carbonilo en el tejido cerebral durante la exposición. La disminución de la actividad de la catalasa (CAT) y el aumento de la actividad de la xantina oxidasa (XO) se mantuvieron después de 40 y 60 días de exposición a los teléfonos móviles. El tratamiento con melatonina previno significativamente el aumento del contenido de MDA y de la actividad de XO en el tejido cerebral después de 40 días de exposición, mientras que no pudo prevenir la disminución de la actividad de CAT y el aumento del contenido de grupos carbonilo. CONCLUSIÓN: Demostramos dos hallazgos importantes; que los teléfonos móviles causaron daño oxidativo bioquímicamente al aumentar los niveles de MDA, grupos carbonilo, actividad de XO y disminuir la actividad de CAT; y que el tratamiento con melatonina previno significativamente el daño oxidativo en el cerebro.

(E) Sokolovic D, Djordjevic B, Kocic G, Babovic P, Ristic G, Stanojkovic Z, Sokolovic DM, Veljkovic A, Jankovic A, Radovanovic Z. El efecto de la melatonina sobre la masa corporal y el comportamiento de ratas expuestas a la radiación de microondas de un teléfono móvil. Bratisla Lek Listy. 113(5):265-269, 2012. (AS, CE, PE, BE)

ANTECEDENTES: La radiación de microondas (MW) producida por las telecomunicaciones inalámbricas y una serie de dispositivos eléctricos utilizados en el hogar o en instituciones de atención médica puede causar varios trastornos en el organismo humano. Por otro lado, la melatonina es un potente antioxidante, inmunoestimulante y neuromodulador. El objetivo de esta investigación fue determinar la masa corporal y los cambios de comportamiento en ratas después de una exposición crónica a microondas, así como determinar los efectos de la melatonina en la masa corporal y el comportamiento en ratas irradiadas. MÉTODOS: Las ratas Wistar se dividieron en cuatro grupos experimentales: grupo I (control) - ratas tratadas con solución salina al 0,9 %, grupo II (control) - ratas tratadas con solución salina al 0,9 %

Grupo (Mel) - ratas tratadas con melatonina (2 mg/kg), grupo III (MW) - ratas expuestas a radiación MW (4 h/día), grupo IV (MW+Mel) - ratas, que fueron expuestas a radiación MW y recibieron premedicación con melatonina (2 mg/kg). RESULTADOS: Se observó una reducción significativa de la masa corporal en los animales expuestos a la radiación MW en comparación con los controles después de 20, 40 y 60 días ($p < 0,001$). Además, el peso corporal aumentó significativamente ($p < 0,05$) en las ratas irradiadas, que recibieron pretratamiento con melatonina (MW+Mel) en comparación con el grupo irradiado (MW) después de 20 días. Los animales expuestos a la radiación de microondas mostraron un comportamiento relacionado con la ansiedad.

(agitación, irritabilidad) después de 10 días de exposición. Después de la eliminación de la fuente de radiación, los cambios en el comportamiento fueron menos notorios. La administración de melatonina a ratas irradiadas causó una disminución en el comportamiento inducido por estrés. CONCLUSIÓN: La radiación de microondas causa una disminución de la masa corporal y un comportamiento relacionado con la ansiedad en ratas, sin embargo, la melatonina causa un efecto inverso tanto en el peso corporal como en el comportamiento de los animales irradiados (Fig. 2, Ref. 32).

(NE) Son Y, Jeong YJ, Kwon JH, Choi HD, Pack JK, Kim N, Lee YS, Lee HJ. Los campos electromagnéticos de radiofrecuencia de 1950 MHz no agravan los déficits de memoria en ratones 5xFAD. Bioelectromagnetismo. 37(6):391-399, 2016. (AS, CE, BE, CH)

El aumento del uso de teléfonos móviles ha generado preocupación pública sobre el impacto de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) en la salud. En el presente estudio, investigamos si los RF-EMF inducen cambios moleculares en el procesamiento de la proteína precursora amiloide (APP) y el deterioro de la memoria relacionado con la beta amiloide ($A\beta$) en el ratón 5xFAD, que es un modelo animal amiloide ampliamente utilizado. Los ratones 5xFAD a la edad de 1,5 meses fueron asignados a dos grupos (grupos expuestos a RF-EMF y grupo de exposición simulada, ocho ratones por grupo). El grupo RF-EMF se colocó en una cámara de reverberación y se expuso a campos electromagnéticos de 1950 MHz durante 3 meses (SAR 5 W/kg, 2 h/día, 5 días/semana). El laberinto en Y, el laberinto acuático de Morris y la prueba de memoria de reconocimiento de objetos novedosos se utilizaron para evaluar la memoria espacial y no espacial después de 3-

Exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia durante un mes. Además, se evaluaron la deposición de $A\beta$ y los niveles de APP y del fragmento carboxilo terminal β (CTF β) en el hipocampo y la corteza de ratones 5xFAD, y también se investigaron los niveles plasmáticos de péptidos $A\beta$. En pruebas de comportamiento, los ratones que estuvieron expuestos a campos electromagnéticos de radiofrecuencia durante 3 meses, no se observaron diferencias en la memoria espacial y no espacial en comparación con el grupo expuesto al placebo, y no se observó ningún cambio aparente en la actividad locomotora. En consonancia con los datos de comportamiento, los campos electromagnéticos de radiofrecuencia no alteraron los niveles de APP y CTF β ni la deposición de $A\beta$ en los cerebros de los ratones 5xFAD. Estos hallazgos indican que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia durante 3 meses no afectó al deterioro de la memoria relacionado con $A\beta$ ni a la acumulación de $A\beta$ en el modelo de enfermedad de Alzheimer 5xFAD.

(E) Son Y, Kim JS, Jeong YJ, Jeong YK, Kwon JH, Choi HD, Pack JK, Kim N, Lee YS, Lee HJ. Exposición a radiofrecuencias a largo plazo sobre el comportamiento y el metabolismo cerebral de la glucosa en ratones 5xFAD. Neurosci Lett. 666:64-69, 2018. (AS, CE, BE, CH, MA)

Dada la creciente preocupación pública sobre las consecuencias biológicas nocivas de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF), la participación de los RF-EMF en enfermedades neurodegenerativas, especialmente la enfermedad de Alzheimer (EA), ha recibido una mayor consideración. Para investigar el efecto de la exposición a largo plazo a RF-EMF en la progresión de la EA, expusimos 5 ratones FAD a 1950 MHz RF-EMF a una absorción específica

tasa de 5,0 W/kg durante 2 h/día y 5 días/semana durante 8 meses. Los cambios de comportamiento se evaluaron mediante una prueba de campo abierto y una tarea de memoria de reconocimiento de objetos después de que se terminó la exposición a RF. Además, se analizó el metabolismo cerebral de la glucosa en los cerebros de los ratones 5xFAD utilizando tomografía por emisión de positrones con 18F-desoxiglucosa. Los comportamientos similares a la hiperactividad y ansiolíticos de los ratones 5xFAD en pruebas de campo abierto fueron rescatados por la exposición a RF. Además, la exposición a RF-EMF a largo plazo mejoró los déficits cognitivos de los ratones 5xFAD que se observaron en la prueba de memoria de reconocimiento de objetos. En consonancia con los cambios de comportamiento, el metabolismo de la glucosa en las regiones del hipocampo y la amígdala de los cerebros de los ratones 5xFAD después de la exposición a RF aumentó significativamente en comparación con el metabolismo de la glucosa en los cerebros de los ratones expuestos simuladamente. Estos datos sugieren que la exposición a largo plazo a RF-EMF podría ejercer efectos beneficiosos sobre la EA en ratones 5xFAD.

(E) Sonmez OF, Odaci E, Bas O, Kaplan S. El número de células de Purkinje disminuye en el cerebelo de ratas hembra adultas tras la exposición a un campo electromagnético de 900 MHz. Brain Res. 1356:95-101, 2010. (AS, CE, ME)

Los efectos biológicos de la exposición a campos electromagnéticos (CEM) de los teléfonos móviles son motivo de creciente preocupación entre los científicos, ya que hay algunos informes que muestran un mayor riesgo para la salud humana, especialmente en el uso de teléfonos móviles durante un período prolongado. En el estudio presentado, se investigaron los efectos sobre el número de células de Purkinje en el cerebelo de ratas hembra de 16 semanas de edad tras la exposición a CEM de 900 MHz. En este estudio se utilizaron tres grupos de ratas, un grupo de control (GC), un grupo de exposición simulada (GE) y un grupo expuesto a campos electromagnéticos (GEM). Mientras que las ratas del grupo GEM estuvieron expuestas a CEM de 900 MHz (1 h/día durante 28 días) en un tubo de exposición, el G se colocó en el tubo de exposición pero no se expuso a CEM (1 h/día durante 28 días). La tasa de absorción de energía específica (SAR) varió entre 0,016 (cuerpo entero) y 2 W/kg (localmente en la cabeza). El CG no se colocó en el tubo de exposición ni se expuso a campos electromagnéticos durante el período de estudio. Al final del experimento, se sacrificaron todas las ratas hembra y se estimó el número de células de Purkinje utilizando una técnica de recuento estereológico. También se realizaron evaluaciones histopatológicas en secciones del cerebelo. Los resultados mostraron que el número total de células de Purkinje en el cerebelo del EMFG fue significativamente menor que el del CG ($p < 0,004$) y el SG ($p < 0,002$). Además, no hubo una diferencia significativa en el nivel 0,05 entre los pesos corporales y cerebrales de las ratas en el EMFG y el CG o el SG. Por lo tanto, se sugiere que la exposición prolongada a campos electromagnéticos de 900 MHz conduce a una disminución del número de células de Purkinje en el cerebelo de la rata hembra.

(E) Souffi S, Lameth J, Gaucher Q, Arnaud-Cormos D, Lévêque P, Edeline JM, Mallat M. La exposición a campos electromagnéticos LTE de 1800 MHz en condiciones proinflamatorias disminuye la fuerza de respuesta y aumenta el umbral acústico de las neuronas corticales auditivas. Sci Rep 12(1):4063, 2022. (AS, EE, IA)

La creciente necesidad de comunicaciones por telefonía móvil ha dado lugar a generaciones sucesivas (G) de tecnologías inalámbricas, que podrían afectar de forma diferencial a los sistemas biológicos. Para comprobarlo, expusimos a ratas a una única exposición de la cabeza a un campo electromagnético (CEM) de 1800 MHz de evolución a largo plazo (LTE) 4G durante 2 h. A continuación, evaluamos el impacto en la cobertura del espacio microglial.

y la actividad neuronal electrofisiológica en la corteza auditiva primaria (ACx), bajo neuroinflamación aguda inducida por lipopolisacárido. La tasa de absorción específica media en la ACx fue de 0,5 W/kg. El registro multiunitario reveló que LTE-EMF desencadenó una reducción en la fuerza de respuesta a tonos puros y vocalizaciones naturales, junto con un aumento en el umbral acústico en las frecuencias bajas y medias. La inmunohistoquímica Iba1 no mostró cambios en el área cubierta por cuerpos celulares y procesos de microglia. En ratas sanas, la misma exposición a LTE no indujo cambios en la fuerza de respuesta y el umbral acústico. Nuestros datos indican que la neuroinflamación aguda sensibiliza las respuestas neuronales a LTE-EMF, lo que conduce a un procesamiento alterado de los estímulos acústicos en la ACx.

(E) Spichtig S, Scholkmann F, Chin L, Lehmann H, Wolf M. Evaluación de los efectos del campo electromagnético UMTS intermitente en la circulación sanguínea en la región auditiva humana utilizando un sistema de infrarrojo cercano. *Bioelectromagnetismo*. 33(1):40-54, 2012. (HU, PE)

El objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos potenciales de los campos electromagnéticos intermitentes del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS-EMF) en la circulación sanguínea en la cabeza humana (región auditiva) utilizando espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) en dos escalas de tiempo diferentes: corto plazo (efectos que ocurren dentro de los 80 s) y mediano plazo (efectos que ocurren dentro de los 80 s a 30 min). Por primera vez, medimos los posibles efectos inmediatos de UMTS-EMF en tiempo real sin ninguna interferencia durante la exposición. Se aplicaron tres exposiciones diferentes (simulación, 0,18 W/kg y 1,8 W/kg) en un paradigma controlado, aleatorizado, cruzado y doble ciego en 16 voluntarios sanos. Además de las concentraciones de oxi, desoxi y hemoglobina total ([O(2) Hb], [HHb] y [tHb], respectivamente), se registraron la frecuencia cardíaca (FC), el bienestar subjetivo, el cansancio y la velocidad de conteo. Durante la exposición a 0,18 W/kg, encontramos un aumento significativo a corto plazo en $\Delta[O(2) Hb]$ y $\Delta[tHb]$, que es pequeño ($\approx 17\%$) en comparación con una activación cerebral funcional. Se detectó una disminución significativa en la respuesta a medio plazo de $\Delta[HHb]$ a exposiciones de 0,18 y 1,8 W/kg, que se encuentra en el rango de fluctuaciones fisiológicas.

El ΔHR a medio plazo fue significativamente mayor (+1,84 lpm) a 1,8 W/kg que en el caso de la exposición simulada. Los demás parámetros no mostraron efectos significativos. Nuestros resultados sugieren que la exposición intermitente a los campos electromagnéticos UMTS tiene pequeños efectos a corto y medio plazo sobre la circulación sanguínea cerebral y la frecuencia cardíaca.

(NE) Stefanics G, Kellényi L, Molnár F, Kubinyi G, Thuróczy G, Hernádi I. La exposición breve a teléfonos móviles GSM no altera la respuesta auditiva del tronco encefálico humano. *Salud pública de BMC*. 7:325, 2007. (HU, EE)

ANTECEDENTES: En la actualidad, en todo el mundo se utilizan aproximadamente 1.600 millones de teléfonos móviles GSM. Numerosos artículos han informado sobre diversos efectos biológicos en seres humanos expuestos a campos electromagnéticos emitidos por teléfonos móviles. El objetivo del presente estudio fue avanzar en nuestra comprensión de los posibles efectos adversos de los teléfonos móviles GSM en el sistema auditivo humano. MÉTODOS: Se registró la respuesta auditiva del tronco encefálico (ABR) con tres electrodos no polarizantes de Ag-AgCl en el cuero cabelludo en treinta voluntarios jóvenes y sanos (de 18 a 26 años de edad) con audición normal. Los datos de ABR se recopilaron antes e inmediatamente después de una exposición de 10 minutos a un campo electromagnético pulsado de 900 MHz emitido por un Nokia 6310 comercial.

Teléfono móvil. Quince sujetos fueron expuestos a campos electromagnéticos genuinos y quince a campos electromagnéticos simulados en un orden doble ciego y contrabalanceado. Los posibles efectos de la irradiación se analizaron comparando la latencia de las ondas ABR I, III y V antes y después de la exposición a campos electromagnéticos genuinos/simulados. RESULTADOS: Se realizó una prueba t de muestras pareadas para el análisis estadístico. Los resultados no revelaron diferencias significativas en la latencia de las ondas ABR I, III y V antes y después de 10 minutos de exposición a campos electromagnéticos reales o simulados. CONCLUSIÓN: Los resultados actuales sugieren que, en nuestras condiciones experimentales, una única exposición de 10 minutos a campos electromagnéticos de 900 MHz emitidos por un teléfono móvil comercial no produce efectos inmediatos mensurables en la latencia de las ondas auditivas del tronco encefálico I, III y V.

(NE) Stefanics G, Thuróczy G, Kellényi L, Hernádi I. Efectos de la irradiación de veinte minutos con un teléfono móvil 3G sobre los componentes potenciales relacionados con eventos y la sincronización gamma temprana en el paradigma auditivo de rareza. Neurociencia. 157(2):453-462, 2008. (HU, EE)

Investigamos los efectos potenciales de la irradiación durante 20 minutos de un teléfono móvil 3G del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) de nueva generación sobre los potenciales relacionados con eventos (ERP) humanos en un paradigma de rareza auditiva. En un diseño de tarea doble ciego, los sujetos fueron expuestos a irradiación genuina o simulada en dos sesiones separadas. Antes y después de la irradiación, se presentó a los sujetos una serie aleatoria de ráfagas de tonos de 50 ms (estándares frecuentes: 1 kHz, P = 0,8, desviaciones raras: 1,5 kHz, P = 0,2) a una tasa de repetición media de 1500 ms mientras se registraba el electroencefalograma (EEG). La tarea de los sujetos era contar en silencio la aparición de objetivos. Se analizaron la amplitud y latencia de los componentes N100, N200, P200 y P300 para objetivos y estándares en 29 sujetos. No encontramos efectos significativos de la irradiación del campo electromagnético (CEM) sobre la amplitud y latencia de los componentes ERP anteriores. Con el fin de estudiar los posibles efectos de los campos electromagnéticos en los procesos de atención, aplicamos un método de tiempo-frecuencia basado en wavelets para analizar el componente gamma temprano de las respuestas cerebrales a los estímulos auditivos. Descubrimos que la actividad gamma temprana evocada era insensible a la exposición a la radiofrecuencia UMTS. Nuestros resultados respaldan la idea de que una única irradiación de 20 minutos de duración con teléfonos móviles 3G de nueva generación no induce cambios mensurables en la latencia o amplitud de los componentes ERP o en la actividad oscilatoria de la banda gamma en un paradigma auditivo extraño.

(NE) Stovner LJ, Oftedal G, Straume A, Johnsson A. El nocebo como desencadenante de cefaleas: evidencia de un estudio de provocación controlado con placebo con campos de radiofrecuencia. Acta Neurol Scand Suppl. 188:67-71, 2008. (HU, PE)

ANTECEDENTES: Una gran proporción de la población en Noruega ha experimentado dolor de cabeza en relación con el uso del teléfono móvil, pero varios estudios de provocación doble ciego con radiofrecuencia (RF) y exposiciones simuladas no han demostrado ninguna relación entre el dolor de cabeza y los campos de RF de los teléfonos móviles. OBJETIVOS: Investigar el tipo y la ubicación del dolor de cabeza experimentado por los participantes en un estudio de provocación para obtener información sobre las posibles causas y mecanismos de los dolores de cabeza. MÉTODO: Cuestionario sobre el dolor de cabeza, indicación en la figura de la ubicación del dolor de cabeza después de la exposición, entrevista con el neurólogo sobre las características del dolor de cabeza para realizar diagnósticos de dolor de cabeza. RESULTADOS: Los 17 participantes pasaron por 130 ensayos (exposición simulada o RF). No hubo diferencias significativas en el tipo de dolor de cabeza, la lateralidad o la ubicación entre los

Dolores de cabeza experimentados con los dos tipos de exposición. En la mayoría de los participantes, el dolor de cabeza era compatible con un dolor de cabeza de tipo tensional. DISCUSIÓN: Como los participantes experimentaron su típico "dolor de cabeza por teléfono móvil" tanto con como sin exposición a RF, y dado que el experimento no involucró el estrés o la posición del brazo/cabeza del uso del teléfono móvil, la explicación más probable es que el dolor de cabeza en esta situación esté causado por expectativas negativas (nocebo). CONCLUSIÓN: Este y otros estudios similares indican que el dolor de cabeza que se produce en relación con el uso del teléfono móvil no está relacionado con los campos de RF, y que un efecto nocebo es importante para este y posiblemente otros desencadenantes del dolor de cabeza.

(E) Sudan M, Kheifets L, Arah OA, Olsen J. Exposición a teléfonos celulares y pérdida auditiva en niños de la cohorte nacional de nacimientos de Dinamarca. *Paediatr Perinat Epidemiol.* 27(3):247-257, 2013. (HU, BE)

ANTECEDENTES: Los niños de hoy están expuestos a los teléfonos celulares a temprana edad y pueden ser los más vulnerables si la exposición es perjudicial para la salud. Investigamos la asociación entre el uso del teléfono celular y la pérdida auditiva en niños. MÉTODOS: La cohorte nacional de nacimientos danesa (DNBC) inscribió a mujeres embarazadas entre 1996 y 2002. Se realizaron entrevistas detalladas durante la gestación y cuando los niños tenían 6 meses, 18 meses y 7 años de edad. Utilizamos regresión logística ajustada por múltiples variables, modelos estructurales marginales (MSM) con ponderación de probabilidad inversa y estimación doblemente robusta (DRE) para relacionar la pérdida auditiva a la edad de 18 meses con el uso del teléfono celular a la edad de 7 años, y para investigar el uso del teléfono celular informado a la edad de 7 años en relación con la pérdida auditiva a la edad de 7 años. RESULTADOS: Nuestros análisis incluyeron datos de 52 680 niños. Observamos asociaciones débiles entre el uso del teléfono celular y la pérdida auditiva a los 7 años, con razones de probabilidades e intervalos de confianza del 95% de la regresión logística tradicional, modelos MSM y DRE siendo 1.21 [intervalo de confianza del 95% [IC] 0.99, 1.46], 1.23 [IC del 95% 1.01, 1.49] y 1.22 [IC del 95% 1.00, 1.49], respectivamente. CONCLUSIONES: Nuestros hallazgos podrían haber sido afectados por varios sesgos y no son suficientes para concluir que las exposiciones al teléfono celular tienen un efecto sobre la audición. Este es el primer estudio epidemiológico a gran escala que investiga esta asociación potencialmente importante entre niños, y es necesario replicar estos hallazgos.

(NE) Talebnejad MR, Sadeghi-Sarvestani A, Hossein Nowroozzadeh M, Mortazavi SMJ, Khalili MR. Los efectos de la radiación de microondas en la retina de conejos. *Journal of Current Ophthalmology*, disponible en línea el 9 de octubre de 2017. (AS, CE, EE, ME)

Propósito Los teléfonos celulares móviles se utilizan ampliamente en estos días, y se ha demostrado que su radiación de microondas (MW) afecta el ojo. El propósito del presente estudio fue evaluar los efectos de la radiación de MW en la retina de conejos. Métodos Este estudio experimental (concluido en 2015) se realizó en 40 conejos blancos adultos de Nueva Zelanda. Se utilizó un simulador de teléfono celular del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) para la irradiación de MW. Los conejos fueron aleatorizados en cinco grupos (8 en cada uno) y tratados de la siguiente manera: Grupo 1: sin irradiación (simulación); Grupo 2: irradiación a 10 cm durante 1 día; Grupo 3: irradiación a 30 cm durante 1 día; Grupo 4: irradiación a 10 cm durante 3 días; y Grupo 5: irradiación a 30 cm durante 3 días. Las respuestas de la electroretinografía (ERG) escotópica y fotópica se obtuvieron al inicio y 7 días después de la última exposición. Luego, todos los conejos fueron sacrificados, se les enuclearon los ojos y se enviaron para su examen patológico. Se utilizaron pruebas de Kruskal-Wallis y Chi-cuadrado para evaluar

diferencias intergrupales en los parámetros ERG y los hallazgos histológicos, respectivamente. Resultados Las respuestas ERG obtenidas 7 días después de la irradiación no mostraron ninguna diferencia estadísticamente significativa entre los grupos ($P > 0,1$, para todos los parámetros evaluados). Hubo tendencias estadísticamente no significativas hacia mayores cambios en los ojos irradiados con MW. En el examen patológico, la retina era normal sin signos de degeneración o infiltración. Se observó congestión del cuerpo ciliar en una mayor fracción de los que recibieron dosis más altas de MW. ($P = 0,005$). Conclusiones Histopatológicamente, la irradiación con MW simulada por teléfono celular no tuvo un efecto perjudicial significativo sobre la retina. Sin embargo, se observó congestión del cuerpo ciliar en una mayor fracción de los que recibieron dosis más altas de MW. Aunque no hubo una diferencia significativa entre los valores ERG medios posteriores al tratamiento, hubo tendencias estadísticamente no significativas hacia mayores cambios en los ojos irradiados con MW.

(E) Tan S, Wang H, Xu X, Zhao L, Zhang J, Dong J, Yao B, Wang H, Zhou H, Gao Y, Peng R. Estudio sobre los efectos dependientes de la dosis, dependientes de la frecuencia y acumulativos de las microondas de 1,5 GHz y 2,856 GHz sobre las funciones cognitivas en ratas Wistar. *Sci Rep* 7:10781, 2017. (AS, BE, ME, OX)

Muchos estudios han revelado el deterioro cognitivo inducido por la radiación de microondas. Sin embargo, faltaba el estudio sistemático de los efectos dependientes de la dosis, dependientes de la frecuencia y acumulativos de la exposición a microondas a diferentes frecuencias. Aquí, estudiamos la relación entre los efectos y la potencia y frecuencia de las microondas y analizamos los efectos acumulativos de dos microondas de frecuencia diferente con la misma densidad de potencia promedio. Después de la radiación de microondas, se encontraron disminuciones en el aprendizaje espacial y la memoria y fluctuaciones de las actividades eléctricas cerebrales en los grupos de exposición a una sola frecuencia de 10 mW/cm² y en los grupos de exposición acumulativa. Mientras tanto, las evidencias morfológicas en el hipocampo también respaldaron la disfunción cognitiva. Además, la disminución del contenido de Nissl en las neuronas indicó trastornos metabólicos basados en proteínas en las neuronas. Al detectar las proteínas funcionales clave del metabolismo del transmisor colinérgico, las citocinas, el metabolismo energético y el estrés oxidativo en el hipocampo, descubrimos que las microondas podrían conducir a múltiples trastornos metabólicos. Nuestros resultados mostraron que el deterioro cognitivo inducido por microondas estaba determinado en gran medida por su potencia en lugar de su frecuencia. También se detectaron efectos lesivos en los grupos de exposición acumulativa. Nos preocupaban especialmente las dosis de seguridad, los efectos lesivos y los efectos acumulativos de las microondas, que podrían resultar muy valiosos en el futuro.

(E) Tang J, Zhang Y, Yang L, Chen Q, Tan L, Zuo S, Feng H, Chen Z, Zhu G. La exposición a campos electromagnéticos de 900 MHz activa la vía mep-1/ERK y causa daño a la barrera hematoencefálica y deterioro cognitivo en ratas. *Brain Res.* 1601:92-101, 2015. (AS, CE, BE, ME)

Con el rápido aumento del número de usuarios de teléfonos móviles, los posibles efectos adversos de la radiación del campo electromagnético emitido por un teléfono móvil se han convertido en una preocupación seria. Este estudio demostró, por primera vez, la barrera hematoencefálica y los cambios cognitivos en ratas expuestas a un campo electromagnético (CEM) de 900 MHz y tiene como objetivo dilucidar la posible vía molecular subyacente a estos cambios. Un total de 108 ratas Sprague-Dawley macho fueron expuestas a un CEM de 900 MHz, 1 mW/cm² o una simulación (sin exposición) durante 14 o 28 días (3 h por día).

La tasa de absorción de energía específica (SAR) varió entre 0,016 (cuerpo entero) y 2 W/kg (localmente en la cabeza). Además, se utilizó la prueba del laberinto acuático de Morris para examinar la determinación del rendimiento de la memoria espacial. Se investigaron los cambios morfológicos examinando los cambios ultraestructurales en el hipocampo y la corteza, y se utilizó el ensayo Evans Blue para evaluar el daño de la barrera hematoencefálica (BHE). Se realizó inmunotinción para identificar neuronas hemooxigenasa-1 (HO-1)-positivas y detección de extravasación de albúmina. Se utilizó Western blot para determinar la expresión de HO-1, la expresión de ERK fosforilada y la expresión del mediador ascendente, mkp-1. Descubrimos que la frecuencia de cruce de plataformas y el porcentaje de tiempo transcurrido en el cuadrante objetivo fueron menores en ratas expuestas a EMF durante 28 días que en ratas expuestas a EMF durante 14 días y ratas no expuestas. Además, 28 días de exposición a EMF indujeron edema celular y degeneración de orgánulos celulares neuronales en la rata. Además, se observó una alteración de la permeabilidad de la BHE, que dio lugar a la extravasación de albúmina y HO-1 en el hipocampo y la corteza. Por tanto, por primera vez, descubrimos que la exposición a campos electromagnéticos durante 28 días indujo la expresión de mkp-1, lo que dio lugar a la desfosforilación de ERK. En conjunto, estos resultados demostraron que la exposición a una radiación electromagnética de 900 MHz durante 28 días puede perjudicar significativamente la memoria espacial y dañar la permeabilidad de la BHE en ratas al activar la vía mkp-1/ERK.

(NE) Terao Y, Okano T, Furubayashi T, Yugeta A, Inomata-Terada S, Ugawa Y. Efectos de la exposición a teléfonos móviles durante treinta minutos en los movimientos sacádicos. Clin Neurophysiol. 118(7):1545-1556, 2007. (HU PE)

OBJETIVO: Investigar si la exposición a un campo electromagnético pulsado de alta frecuencia (CEM pulsado) emitido por un teléfono móvil tiene efectos a corto plazo en el rendimiento de las sacadas.

MÉTODOS: Se empleó un diseño cruzado, doble ciego y contrabalanceado. En 10 sujetos normales, estudiamos el desempeño de las tareas de sacadas guiadas visualmente (VGS), sacadas de brecha (GAP) y sacadas guiadas por la memoria (MGS) antes y después de la exposición a los campos electromagnéticos emitidos por un teléfono móvil durante treinta minutos o una exposición simulada. También implementamos una tarea de tiempo de reacción de la mano (RT) en respuesta a una señal visual. RESULTADOS: Con la excepción de las latencias de VGS y MGS, los parámetros de las tareas de VGS, GAP y MGS no cambiaron antes y después de la exposición real o simulada a campos electromagnéticos. Además, las latencias de VGS y MGS no cambiaron de manera diferente después de la exposición real y simulada. El RT de la mano se acortó con la repetición de los ensayos, pero nuevamente esta tendencia fue de magnitud similar para las exposiciones reales y simuladas. CONCLUSIONES: Treinta minutos de exposición al teléfono móvil La exposición no tiene un efecto significativo a corto plazo en el desempeño de las sacadas. SIGNIFICADO: Este es el primer estudio que investiga el desempeño de las sacadas en relación con la exposición al teléfono móvil. No se demostró ningún efecto significativo del uso del teléfono móvil en el desempeño de varias tareas de sacadas, lo que sugiere que el procesamiento cortical de las sacadas y la atención no se ve afectado por la exposición a los campos electromagnéticos emitidos por un teléfono móvil.

(NE) Thomas S, Benke G, Dimitriadis C, Inyang I, Sim MR, Wolfe R, Croft RJ, Abramson MJ. Uso de teléfonos móviles y cambios en la función cognitiva en adolescentes. Occup Environ Med. 67(12):861-866, 2010a. (HU, BE)

ANTECEDENTES: Varios estudios han investigado el impacto de la exposición a teléfonos móviles en la función cognitiva en adultos. Sin embargo, los niños y adolescentes son de especial interés debido a sus sistemas nerviosos en desarrollo. MÉTODOS: Los datos se obtuvieron de la base de datos de teléfonos móviles de Australia. Estudio de usuarios expuestos a teléfonos de radiofrecuencia (MoRPhEUS), que comprendió un examen inicial de estudiantes de séptimo año durante 2005/2006 y un seguimiento de 1 año. Se recogieron datos sociodemográficos y de exposición mediante un cuestionario. Las funciones cognitivas se evaluaron con una batería de pruebas informáticas y la prueba Stroop Color-Word. RESULTADOS: 236 estudiantes participaron en ambos exámenes. La proporción de propietarios de teléfonos móviles y el número de llamadas de voz y servicios de mensajes cortos (SMS) por semana aumentaron desde el inicio hasta el seguimiento.

Los participantes que habían recibido más llamadas de voz y SMS al inicio del estudio mostraron menores reducciones en los tiempos de respuesta durante el período de 1 año en varias tareas informáticas. Además, aquellos que habían recibido más llamadas de voz y SMS durante el período de 1 año mostraron cambios en el tiempo de respuesta en una reacción simple y una tarea de memoria de trabajo. No se observaron asociaciones entre el uso de teléfonos móviles Exposición y prueba de Stroop. CONCLUSIONES: Hemos observado que algunos cambios en la función cognitiva, en particular en el tiempo de respuesta más que en la precisión, se produjeron con un período de latencia de 1 año y que algunos cambios se asociaron con una mayor exposición. Sin embargo, la mayor exposición se aplicó principalmente a aquellos que tenían menos llamadas de voz y SMS al inicio del estudio, lo que sugiere que estos cambios a lo largo del tiempo pueden estar relacionados con la regresión estadística a la media y no ser el efecto de la exposición al teléfono móvil.

(E) Thomas S, Heinrich S, von Kries R, Radon K. Exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia y problemas de conducta en niños y adolescentes bávaros. Eur J Epidemiol. 25(2):135-141, 2010b. (HU, BE)

Hasta el momento, solo unos pocos estudios han investigado los posibles efectos sobre la salud de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF CEM) en niños y adolescentes, aunque los expertos hablan de una posible mayor vulnerabilidad a dichos campos. Nuestro objetivo era investigar una posible asociación entre la exposición medida a los campos EMF de RF y los problemas de conducta en niños y adolescentes. Se seleccionaron aleatoriamente 1.498 niños y 1.524 adolescentes de los registros de población de cuatro ciudades de Baviera (sur de Alemania). Durante una entrevista, se recopilaron datos sobre la salud mental de los participantes, las características sociodemográficas y los posibles factores de confusión.

La conducta de salud mental se evaluó utilizando la versión alemana del Cuestionario de fortalezas y dificultades (SDQ). Utilizando un dosímetro personal, obtuvimos perfiles de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia durante 24 horas. Los niveles de exposición durante las horas de vigilia se expresaron como porcentaje medio del nivel de referencia. En general, la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia estaba muy por debajo del nivel de referencia. El siete por ciento de los niños y el 5% de los adolescentes mostraron un comportamiento mental anormal. En los análisis de regresión logística múltiple, la exposición medida a campos de RF en el cuartil más alto se asoció con problemas generales de comportamiento para adolescentes (OR 2,2; IC del 95% 1,1-4,5) pero no para niños (1,3; 0,7-2,6). Estos resultados están impulsados principalmente por una subescala, ya que los resultados mostraron una asociación entre la exposición y los problemas de conducta para adolescentes (3,7; 1,6-8,4) y niños (2,9; 1,4-5,9). Como este es uno de los primeros estudios que investigaron una asociación entre la exposición a redes de telecomunicaciones móviles y el comportamiento de salud mental, se justifican más estudios que utilicen dosimetría personal para confirmar estos hallazgos.

(E) Thomée S, Härenstam A, Hagberg M. Uso de teléfonos móviles y estrés, trastornos del sueño y síntomas de depresión entre adultos jóvenes: un estudio de cohorte prospectivo. BMC Public Health. 11:66, 2011. (HU, BE) (Los efectos pueden no ser causados por la exposición a RFR).

ANTECEDENTES: Debido al rápido desarrollo y uso generalizado de los teléfonos móviles, y su gran efecto en la comunicación y las interacciones, es importante estudiar los posibles efectos negativos para la salud de la exposición al teléfono móvil. El objetivo general de este estudio fue investigar si existen asociaciones entre los aspectos psicosociales del uso del teléfono móvil y los síntomas de salud mental en una cohorte prospectiva de adultos jóvenes. MÉTODOS: El grupo de estudio consistió en adultos jóvenes de 20 a 24 años (n = 4156), que respondieron a un cuestionario al inicio y al año de seguimiento. Las variables de exposición al teléfono móvil incluyeron la frecuencia de uso, pero también variables más cualitativas: demandas de disponibilidad, estrés percibido por la accesibilidad, despertarse por la noche por el teléfono móvil y uso excesivo personal del teléfono móvil.

Los resultados de salud mental incluyeron estrés actual, trastornos del sueño y síntomas de depresión. Se calcularon razones de prevalencia (RP) para asociaciones transversales y prospectivas entre variables de exposición y resultados de salud mental para hombres y mujeres por separado.

RESULTADOS: Se encontraron asociaciones transversales entre el uso alto y bajo de teléfonos móviles. Uso y estrés, trastornos del sueño y síntomas de depresión para hombres y mujeres. Al excluir a los encuestados que informaron síntomas de salud mental al inicio, el uso elevado de teléfonos móviles se asoció con trastornos del sueño y síntomas de depresión para los hombres y síntomas de depresión para las mujeres en el seguimiento de 1 año. Todas las variables cualitativas tuvieron asociaciones transversales con los resultados de salud mental. En el análisis prospectivo, el uso excesivo se asoció con estrés y trastornos del sueño para las mujeres, y el alto estrés de accesibilidad se asoció con estrés, trastornos del sueño y síntomas de depresión tanto para hombres como para mujeres. CONCLUSIONES: La alta frecuencia de uso de teléfonos móviles al inicio fue un factor de riesgo para los resultados de salud mental en el seguimiento de 1 año entre los adultos jóvenes. El riesgo de informar síntomas de salud mental en el seguimiento fue mayor entre aquellos que habían percibido que la accesibilidad a través de teléfonos móviles era estresante. Las estrategias de prevención de salud pública centradas en las actitudes podrían incluir información y asesoramiento, ayudando a los adultos jóvenes a establecer límites para su propia accesibilidad y la de los demás.

(E) Tombini M, Pellegrino G, Pasqualetti P, Assenza G, Benvenga A, Fabrizio E, Rossini PM
Las emisiones de los teléfonos móviles modulan la excitabilidad cerebral en pacientes con epilepsia focal. Brain Stimul. 6:448-454, 2013. (HU, EE, MA)

ANTECEDENTES: Se ha demostrado que los campos electromagnéticos (CEM) emitidos por los teléfonos móviles aumentan la excitabilidad cortical en sujetos sanos después de 45 minutos de exposición continua en el hemisferio ipsilateral. OBJETIVO: Mediante estimulación magnética transcraneal (EMT), el presente estudio evaluó los efectos de la exposición aguda a los CEM de teléfonos móviles sobre la excitabilidad cortical en pacientes con epilepsia focal. MÉTODOS: Se estudiaron diez pacientes con epilepsia focal criptogénica originada fuera del área motora primaria (M1). Se aplicó EMT de pulsos pareados al M1 tanto del hemisferio ipsilateral (IH) como del contralateral (CH) al foco epiléptico antes e inmediatamente después de la exposición real/simulada a los CEM GSM (45 min). El estudio de EMT se llevó a cabo en todos los sujetos en tres sesiones experimentales diferentes (exposición a IH y CH,

simulado), con 1 semana de diferencia, según un paradigma cruzado, doble ciego y contrabalanceado.

RESULTADOS: El presente estudio demostró claramente que una exposición aguda y relativamente prolongada a los campos electromagnéticos GSM modula la excitabilidad cortical en pacientes afectados por epilepsia focal; Sin embargo, a diferencia de los sujetos sanos, estos efectos fueron evidentes solo después de la exposición a los CEM en el hemisferio contralateral al foco epiléptico (CH). Se caracterizaron por un aumento significativo de la excitabilidad cortical en el hemisferio expuesto junto con una ligera disminución de la excitabilidad en el otro (IH). Tanto la exposición simulada como la real a los CEM del IH no afectaron la excitabilidad cerebral. CONCLUSIÓN: Los resultados actuales sugieren una interacción significativa entre los cambios de excitabilidad cerebral inducidos por los CEM y el foco epiléptico, que eliminó los efectos de mejora de la excitabilidad de los CEM evidentes solo en el CH.

(E) Tong J, Chen S, Liu XM, Hao DM. [Efecto de la radiación electromagnética sobre la actividad de descarga de las neuronas en el hipocampo CA1 en ratas]. Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi. 29(5):423-427, 2013. [Artículo en chino] (AS, CE, EE)

OBJETIVO: Con el fin de explorar el efecto de la radiación electromagnética en la capacidad de aprendizaje y memoria de las neuronas del hipocampo en ratas, se observaron los cambios en los patrones de descarga y la actividad eléctrica general de las neuronas del hipocampo después de la radiación electromagnética. MÉTODOS: La descarga de las neuronas de la rata se registró con tecnología de registro extracelular de electrodos de vidrio y un polígrafo respectivamente. La frecuencia de radiación de la onda electromagnética fue de 900 MHz y la potencia fue de 10 W/m². En el registro extracelular de electrodos de vidrio, las ratas fueron irradiadas por separado durante 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min, cada punto se repitió 10 veces y se actualizó a intervalos de 1 h, observando los cambios en la descarga neuronal y los patrones de descarga espontánea después de la radiación electromagnética. En experimentos de registro de polígrafo, las ratas del grupo de irradiación durante cinco días a la semana, 6 horas por día, repetidamente durante 10 semanas, los cambios eléctricos de memoria en las ratas del grupo de control y del grupo de irradiación cuando se alimentaban fueron monitoreados repetidamente por los electrodos implantados, observando los cambios en los dígitos eléctricos pico y la amplitud más grande en el área CA1 del hipocampo, y tomando alguna secuencia de muestreo de radiación electromagnética para el análisis de correlación. RESULTADOS: (1) La radiación electromagnética tuvo un papel inhibitorio en la frecuencia de descarga de las neuronas de la región CA1 del hipocampo. Después de la radiación electromagnética, la frecuencia de descarga de las neuronas de la región CA1 del hipocampo se redujo, pero los cambios en la escala no fueron obvios. (2) La radiación electromagnética podría cambiar los patrones de descarga espontánea de las neuronas de la región CA1 del hipocampo, lo que hizo que el patrón de descarga explosiva aumentara obviamente. (3) El número total de potencial pico dentro de los 5 min en el grupo de irradiación se redujo significativamente, la amplitud más grande fue menor que la del grupo de control. (4) Utilizando el método matemático para hacer el análisis de correlación de la secuencia de muestreo de radiación electromagnética, la del grupo de irradiación fue menor que la del grupo de control, lo que indica que hubo una tendencia a la conexión inhibitoria entre las neuronas en el grupo de irradiación después de la radiación electromagnética. CONCLUSIÓN: La radiación electromagnética puede causar cambios en la estructura y función de la transferencia sináptica a nivel global, hacer que las neuronas del área CA1 del hipocampo cambien en la característica de descarga general y los patrones de descarga, lo que conduce a una disminución en la capacidad de aprendizaje y memoria.

(E) Trosić I, Pavčić I, Milković-Kraus S, Mladinić M, Zeljezić D. Efecto de la radiación de radiofrecuencia electromagnética en las células del cerebro, hígado y riñón de ratas medidas mediante ensayo cometa. Coll Antropol. 35(4):1259-1264, 2011. (AS, CE, CH)

El objetivo del estudio fue evaluar el daño del ADN en las células renales, hepáticas y cerebrales de ratas después de la exposición in vivo a la radiación de radiofrecuencia/microondas (Rf/Mw) del rango de frecuencias de teléfonos celulares. Para determinar el daño del ADN, se utilizó una electroforesis en gel de una sola célula/ensayo cometa. Se expusieron ratas Wistar (machos, 12 semanas de edad, peso corporal aproximado 350 g) (N = 9) a la frecuencia portadora de 915 MHz con modulación de señal móvil del sistema global (GSM), densidad de potencia de 2,4 W/m², tasa de absorción específica promedio de cuerpo entero SAR de 0,6 W/kg. Los animales fueron irradiados durante una hora/día, siete días/semana durante un período de dos semanas. La configuración de exposición fue una celda de modo electromagnético transversal de gigahercios (celda GTEM). Los controles irradiados simulados (N = 9) fueron parte del estudio. La temperatura corporal se midió antes y después de la exposición.

No se observaron diferencias de temperatura entre los animales de control y los tratados. Ensayo Comet _____ Se evaluaron parámetros como la longitud de la cola y la intensidad de la misma. En comparación con la longitud de la cola en los controles (13,5 +/- 0,7 microm), la cola fue ligeramente alargada en las células cerebrales de los animales irradiados (14,0 +/- 0,3 microm). La longitud de la cola obtenida para los homogeneizados de hígado (14,5 +/- 0,3 microm) y riñón (13,9 +/- 0,5 microm) difiere notablemente en comparación con los controles simulados emparejados (13,6 +/- 0,3 microm) y (12,9 +/- 0,9 microm). Las diferencias en la intensidad de la cola entre los animales de control y los expuestos no fueron significativas. Los resultados de este estudio sugieren que, en las condiciones experimentales aplicadas, la irradiación repetida de 915 MHz podría ser una causa de roturas de ADN en células renales y hepáticas, pero no afectar al genoma celular en mayor medida en comparación con el daño basal.

(NE) Trunk A, Stefanics G, Zentai N, Kovács-Bálint Z, Thuróczy G, Hernádi I. No hay efectos de la exposición a un único teléfono móvil 3G UMTS en la actividad EEG espontánea, los correlatos ERP y la detección automática de desviaciones. Bioelectromagnetismo. 34: 31-42, 2013. (HU, EE)

Se investigaron los efectos potenciales de una exposición de 30 minutos a campos electromagnéticos (CEM) similares a los de los teléfonos móviles del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) de tercera generación (3G) sobre la actividad eléctrica del cerebro humano en dos experimentos. En el primer experimento, se analizó la electroencefalografía espontánea (sEEG) (n = 17); en el segundo experimento, se investigaron los potenciales relacionados con eventos auditivos (ERP) y los procesos de detección automática de desviaciones reflejados por la negatividad de desajuste (MMN) en un paradigma pasivo de bolas extrañas (n = 26). Tanto los experimentos de sEEG como de ERP siguieron un protocolo doble ciego en el que los sujetos fueron expuestos a una irradiación genuina o simulada en dos sesiones separadas. En ambos experimentos, se registraron electroencefalogramas (EEG) en los sitios de electrodos de la línea media antes y después de la exposición mientras los sujetos miraban un documental sin sonido. La potencia espectral de los datos de sEEG se analizó en las bandas de frecuencia delta, theta, alfa y beta. En el experimento ERP, se presentó a los sujetos una serie aleatoria de tonos estándar (90%) y desviados de frecuencia (10%) en un paradigma binaural pasivo de tipo extraño. Se analizaron la amplitud y latencia de los componentes P50, N100, P200, MMN y P3a. No encontramos efectos mensurables de una irradiación de teléfono móvil 3G durante 30 minutos sobre la potencia espectral del EEG en ninguna de las bandas de frecuencia estudiadas. Además, no encontramos efectos significativos de la irradiación EMF sobre la amplitud y latencia de ninguno de los ERP.

componentes. En resumen, los resultados actuales no respaldan la idea de que una exposición unilateral a campos electromagnéticos 3G durante 30 minutos interfiera con la actividad sEEG humana, los potenciales evocados auditivos o la detección automática de desviaciones indexadas por MMN.

(NE) Trunk A, Stefanics G, Zentai N, Bacskay I, Felinger A, Thuróczy G, Hernádi I. Falta de interacción entre la exposición simultánea a la cafeína y al teléfono móvil en la detección visual de objetivos: un estudio de ERP. *Pharmacol Biochem Behav.* 124:412-420, 2014. (HU, BE, EE, IA)

ANTECEDENTES: La cafeína afecta el procesamiento de la información actuando predominantemente sobre la activación cortical, la excitación y la atención. Millones de personas consumen cafeína y utilizan simultáneamente su teléfono móvil (MP) durante las actividades cotidianas. Sin embargo, no se sabe si los campos electromagnéticos (CEM) emitidos por los MP pueden modular los efectos psicoactivos conocidos de la cafeína y, en caso afirmativo, cómo lo hacen. Aquí investigamos los correlatos conductuales y neuronales de la cafeína y la exposición simultánea a MP en un esquema de modulación de señal del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) de tercera generación (3G). MÉTODOS: Registramos la electroencefalografía (EEG) y los potenciales relacionados con eventos (ERP) en un paradigma extraño para estímulos estándar frecuentes ($P = 0,8$) y estímulos objetivo raros ($P = 0,2$) en un protocolo controlado con placebo, doble ciego, intrasujeto en cuatro sesiones experimentales: 1) sin cafeína y sin MP, 2) solo cafeína, 3) solo MP, 4) cafeína y MP. La tarea de los sujetos era discriminar entre estímulos estándar y objetivo y responder a este último presionando un botón mientras se registraban el tiempo de reacción (RT) y el EEG. Para proporcionar un análisis completo de cualquier posible efecto del tratamiento con cafeína y/o MP que pueda haberse producido, analizamos la onda ERP P300 utilizando cuatro medidas ERP diferentes: 1) latencia máxima, 2) amplitud máxima, 3) latencia de área fraccional (FAL) del 50% y 4) área bajo la curva (AUC).

RESULTADOS: La cafeína acortó significativamente el tiempo de reacción y disminuyó el área bajo la curva (AUC) del componente P300 en comparación con el control o con las condiciones de exposición a UMTS MP sola. Sin embargo, no se observaron efectos en el tiempo de reacción ni en el P300 en las sesiones de exposición a UMTS MP, ni sola ni en combinación con cafeína. CONCLUSIÓN: En general, los resultados actuales no demostraron ningún efecto interactivo o sinérgico de la cafeína y la exposición a campos electromagnéticos como UMTS MP en las medidas cognitivas o neuronales básicas. Sin embargo, encontramos que la cafeína mejoró de manera consistente las medidas conductuales y de ERP de detección visual de objetivos, lo que demuestra que los resultados actuales se obtuvieron utilizando una metodología farmacológicamente validada, consistente y replicable.

(NE) Trunk A, Stefanics G, Zentai N, Bacskay I, Felinger A, Thuróczy G, Hernádi I. Efectos de la exposición simultánea a cafeína y teléfono móvil en el procesamiento de probabilidad de objetivo local en el cerebro humano. *Sci Rep.* 5:14434, 2015. (HU, EE, BE)

Millones de personas utilizan teléfonos móviles (MP) mientras beben café u otras bebidas que contienen cafeína. Se sabe poco sobre los posibles efectos combinados de la irradiación de MP y cafeína en las funciones cognitivas. Aquí investigamos si la ingesta de cafeína y la exposición concurrente a la irradiación similar a MP del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) pueden influir de manera interactiva en la función neurocognitiva en un paradigma de rareza visual activa. En un diseño experimental factorial completo, 25 participantes realizaron una tarea simple de detección visual de objetivos mientras se registraba el tiempo de reacción (RT) y el electroencefalograma (EEG). Los ensayos de objetivos se dividieron en conjuntos de probabilidad baja y alta según la distancia de objetivo a objetivo. Analizamos un solo ensayo

RT y potencia de banda alfa (amplitud) en el intervalo previo al objetivo. Descubrimos que el RT fue más corto en los ensayos de probabilidad local alta frente a los de probabilidad baja, y la cafeína acortó aún más el RT en los ensayos de probabilidad alta en relación con la condición de referencia, lo que sugiere que la cafeína mejora la eficiencia de la memoria implícita a corto plazo. La cafeína también redujo la amplitud alfa previa al objetivo, lo que resultó en un mayor nivel de excitación. Además, la potencia gamma previa al objetivo se correlacionó positivamente con el RT, lo que puede haber facilitado la detección del objetivo. Sin embargo, en el presente estudio farmacológicamente validado, la exposición a UMTS, ya sea sola o en combinación con cafeína, no alteró el RT ni la actividad cerebral oscilatoria previa al estímulo.

(E) Tsoy A, Saliev T, Abzhanova E, Turgambayeva A, Kaiyrykzy A, Akishev M, Saparbayev S, Umbayev B, Askarova S. Los efectos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia de los teléfonos móviles en el estrés oxidativo inducido por β -amiloide en astrocitos primarios humanos y de rata. *Neuroscience*.408:46-57, 2019. (CS, CH, OX, MA)

El péptido beta amiloide ($A\beta$) está implicado en el desarrollo de reacciones patológicas asociadas con la enfermedad de Alzheimer (EA), como el estrés oxidativo, la neuroinflamación y la muerte de las células cerebrales. Los enfoques farmacológicos actuales para tratar la EA no pueden controlar la deposición de $A\beta$ y la supresión de la respuesta celular inducida por $A\beta$. Existe un creciente cuerpo de evidencia de que la exposición al campo electromagnético de radiofrecuencia (RF-EMF) causa una disminución de la deposición de beta-amiloide en los cerebros y proporciona beneficios cognitivos a los ratones Tg de Alzheimer. En este trabajo, investigamos los efectos del campo electromagnético de radiofrecuencia de 918 MHz del teléfono móvil sobre la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), el potencial de membrana mitocondrial (MMP), la actividad de la NADPH-oxidasa y la fosforilación de las quinasas p38MAPK y ERK1/2 en astrocitos primarios humanos y de rata en presencia de $A\beta$ 42 y H_2O_2 . Nuestros datos demuestran que los campos electromagnéticos pueden reducir las ROS celulares inducidas por $A\beta$ 42 y H_2O_2 , anular la producción de ROS mitocondriales inducida por $A\beta$ y la co-localización entre las subunidades citosólica (p47-phox) y de membrana (gp91-phox) de la NADPH oxidasa, mientras que aumentan la MMP e inhiben la fosforilación inducida por H_2O_2 de p38MAPK y ERK1/2 en astrocitos primarios. Sin embargo, los campos electromagnéticos no pudieron modular las alteraciones en el estado de fosforilación de las MAPK desencadenadas por $A\beta$ 42. Nuestros hallazgos proporcionan una perspectiva de los mecanismos de las respuestas celulares y moleculares de los astrocitos a la exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia e indican el potencial terapéutico de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia para el tratamiento de la enfermedad.

(NE) Unterlechner M, Sauter C, Schmid G, Zeitlhofer J. Ningún efecto de un campo electromagnético similar al de un teléfono móvil UMTS de 1,97 GHz sobre la atención humana y el tiempo de reacción. *Bioelectromagnetism*. 29(2):145-153, 2008. (HU, BE)

En el pasado, varios estudios informaron sobre la influencia de las emisiones electromagnéticas de los teléfonos GSM en el tiempo de reacción de los seres humanos. Sin embargo, actualmente solo hay unos pocos estudios disponibles que aborden los posibles efectos de los campos electromagnéticos emitidos por los teléfonos móviles UMTS. En nuestro estudio, 40 voluntarios sanos (20 mujeres, 20 hombres), de 26,0 años (rango de 21 a 30 años) se sometieron a cuatro pruebas informáticas diferentes que medían el tiempo de reacción y la atención en tres condiciones de exposición diferentes similares a las de los teléfonos móviles UMTS (dos niveles de exposición más una exposición simulada). La exposición de los sujetos se realizó mediante pequeñas antenas helicoidales operadas cerca de la cabeza y alimentadas por una señal genérica que representa las emisiones de un teléfono móvil UMTS en condiciones de recepción constantes, así como en una condición de potencia de transmisión muy variable. En la alta exposición

La exposición espacial media máxima resultante de los sujetos de prueba en la corteza del lóbulo temporal izquierdo del cerebro fue de 0,63 W/kg (mín. 0,25 W/kg, máx. 1,49 W/kg) en términos de 1 g de SAR promedio y de 0,37 W/kg (mín. 0,16 W/kg, máx. 0,84 W/kg) en términos de 10 g de SAR promedio, respectivamente. La condición de baja exposición fue una décima parte de la exposición alta y la condición simulada fue al menos 50 dB por debajo de la exposición baja. El análisis estadístico de los parámetros de prueba obtenidos mostró que la exposición a la señal UMTS genérica no tuvo un efecto inmediato estadísticamente significativo sobre la atención o la reacción. Por lo tanto, este estudio no proporciona ninguna evidencia de que la exposición a los móviles UMTS interfiera con la atención en condiciones de exposición a corto plazo.

(E) Vácha M, Puzová T, Kvicalová M. Los campos magnéticos de radiofrecuencia interrumpen la magnetorrecepción en la cucaracha americana. *J Exp Biol.* 212(Parte 21):3473-3477, 2009. (AS, LI, BE)

El sentido que permite a las aves orientarse por el campo magnético de la Tierra puede ser desactivado por un campo magnético oscilante cuya intensidad es sólo una fracción de la intensidad del campo geomagnético y cuyas oscilaciones caen en las bandas de ondas de radio de frecuencia media o alta. Este notable fenómeno apunta muy claramente a uno de los dos mecanismos alternativos de magnetorrecepción existentes en animales terrestres, es decir, el mecanismo basado en las reacciones de pares radicales de moléculas fotosensibles específicas. Como el primer estudio de este tipo en invertebrados, nuestro trabajo ofrece evidencia de que la recepción del campo geomagnético en la cucaracha americana es sensible a un campo de radiofrecuencia débil. Además, demostramos que el efecto "ensordecedor" en la frecuencia de Larmor de 1,2 MHz es más fuerte que en otras frecuencias. El parámetro estudiado fue el aumento de la actividad locomotora de las cucarachas inducido por cambios periódicos en las posiciones del Norte geomagnético en 60 grados. El inicio del efecto disruptivo de un campo de 1,2 MHz se encontró entre 12 nT y 18 nT, mientras que el umbral de un campo de frecuencia duplicada de 2,4 MHz se encontraba entre 18 nT y 44 nT. Un campo de 7 MHz no mostró impacto incluso en la densidad máxima de flujo magnético de 44 nT. Los resultados indican efectos de resonancia en lugar de un sesgo no específico del procedimiento en sí y sugieren que los insectos pueden estar equipados con el mismo sistema de magnetorrecepción que las aves.

(E) Varghese R, Majumdar A, Kumar G, Shukla A. Las ratas expuestas a 2,45 GHz de radiación no ionizante exhiben cambios de comportamiento con mayor expresión cerebral de la caspasa 3 apoptótica. *Fisiopatología.* 25:19-30, 2018. (AS, CE, BE, CH, OX)

En los últimos años, ha habido un tremendo aumento en el uso de dispositivos Wi-Fi junto con teléfonos móviles, a nivel mundial. Los dispositivos Wi-Fi utilizan una frecuencia de 2,4 GHz. El presente estudio evaluó el impacto de la exposición a la radiación de 2,45 GHz durante 4 h/día durante 45 días sobre los parámetros de estrés oxidativo y conductual en ratas Sprague Dawley hembra. Las pruebas de comportamiento de ansiedad, aprendizaje y memoria se iniciaron a partir del día 38. Los parámetros de estrés oxidativo se estimaron en homogeneizados cerebrales después de sacrificar a las ratas el día 45. En el laberinto acuático Morris, el laberinto en cruz elevada y la prueba de caja oscura clara, las ratas expuestas a la radiación de 2,45 GHz provocaron deterioro de la memoria y comportamiento de ansiedad. La exposición disminuyó las actividades de la superóxido dismutasa, la catalasa y redujo los niveles de glutatión, mientras que se encontraron mayores niveles de peroxidación lipídica cerebral en las ratas expuestas a la radiación, lo que mostró una defensa antioxidante comprometida. Se cuantificó la expresión del gen de la caspasa 3 en muestras de cerebro, lo que reveló un aumento notable en el marcador apoptótico caspasa 3 en el grupo expuesto a la radiación de 2,45 GHz en comparación con el grupo expuesto simuladamente. No se observaron cambios significativos.

Se observó en los exámenes histopatológicos y en los niveles cerebrales de TNF- α . El análisis de la arborización dendrítica de las neuronas mostró una reducción en el número de ramificaciones e intersecciones dendríticas, lo que corresponde a una alteración en la estructura dendrítica de las neuronas, lo que afecta a la señalización neuronal. El estudio indica claramente que la exposición de ratas a la radiación de microondas de 2,45 GHz provoca cambios perjudiciales en el cerebro que conducen a una disminución del aprendizaje y la memoria y a la expresión de conductas de ansiedad en ratas, junto con una caída en los sistemas enzimáticos antioxidantes del cerebro.

(E) Vecchio F, Babiloni C, Ferreri F, Curcio G, Fini R, Del Percio C, Rossini PM. La emisión de teléfonos móviles modula el acoplamiento funcional interhemisférico de los ritmos alfa del EEG. *Eur J Neurosci.* 25(6):1908-1913, 2007. (HU, EE)

Probamos la hipótesis de trabajo de que los campos electromagnéticos de los teléfonos móviles afectan la sincronización interhemisférica de los ritmos cerebrales, una característica fisiológica importante de la transferencia de información al cerebro. Diez sujetos se sometieron a dos registros electroencefalográficos (EEG), separados por una semana, siguiendo un paradigma de doble ciego cruzado en el que fueron expuestos a una señal de teléfono móvil (sistema global para comunicaciones móviles; GSM).

El teléfono móvil se colocó en el lado izquierdo de la cabeza del sujeto mediante un casco modificado y se orientó en la posición normal para su uso sobre la oreja. El micrófono se orientó hacia la comisura de la boca y la antena se situó cerca de la cabeza, en la zona parietotemporal. Además, colocamos otro teléfono similar (pero sin batería) en el lado derecho del casco, para equilibrar el peso y evitar que el sujeto localizara el lado de la estimulación GSM (y, en consecuencia, lateralizara la atención). En una sesión, la exposición fue real (GSM) mientras que en la otra fue simulada; ambas sesiones duraron 45 min. La conectividad interhemisférica funcional se modeló mediante el análisis de la coherencia espectral del EEG entre pares de electrodos frontales, centrales y parietales. Los ritmos individuales del EEG de interés fueron delta (aproximadamente 2-4 Hz), theta (aproximadamente 4-6 Hz), alfa 1 (aproximadamente 6-8 Hz), alfa 2 (aproximadamente 8-10 Hz) y alfa 3 (aproximadamente 10-12 Hz).

Los resultados mostraron que, en comparación con la estimulación simulada, la estimulación GSM moduló la coherencia interhemisférica frontal y temporal en las bandas alfa 2 y alfa 3. Los resultados actuales sugieren que la emisión prolongada de teléfonos móviles afecta no solo la actividad cortical sino también la propagación de la sincronización neuronal transmitida por el acoplamiento funcional interhemisférico de los ritmos del EEG.

(E) Vecchio F, Babiloni C, Ferreri F, Buffo P, Cibelli G, Curcio G, van Dijkman S, Melgari JM, Giambattistelli F, Rossini PM. La emisión de teléfonos móviles modula el acoplamiento funcional interhemisférico de los ritmos alfa del EEG en personas mayores en comparación con sujetos jóvenes. *Clínica Neurofisiol.* 121(2):163-171, 2010. (HU, EE, AD)

OBJETIVO: Se ha informado que los campos electromagnéticos GSM (GSM-EMFs) de los teléfonos móviles modulan, después de una exposición prolongada, la sincronización interhemisférica de los ritmos electroencefalográficos (EEG) en reposo temporal y frontal en sujetos jóvenes normales [Vecchio et al., 2007]. Aquí probamos la hipótesis de que este efecto puede variar en el envejecimiento fisiológico como un signo de cambios en la organización funcional de la sincronización neuronal cortical. MÉTODOS: Se registraron datos de EEG en reposo con los ojos cerrados en 16 sujetos ancianos sanos y 5 sujetos jóvenes en las dos condiciones del estudio de referencia anterior. El dispositivo GSM estaba encendido (45 min)

en una condición y se apagó (45 min) en la otra condición. La coherencia espectral evaluó la sincronización interhemisférica de los ritmos del EEG en las siguientes bandas: delta (alrededor de 2-4 Hz), theta (alrededor de 4-6 Hz), alfa 1 (alrededor de 6-8 Hz), alfa 2 (alrededor de 8-10 Hz) y alfa 3 (alrededor de 10-12 Hz). Los efectos del envejecimiento se investigaron comparando la coherencia interhemisférica del EEG en los sujetos mayores frente a un grupo joven formado por 15 sujetos jóvenes (10 sujetos jóvenes del estudio de referencia; Vecchio et al., 2007). RESULTADOS: En comparación con los sujetos jóvenes, los sujetos mayores mostraron un incremento estadísticamente significativo ($p < 0,001$) de la coherencia interhemisférica de los ritmos alfa frontales y temporales (alrededor de 8-12 Hz) durante la condición GSM. CONCLUSIONES: Estos resultados sugieren que los campos electromagnéticos GSM de un teléfono móvil afectan la sincronización interhemisférica de los ritmos dominantes (alfa) del EEG en función del envejecimiento fisiológico. SIGNIFICADO: Este estudio aporta más evidencia de que el envejecimiento fisiológico está relacionado con cambios en la organización funcional de la sincronización neuronal cortical.

(E) Vecchio F, Buffo P, Sergio S, Iacoviello D, Rossini PM, Babiloni C. La emisión de los teléfonos móviles modula la desincronización relacionada con eventos de los ritmos α y el rendimiento cognitivo-motor en humanos sanos. Clin Neurophysiol. 123(1):121-128, 2012a. (HU, EE, BE)

OBJETIVOS: Se ha demostrado que los campos electromagnéticos de los teléfonos del Sistema Global de Comunicaciones Móviles (GSM-EMF) afectan los ritmos cerebrales humanos (Vecchio et al., 2007, 2010), pero aún no está claro si estos efectos están relacionados con alteraciones de las funciones cognitivas.

MÉTODOS: Once adultos sanos se sometieron a dos sesiones de electroencefalografía (EEG) separadas por una semana, siguiendo un paradigma cruzado, controlado con placebo y doble ciego. En ambas sesiones, realizaron una tarea visual de ir/no ir antes de la exposición real a los campos electromagnéticos GSM o después de una condición simulada sin exposición a los campos electromagnéticos. En la sesión real GSM, la corteza temporal estuvo expuesta continuamente a los campos electromagnéticos GSM durante 45 minutos. En la sesión simulada, los sujetos no eran conscientes de que los campos electromagnéticos habían estado apagados durante la duración del experimento. En la tarea de ir/no ir, un estímulo de fijación central fue seguido por un estímulo visual verde (50% de probabilidad) o rojo. Los sujetos tuvieron que presionar el botón del mouse después de los estímulos verdes (ensayos de ir). Con referencia a un período de referencia, la disminución de potencia de los ritmos alfa de baja (alrededor de 8-10 Hz) y alta frecuencia (alrededor de 10-12 Hz) indexó la actividad cortical. RESULTADOS: Se encontró una menor disminución de potencia de los ritmos alfa de alta frecuencia ampliamente distribuidos y un tiempo de reacción más rápido a los estímulos go en el período posterior a la exposición que en el período previo a la sesión GSM. No se encontró ningún efecto en la sesión simulada. CONCLUSIONES: Estos resultados sugieren que la amplitud máxima de ERD alfa y el tiempo de reacción a los estímulos go están modulados por el efecto de los CEM GSM en la actividad cortical. SIGNIFICADO: La exposición a los CEM GSM durante 45 minutos puede mejorar la eficiencia neuronal cortical humana y los procesos cognitivos-motores simples en adultos sanos.

(E) Vecchio F, Tombini M, Buffo P, Assenza G, Pellegrino G, Benvenga A, Babiloni C, Rossini PM. La emisión de los teléfonos móviles aumenta el acoplamiento funcional interhemisférico de los ritmos alfa electroencefalográficos en pacientes epilépticos. Int J Psychophysiol. 84(2):164-

171, 2012b. (Humanidad, Estados Unidos, México)

Se ha informado que los campos electromagnéticos GSM (GSM-EMF) de los teléfonos móviles modulan: Después de una exposición prolongada: sincronización interhemisférica del reposo temporal y frontal.

ritmos electroencefalográficos (EEG) en sujetos normales jóvenes y ancianos (Vecchio et al., 2007, 2010). Aquí probamos la hipótesis de que esto puede ser aún más evidente en pacientes epilépticos, quienes típicamente sufren de mecanismos anormales que gobiernan la sincronización de la activación rítmica de las neuronas corticales. Se registraron datos de EEG en reposo con los ojos cerrados en diez pacientes afectados por epilepsia focal en condiciones de exposición reales y simuladas. Estos datos se compararon con los obtenidos de 15 sujetos normales de la misma edad de los estudios de referencia anteriores.

El dispositivo GSM se encendió (45 min) en la condición "GSM" y se apagó (45 min) en la otra condición ("simulación"). El teléfono móvil siempre se colocó en el lado izquierdo tanto en los pacientes como en los sujetos de control. La coherencia espectral evaluó la sincronización interhemisférica de los ritmos del EEG en las siguientes bandas de frecuencia: delta (aproximadamente 2-4 Hz), theta (aproximadamente 4-6 Hz), alfa1 (aproximadamente 6-8 Hz), alfa2 (aproximadamente 8-10 Hz) y alfa3 (aproximadamente 10-12 Hz). Los efectos en los pacientes se investigaron comparando la coherencia interhemisférica del EEG en los pacientes epilépticos con el grupo de control de sujetos evaluados en los estudios de referencia anteriores. En comparación con los sujetos de control, los pacientes epilépticos mostraron una coherencia interhemisférica estadísticamente significativa mayor de los ritmos alfa temporales y frontales (aproximadamente 8-12 Hz) en el GSM que en la condición "simulación". Estos resultados sugieren que los campos electromagnéticos GSM de los teléfonos móviles pueden afectar la sincronización interhemisférica de los ritmos dominantes (alfa) del EEG en pacientes epilépticos. Si se confirma en estudios futuros sobre un grupo más amplio de pacientes epilépticos, la modulación de la coherencia alfa interhemisférica debida a los campos electromagnéticos GSM podría tener implicaciones clínicas y estar relacionada con cambios en la función cognitiva-motora.

(E) Vecsei Z, Csathó A, Thuróczy G, Hernádi I. Efecto de una única exposición de 30 minutos similar a la de un teléfono móvil UMTS sobre el umbral de dolor térmico de voluntarios jóvenes sanos. *Bioelectromagnetism*. 34:530-541, 2013. (Humano, belga)

Uno de los efectos más frecuentemente investigados de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM de RF) sobre el comportamiento de sistemas biológicos complejos es la sensibilidad al dolor. A pesar de la creciente evidencia de cambios inducidos por los CEM en la sensación de dolor, actualmente no existe un protocolo experimental aceptado para tales estudios de provocación en la población humana sana. Por lo tanto, en el presente estudio, probamos los efectos de la tercera generación de Universal Mobile

Exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (EMF) en el umbral térmico del dolor (TPT) medido en la superficie de los dedos de 20 voluntarios adultos jóvenes. El protocolo se validó inicialmente con un tratamiento tópico con capsaicina. El tiempo de exposición fue de 30 minutos y la señal genuina (o simulada) se aplicó a la cabeza a través de una antena de parche, donde los valores de la tasa de absorción específica (SAR) de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia se controlaron y se mantuvieron constantes a un nivel de 1,75 W/kg. Los datos se obtuvieron mediante ensayos aleatorizados, controlados con placebo, de manera doble ciego. Las calificaciones subjetivas del dolor se probaron por bloques en una escala de calificación analógica visual (VAS). En comparación con las condiciones de control y simuladas, los resultados proporcionan evidencia de un TPT intacto pero un efecto de desensibilización reducido entre las estimulaciones repetidas dentro de los bloques individuales de ensayos, observable solo en el lado contralateral para la exposición genuina al UMTS. Los datos de percepción subjetiva del dolor (VAS) indicaron calificaciones generales del dolor marginalmente reducidas solo en la condición de exposición genuina. Los resultados actuales proporcionan información pionera sobre la sensación de dolor humano en relación con la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia y, por lo tanto, pueden contribuir a cubrir la brecha existente.

entre la investigación en seguridad y la ciencia biomédica aplicada enfocada en los posibles efectos biológicos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia ambientales.

(E) Velayutham P, Govindasamy GK, Raman R, Prepageran N, Ng KH. Pérdida de audición de alta frecuencia entre usuarios de teléfonos móviles. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 66(Suppl 1):169-172, 2014. doi: (HU, BE)

El objetivo de este estudio es evaluar la pérdida de audición de alta frecuencia (por encima de 8 kHz) entre los usuarios de teléfonos móviles de larga duración en un centro de referencia terciario. Estudio prospectivo simple ciego. Este es el primer estudio que utilizó audiometría de alta frecuencia. El uso generalizado del teléfono móvil es tan profundo que no pudimos encontrar suficientes no usuarios como grupo de control. Por lo tanto, comparamos el oído no dominante con el oído dominante mediante mediciones audiométricas. El estudio fue un estudio ciego en el que el audiólogo no sabía cuál era el oído dominante. Se estudiaron un total de 100 sujetos. De los sujetos estudiados, el 53% eran hombres y el 47% mujeres. La edad media fue de 27 años. El oído izquierdo fue dominante en el 63%, el 22% fue dominante en el oído derecho y el 15% no tenía preferencia. Este estudio mostró que hay una pérdida significativa en el oído dominante en comparación con el oído no dominante ($P < 0,05$). El uso crónico del teléfono móvil reveló una pérdida auditiva de alta frecuencia en el oído dominante (teléfono móvil utilizado) en comparación con el oído no dominante.

(E) Volkow ND, Tomasi D, Wang GJ, Vaska P, Fowler JS, Telang F, Alexoff D, Logan J, Wong C.

Efectos de la exposición a señales de radiofrecuencia de teléfonos celulares sobre el metabolismo de la glucosa cerebral. *JAMA.* 305(8):808-813, 2011. (HU, PE)

CONTEXTO: El aumento dramático en el uso de teléfonos celulares ha generado preocupación sobre los posibles efectos negativos de las señales de radiofrecuencia enviadas al cerebro. Sin embargo, no está claro si la exposición aguda al teléfono celular afecta al cerebro humano. OBJETIVO: Evaluar si la exposición aguda al teléfono celular afecta el metabolismo de la glucosa cerebral, un marcador de la actividad cerebral. DISEÑO, ESCENARIO Y PARTICIPANTES: Estudio cruzado aleatorio realizado entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2009, en un solo laboratorio de EE. UU. entre 47 participantes sanos reclutados de la comunidad. Se colocaron teléfonos celulares en las orejas izquierda y derecha y se utilizó una tomografía por emisión de positrones con inyección de ((18)F)fluorodesoxiglucosa para medir el metabolismo de la glucosa cerebral dos veces, una vez con el teléfono celular derecho activado (sonido silenciado) durante 50 minutos (condición "encendido") y otra vez con ambos teléfonos celulares desactivados (condición "apagado"). Se utilizó el mapeo paramétrico estadístico para comparar el metabolismo entre las condiciones de encendido y apagado utilizando pruebas t pareadas, y se utilizaron correlaciones lineales de Pearson para verificar la asociación del metabolismo y la amplitud estimada de las ondas electromagnéticas moduladas por radiofrecuencia emitidas por el teléfono celular. Los clústeres con al menos 1000 vóxeles (volumen $>8 \text{ cm}^3$) y $P < .05$ (corregida para comparaciones múltiples) se consideraron significativos. MEDIDA DE RESULTADO PRINCIPAL: Metabolismo de glucosa cerebral calculado como metabolismo absoluto ($\mu\text{mol}/100 \text{ g}$ por minuto) y como metabolismo normalizado (región/cerebro completo). RESULTADOS: El metabolismo de todo el cerebro no difirió entre las condiciones de encendido y apagado. Por el contrario, el metabolismo en la región más cercana a la antena (corteza orbitofrontal y polo temporal) fue significativamente mayor en condiciones activas que desactivadas (35,7 frente a 33,3 $\mu\text{mol}/100 \text{ g}$ por minuto; diferencia media, 2,4 [intervalo de confianza del 95 %, 0,67-4,2]; $P = 0,004$).

Los aumentos se correlacionaron significativamente con las amplitudes estimadas del campo electromagnético tanto para el metabolismo absoluto ($R = 0,95$, $P < ,001$) como para el metabolismo normalizado ($R = 0,89$; $P < ,001$). CONCLUSIONES: En participantes sanos y en comparación con ninguna exposición, la exposición al teléfono celular durante 50 minutos se asoció con un aumento del metabolismo de la glucosa cerebral en la región más cercana a la antena. Este hallazgo es de importancia clínica desconocida.

(NE) Wallace D, Eltiti S, Ridgewell A, Garner K, Russo R, Sepulveda F, Walker S, Quinlan T, Dudley S, Maung S, Deeble R, Fox E. Respuestas cognitivas y fisiológicas en humanos expuestos a una señal de estación base TETRA en relación con la hipersensibilidad electromagnética percibida. *Bioelectromagnetismo*. 33(1):23-39, 2012. (HU, BE)

La tecnología de radio troncal terrestre (TETRA) ("Airwave") ha generado preocupación pública debido a su posible interferencia con la actividad eléctrica del cerebro. El presente estudio es el primero en examinar si la exposición aguda a una señal de estación base TETRA tiene un impacto en el funcionamiento cognitivo y las respuestas fisiológicas. Los participantes fueron expuestos a una señal TETRA de 420 MHz a una densidad de flujo de potencia de 10 mW/m² así como a una simulación (sin señal) en condiciones de doble ciego. Cincuenta y una personas que informaron una sensibilidad percibida a los campos electromagnéticos, así como 132 controles, participaron en un estudio de provocación doble ciego. Cuarenta y ocho participantes sensibles y 132 de control completaron las tres sesiones. Se administraron mediciones de memoria a corto plazo, memoria de trabajo y atención mientras se monitoreaban las respuestas fisiológicas (volumen sanguíneo, pulso, frecuencia cardíaca, conductancia cutánea). Después de aplicar los criterios de exclusión basados en el desempeño de la tarea para cada medida cognitiva antes mencionada, se analizaron los datos de 36, 43 y 48 participantes sensibles a estas respectivas tareas y, asimismo, de 107, 125 y 129 controles. No observamos diferencias en el desempeño cognitivo entre la exposición simulada y TETRA en ninguno de los grupos; la respuesta fisiológica tampoco difirió entre las condiciones de exposición. Estos hallazgos son similares a estudios previos de doble ciego con otras señales de teléfonos móviles (900-2100 MHz), que no pudieron establecer ninguna evidencia clara de que las señales de los teléfonos móviles afecten la salud o la función cognitiva.

(NE) Wallace J, Yahia-Cherif L, Gitton C, Hugueville L, Lemaréchal JD, Selmaoui B. EEG en estado de reposo humano y exposición a teléfonos móviles GSM por radiofrecuencia: el impacto de la frecuencia alfa individual. *Int J Radiat Biol* 2021 19 de noviembre; 1-29. doi: 10.1080/09553002.2021.2009146. En línea antes de su publicación. (HU, EE)

Propósito. Con el uso extensivo de teléfonos móviles (MP) se han realizado varios estudios para investigar los efectos de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) en la actividad cerebral en reposo a través de electroencefalografía (EEG), y el efecto más consistente se ha visto en la densidad espectral de potencia (PSD) de la banda alfa. Sin embargo, algunos estudios informaron un aumento o una disminución de la PSD, mientras que otros no mostraron ningún efecto. Se ha sugerido que estas diferencias podrían deberse en parte a una variabilidad del estado fisiológico del cerebro entre sujetos. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue investigar la modulación de la banda alfa, explorando el impacto de los rangos de frecuencia de la banda alfa aplicados en el análisis de PSD. Materiales y métodos. Veintiún voluntarios sanos participaron en el estudio con un diseño cruzado, aleatorizado y doble ciego, durante el cual se realizó EEG en estado de reposo con los ojos abiertos (EO) y con los ojos cerrados (EC).

registrado. El sistema de exposición fue un simulacro o un GSM (sistema global para móviles) real de 900 MHz MP (modulación de pulsos a 217 Hz, potencia media de 250 mW y pico de 2 W, con una tasa de absorción específica máxima de 0,70 W/kg en 1 g de tejido). El protocolo experimental presentó una fase de registro de referencia sin exposición a MP, una fase de exposición durante la cual el sistema de exposición se colocó contra la oreja izquierda y la fase posterior a la exposición sin MP. Se analizaron los datos de EEG de las fases de referencia y exposición y se calculó la PSD para la banda alfa en el rango fijo de 8-12 Hz y para el rango de frecuencia de la banda alfa individual (IAF). Resultados. Los resultados mostraron una tendencia a la disminución o aumento de la potencia del EEG de ambas oscilaciones alfa durante la exposición en relación con las condiciones de registro EC y EO, respectivamente, pero sin alcanzar la significación estadística. Los hallazgos no proporcionaron evidencia de una sensibilidad diferente a la MP RF-EMF relacionada con la variabilidad individual en la frecuencia de la banda alfa. Conclusión. En conclusión, estos resultados no muestran modulación de la actividad de la banda alfa durante el estado de reposo bajo campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Se podría argumentar que es necesario un retraso después de la exposición para apreciar una modulación de la potencia espectral del EEG relacionada con la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia.

(E) Wang H, Peng R, Zhou H, Wang S, Gao Y, Wang L, Yong Z, Zuo H, Zhao L, Dong J, Xu X, Su Z.

La alteración de la inducción de potenciación a largo plazo es esencial para la alteración de la memoria espacial después de la exposición a microondas. *Int J Radiat Biol.* 89:1100-1107, 2013. (AS, BE, ME, EE)

Objetivo: Evaluar el impacto de la exposición a microondas en el aprendizaje y la memoria y explorar los mecanismos subyacentes. Materiales y métodos: Se expuso a 100 ratas Wistar a un campo de microondas pulsado de 2,856 GHz con densidades de potencia promedio de 0 mW/cm², 5 mW/cm², 10 mW/cm² y 50 mW/cm² durante 6 min. La memoria espacial se evaluó mediante la tarea Morris Water Maze (MWM). Se realizó un estudio in vivo poco después de la exposición a microondas para evaluar los cambios en las amplitudes de la espiga poblacional (PS) de la potenciación a largo plazo (LTP) en la vía perforante medial (MPP)-giro dentado (DG). La estructura del hipocampo se observó mediante microscopía óptica y microscopía electrónica de transmisión (TEM) a los 7 días después de la exposición a microondas. Resultados: Nuestros resultados mostraron que las ratas expuestas a microondas de 10 mW/cm² y 50 mW/cm² mostraron déficits significativos en el aprendizaje espacial y la memoria a las 6 h, 1 día y 3 días después de la exposición. También se encontraron amplitudes de PS disminuidas después de la exposición a microondas de 10 mW/cm² y 50 mW/cm². Además, se observaron diversos grados de degeneración de las neuronas del hipocampo, disminución de las vesículas sinápticas y hendiduras sinápticas borrosas en las ratas expuestas a microondas de 10 mW/cm² y 50 mW/cm². En comparación con el grupo de placebo, las ratas expuestas a microondas de 5 mW/cm² no mostraron diferencias en los experimentos anteriores. Conclusiones: Este estudio sugirió que el deterioro de la inducción de LTP y los daños de la estructura del hipocampo, especialmente los cambios de las sinapsis, podrían contribuir al deterioro cognitivo después de la exposición a microondas.

(E) Wang H, Peng R, Zhao L, Wang S, Gao Y, Wang L, Zuo H, Dong J, Xu X, Zhou H, Su Z. La relación entre los receptores NMDA y el deterioro del aprendizaje y la memoria inducidos por microondas: una observación a largo plazo en ratas Wistar. *Int J Radiat Biol.* 91:262-269, 2015. (AS, BE, ME, CH)

Objetivo: En el presente estudio, nos propusimos investigar si las microondas de alta potencia podrían causar trastornos continuos del aprendizaje y la memoria en ratas Wistar y explorar los mecanismos subyacentes. Materiales y métodos: 80 ratas Wistar fueron expuestas a una fuente de microondas pulsada de 2,856 GHz a una densidad de potencia de 0 mW/cm² y 50 mW/cm² de microondas durante 6 min. La capacidad de memoria espacial, la estructura del hipocampo, los contenidos de neurotransmisores de aminoácidos en el hipocampo y la expresión de los receptores de ácido N-metil-D-aspartico (NMDAR) subunidad 1, 2A y 2B (NR1, NR2A y NR2B) se detectaron a 1 m, 3 m, 6 m, 9 m, 12 m y 18 m después de la exposición a microondas. Resultados: Nuestros resultados mostraron que las ratas expuestas a microondas mostraron deficiencias consistentes en el aprendizaje y la memoria espaciales. El nivel de neurotransmisores de aminoácidos también disminuyó después de la radiación de microondas. La proporción de glutamato (Glu) y ácido gamma-aminobutírico (GABA) disminuyó significativamente a los 6 m. Además, el hipocampo mostró diversos grados de degeneración de neuronas, aumento de la densidad postsináptica y hendiduras sinápticas borrosas en el grupo de exposición. La expresión de NR1 y NR2B mostró una disminución significativa, especialmente la expresión de NR2B. Conclusiones: Este estudio indicó que el contenido de aminoácidos neurotransmisores, la expresión de subunidades NMDAR y la variación de la estructura del hipocampo podrían contribuir al deterioro cognitivo a largo plazo después de la exposición a microondas.

(E) Wang H, Tan S, Xu X, Zhao L, Zhang J, Yao B, Gao Y, Zhou H, Peng R. Deterioro a largo plazo de las funciones cognitivas y alteraciones de las subunidades NMDAR después de la exposición continua a microondas. *Physiol Behav.* 181:1-9, 2017. (AS, CE, BE, ME, EE)

OBJETIVO: Los efectos a largo plazo de la exposición continua a las microondas no pueden ignorarse para la simulación del entorno real y las crecientes preocupaciones sobre los efectos cognitivos negativos. Efectos de la exposición a microondas. MÉTODOS: En este estudio, 220 ratas Wistar macho fueron expuestas a una fuente de radiación de 2,856 GHz con una densidad de potencia media de 0, 2,5, 5 y 10 mW/cm² durante 6 min/día, 5 días/semana y hasta 6 semanas. La tarea MWM, el análisis EEG, la observación de la estructura del hipocampo y el western blot se aplicaron hasta los 12 meses posteriores a la exposición a microondas para detectar las capacidades de aprendizaje y memoria espacial, la actividad eléctrica cortical, los cambios en la estructura del hipocampo y las expresiones de las subunidades NMDAR. RESULTADOS: Los resultados encontraron que las ratas del grupo de 10 mW/cm² mostraron una disminución de las capacidades de aprendizaje y memoria espacial y trastornos del EEG (la disminución de las frecuencias del EEG y el aumento de las amplitudes del EEG y las potencias de las ondas delta). Además, también se encontraron cambios en la estructura básica y la ultraestructura del hipocampo en los grupos de 10 y 5 mW/cm². La disminución de NR 2A, 2B y p-NR2B podría contribuir al deterioro de las funciones cognitivas. CONCLUSIONES: Nuestros hallazgos sugieren que la exposición continua a microondas podría causar un deterioro a largo plazo dependiente de la dosis del aprendizaje y la memoria espacial, anomalías del EEG y lesiones en la estructura del hipocampo. La disminución de las subunidades clave de NMDAR y la fosforilación de NR 2B podrían contribuir al deterioro cognitivo.

(E) Wang K, Lu JM, Xing ZH, Zhao QR, Hu LQ, Xue L, Zhang J, Mei YA. Efecto de la radiación electromagnética de radiofrecuencia de 1,8 GHz en la memoria de reconocimiento asociativo de objetos nuevos en ratones. *Sci Rep.* 7:44521, 2017. (AS, BE, CC, ME)

Cada vez hay más pruebas que sugieren que la exposición a la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-

La radiofrecuencia electromagnética (EMR) puede influir en el aprendizaje y la memoria en roedores. En este estudio, examinamos los efectos de una única exposición a 1,8 GHz de RF-EMR durante 30 min sobre la memoria de reconocimiento posterior en ratones, utilizando la tarea de reconocimiento de objetos novedosos (NORT). La exposición a RF-EMR a una intensidad de $>2,2$ W/kg de densidad de potencia de tasa de absorción específica (SAR) indujo un aumento significativo dependiente de la densidad en el índice NORT sin cambios correspondientes en la actividad locomotora espontánea. La exposición a RF-EMR aumentó la densidad y la longitud de las espinas dendríticas en las neuronas corticales prefrontales y del hipocampo, como se muestra mediante la tinción de Golgi. Los registros de células completas en cortes agudos de la corteza prefrontal medial y del hipocampo mostraron que la exposición a RF-EMR alteró significativamente el potencial de membrana en reposo y la frecuencia del potencial de acción, y redujo la mitad del ancho del potencial de acción, el umbral y el retraso de inicio en las neuronas piramidales. Estos resultados demuestran que la exposición a radiofrecuencias electromagnéticas de 1,8 GHz durante 30 minutos puede aumentar significativamente la memoria de reconocimiento en ratones y puede cambiar la morfología de las espinas dendríticas y la excitabilidad neuronal en el hipocampo y la corteza prefrontal. La SAR en este estudio (3,3 W/kg) estaba fuera del rango encontrado en la vida diaria normal, y su relevancia como un posible enfoque terapéutico para los trastornos asociados con déficits de memoria de reconocimiento aún está por esclarecer.

(E) Wang LF, Li X, Gao YB, Wang SM, Zhao L, Dong J, Yao BW, Xu XP, Chang GM, Zhou HM, Hu XJ, Peng RY. Lesión de la barrera hematoencefálica inducida por la activación de la vía VEGF/Fik-1-ERK después de la exposición a microondas. *Mol Neurobiol.* 52:478-491, 2015. (CS, ME, CH)

Se ha sugerido que las microondas inducen daño neuronal y aumentan la permeabilidad de la barrera hematoencefálica (BHE), pero el mecanismo sigue siendo desconocido. Se examinó el papel de la vía del factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF)/Fik-1-Raf/MAPK quinasa (MEK)/proteína quinasa regulada extracelular (ERK) en el daño estructural y funcional de la barrera hematoencefálica (BHE) después de la exposición a microondas. Un modelo de BHE in vitro compuesto por la línea celular ECV304 y astrocitos cerebrales primarios de rata se expuso a radiación de microondas (50 mW/cm², 5 min). La estructura se observó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y la permeabilidad se evaluó midiendo la resistencia eléctrica transendotelial (TEER) y la transmisión de peroxidasa de rábano picante (HRP). También se examinó la actividad y expresión de los componentes de la vía VEGF/Fik-1-ERK y la ocludina. Nuestros resultados mostraron que la radiación de microondas provocó que las uniones estrechas intercelulares se ensancharan y fracturaran con valores reducidos de TEER y aumento de la permeabilidad de HRP. Tras la exposición a microondas, se observó la activación de la vía VEGF/Fik-1-ERK y la fosforilación de Tyr de la ocludina, junto con una expresión regulada a la baja y la interacción de la ocludina con la zonula ocludens-1 (ZO-1). Tras el uso de inhibidores de Fik-1 (SU5416) y MEK1/2 (U0126), se recuperó la estructura y la función de la BHE.

El aumento de la expresión de las moléculas de transducción de señales de ERK se vio atenuado, mientras que la expresión y la actividad de ocludina se aceleraron, así como las interacciones de ocludina con p-ERK y ZO-1 tras la radiación de microondas. Por lo tanto, la radiación de microondas puede inducir daño a la BHE activando la vía VEGF/Fik-1-ERK, mejorando la fosforilación de Tyr de ocludina, mientras que inhibe parcialmente la expresión e interacción de ocludina con ZO-1.

(E) Wang LF, Tian DW, Li HJ, Gao YB, Wang CZ, Zhao L, Zuo HY, Dong J, Qiao SM, Zou Y, Xiong L, Zhou HM, Yang YF, Peng RY, Hu XJ. Identificación de una nueva variante de la región promotora del gen de la subunidad NR2B de rata y su asociación con el deterioro neuronal inducido por microondas. *Mol Neurobiol.* 53(4):2100-2111, 2016. (ES, CE, CH, BE)

La radiación de microondas se ha relacionado con la disfunción cognitiva y la lesión neuronal en modelos animales y en investigaciones humanas; sin embargo, el mecanismo de estos efectos no está claro. En este estudio, se examinaron los sitios de polimorfismo de un solo nucleótido (SNP) en la región promotora GRIN2B de rata. Se investigaron las asociaciones de estos SNP con la disfunción cerebral de rata inducida por microondas y con la función celular del feocromocitoma-12 (PC12) de rata. Se expuso a ratas Wistar (n = 160) a la radiación de microondas (30 mW/cm²) durante 5 min/día, 5 días/semana, durante un período de 2 meses). La evaluación de la región promotora GRIN2B reveló una variante C a T estable en la posición de nucleótido -217 que no fue inducida por la exposición a microondas. Luego se investigó la capacidad de aprendizaje y memoria, los contenidos de aminoácidos en el hipocampo y el líquido cefalorraquídeo y la expresión de NR2B en los diferentes genotipos. Tras la exposición a microondas, la expresión de la proteína NR2B disminuyó, mientras que el contenido de Glu en el hipocampo y el LCR aumentó, y se observó deterioro de la memoria en el genotipo TT, pero no en los genotipos CC y CT. En las células PC12, los efectos del alelo T fueron más pronunciados que los del alelo C en la capacidad de unión del factor de transcripción, la actividad transcripcional, el ARNm de NR2B y la expresión de la proteína. Estos efectos pueden estar relacionados con el papel perjudicial del alelo T y el papel protector del alelo C en la función cerebral de la rata y las células PC12 expuestas a la radiación de microondas.

(E) Wardzinski EK, Jauch-Chara K, Haars S, Melchert UH, Scholand-Engler HG, Oltmanns KM. La radiación de los teléfonos móviles altera la homeostasis energética del cerebro y estimula la ingestión de alimentos en humanos. *Nutrients* 14(2):339, 2022. (HU, CE, BE, CH)

La obesidad y el uso de teléfonos móviles se han extendido simultáneamente por todo el mundo. Los campos electromagnéticos modulados por radiofrecuencia (RF-EMF) emitidos por los teléfonos móviles son absorbidos en gran medida por la cabeza del usuario, influyen en el metabolismo de la glucosa cerebral y modulan la excitabilidad neuronal. El ajuste del peso corporal, a su vez, es una de las principales funciones cerebrales, ya que la conducta de ingesta de alimentos y la percepción del apetito subyacen a la regulación hipotalámica. En este contexto, nos preguntamos si la radiación de los teléfonos móviles y la ingesta de alimentos pueden estar relacionadas. En una comparación cruzada aleatorizada, controlada con placebo y a simple ciego, 15 hombres jóvenes de peso normal (23,47 ± 0,68 años) fueron expuestos a 25 minutos de campos electromagnéticos de radiofrecuencia emitidos por dos tipos diferentes de teléfonos móviles frente a radiación simulada en condiciones de ayuno. La ingesta espontánea de alimentos se evaluó mediante una prueba de buffet estándar ad libitum y la homeostasis energética cerebral se controló mediante mediciones de espectroscopia de resonancia magnética de fósforo 31. La exposición a ambos teléfonos móviles aumentó sorprendentemente la ingesta calórica general en un 22-27% en comparación con la condición simulada. Los análisis diferenciales de la ingestión de macronutrientes revelaron que un mayor consumo de calorías se debía principalmente a una mayor ingesta de carbohidratos. Las mediciones del contenido energético cerebral, es decir, las proporciones de trifosfato de adenosina y fosfocreatina respecto del fosfato inorgánico, mostraron un aumento con la radiación de los teléfonos móviles. Nuestros resultados identifican a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia como un posible factor que contribuye a la sobrealimentación, que subyace a la epidemia de obesidad. Más allá de eso, las alteraciones observadas de la homeostasis energética cerebral inducidas por los campos electromagnéticos de radiofrecuencia pueden poner nuestros datos en un contexto más amplio, ya que

La homeostasis energética es de importancia fundamental para todas las funciones cerebrales. Por lo tanto, las posibles perturbaciones provocadas por los campos electromagnéticos pueden tener efectos neurobiológicos generalizados que aún no son previsible.

(NE) Watilliaux A, Edeline JM, Lévêque P, Jay TM, Mallat M. Efecto de la exposición a 1.800 MHz Campos electromagnéticos sobre proteínas de choque térmico y células gliales en el cerebro de ratas en desarrollo. Neurotox Res. 20(2):109-119, 2011. (AS, DE, CC)

El uso creciente de teléfonos móviles por parte de los niños plantea interrogantes sobre los efectos de los campos electromagnéticos (CEM) en el sistema nervioso central (SNC) inmaduro. En el presente estudio, cuantificamos el estrés celular y las respuestas gliales en el cerebro de ratas en desarrollo un día después de una única exposición de 2 h a una señal GSM de 1.800 MHz a una tasa de absorción específica (SAR) cerebral media en el rango de 1,7 a 2,5 W/kg. Se compararon ratas jóvenes, expuestas a CEM en los días posnatales (P) 5 (n = 6), 15 (n = 5) o 35 (n = 6), con ratas de la misma camada pseudoexpuestas (n = 6 a todas las edades). Utilizamos el método Western Blot para detectar proteínas de choque térmico (HSP) y proteínas relacionadas con el citoesqueleto o la neurotransmisión en la astrogliosis en desarrollo. La señal GSM no tuvo un efecto significativo en la abundancia de HSP60, HSC70 o HSP90, de la serina racemasa, de los transportadores de glutamato, incluidos GLT1 y GLAST, o de la proteína ácida fibrilar glial (GFAP) en extractos de tejido totales o solubles. La detección inmunohistoquímica del antígeno CD68 en secciones cerebrales de animales expuestos y pseudoexpuestos no reveló diferencias en la morfología o distribución de las células microgliales. Estos resultados no brindan evidencia de estrés celular agudo o reacciones gliales indicativas de daño celular neuronal temprano en cerebros en desarrollo expuestos a 1800 MHz. señales en el rango de SAR utilizado en nuestro estudio.

(E) Wiholm C, Lowden A, Kuster N, Hillert L, Arnetz BB, Akerstedt T, Moffat SD. Exposición a teléfonos móviles y memoria espacial. Bioelectromagnetismo. 30(1):59-65, 2009. (HU, BE)

Se ha sugerido que la emisión de radiofrecuencia (RF) durante el uso del teléfono móvil afecta las funciones cognitivas, es decir, la memoria de trabajo. Este estudio investigó los efectos de una exposición a RF de 2 horas y media (884 MHz) sobre la memoria espacial y el aprendizaje, utilizando un diseño de medidas repetidas de doble ciego. La exposición fue diseñada para imitar la experimentada durante una conversación telefónica real. El diseño maximizó la exposición del hemisferio izquierdo. La exposición promedio fue una tasa de absorción espacial específica máxima (psSAR10g) de 1,4 W/kg. La medida de resultado principal fue una tarea de navegación espacial "virtual" modelada a partir del laberinto acuático de Morris, comúnmente utilizado y validado. La distancia recorrida en cada prueba y la cantidad de mejora en las pruebas (es decir, aprendizaje) se utilizaron como variables dependientes. Los participantes eran usuarios diarios de teléfonos móviles, con y sin síntomas atribuidos al uso regular del teléfono móvil. Los resultados revelaron un efecto principal de la exposición a RF y un efecto significativo de la exposición a RF por grupo en la distancia recorrida durante las pruebas. El grupo sintomático mejoró su rendimiento durante la exposición a RF, mientras que no hubo tal efecto en el grupo asintomático. Hasta que se investigue más a fondo este nuevo hallazgo, solo podemos especular sobre la causa.

(E) Xiong L, Sun CF, Zhang J, Gao YB, Wang LF, Zuo HY, Wang SM, Zhou HM, Xu XP, Dong J, Yao BW, Zhao L, Peng RY. La exposición a microondas altera la plasticidad sináptica en el hipocampo de ratas

y células PC12 a través de la sobreactivación de la vía de señalización del receptor NMDA. *Biomed Environ Sci.* 28(1):13-24, 2015. (AS, CE, ME, CH)

OBJETIVO: El objetivo de este estudio es investigar si la exposición a microondas afectaría la vía de señalización del receptor N-metil-D-aspartato (NMDAR) para establecer si esto juega un papel en el deterioro de la plasticidad sináptica.

MÉTODOS: 48 ratas Wistar macho fueron expuestas a microondas de 30 mW/cm² durante 10 min cada dos días durante tres veces. La estructura del hipocampo se observó mediante tinción H&E y microscopio electrónico de transmisión. Las células PC12 fueron expuestas a microondas de 30 mW/cm² durante 5 min y la morfología de la sinapsis se visualizó con microscopio electrónico de barrido y microscopio de fuerza atómica. Se detectó la liberación de neurotransmisores de aminoácidos y la entrada de calcio. Se evaluaron las expresiones de varias moléculas clave de señalización NMDAR. **RESULTADOS:** La exposición a microondas causó daño en la estructura del hipocampo de la rata y las células PC12, especialmente la estructura y cantidad de sinapsis. En las células PC12, la proporción de neurotransmisores de ácido glutámico y ácido gamma-aminobutírico aumentó y el nivel de calcio intracelular se elevó. Se examinó un cambio significativo en las subunidades NMDAR (NR1, NR2A y NR2B) y las moléculas de señalización relacionadas (Ca²⁺/quinasa II dependiente de calmodulina gamma y proteína de unión al elemento de respuesta a AMPc fosforilada). **CONCLUSIÓN:** La exposición a microondas de 30 mW/cm² resultó en alteraciones de la estructura sináptica, la liberación de neurotransmisores de aminoácidos y la entrada de calcio. Las moléculas de señalización NMDAR se asociaron estrechamente con una plasticidad sináptica deteriorada.

(E) Xu F, Bai Q, Zhou K, Ma L, Duan J, Zhuang F, Xie C, Li W, Zou P, Zhu C. Interferencia aguda dependiente de la edad con la proliferación de células madre y progenitoras en el hipocampo después de la exposición a radiación electromagnética de 1800 MHz. *Electromagn Biol Med.* 36(2):158-166, 2017. (AS, CE, CC, AD)

Para investigar los efectos de la exposición a un campo electromagnético de 1800 MHz sobre la muerte celular y la proliferación celular en el cerebro en desarrollo, se asignaron aleatoriamente ratones Kunming sanos del día 7 posnatal (P7) y P21 a los grupos experimental y de control. Los grupos experimentales fueron expuestos a un campo electromagnético de 1800 MHz durante 8 h diarias durante tres días consecutivos. El análogo de timidina 5-bromo-2-desoxiuridina (BrdU) se inyectó intraperitonealmente 1 h antes de cada sesión de exposición, y todos los animales fueron sacrificados 24 h después de la última exposición. Los marcadores de muerte celular y proliferación se detectaron mediante inmunohistoquímica en el giro dentado del hipocampo. La exposición electromagnética no tiene influencia en la muerte celular en el giro dentado del hipocampo en ratones P7 y P21 como lo indica la inmunotinción de caspasa-3 activa y el marcaje con Fluoro-Jade. La proliferación de células basales en el hipocampo fue mayor en los ratones P7 que en los P21, como lo indica el número de células marcadas con BrdU y la tinción inmunohistoquímica para la fosfohistona H3 (PHH3) y la proteína de unión a lípidos del cerebro (BLBP).

La exposición electromagnética estimuló la síntesis de ADN en las células madre y progenitoras neurales P7, pero redujo la división celular y el número total de células madre en el hipocampo como lo indica aumentó el etiquetado de BrdU y redujo el etiquetado de PHH3 y BLBP en comparación con los ratones de control P7. No se observaron cambios significativos en la proliferación celular en ratones P21 después de la exposición a la

Campo electromagnético. Estos resultados indican que la interferencia con la proliferación de células madre tras la exposición a corto plazo a un campo electromagnético de 1800 MHz depende de la etapa de desarrollo del cerebro.

(E) Xu S, Zhou Z, Zhang L, Yu Z, Zhang W, Wang Y, Wang X, Li M, Chen Y, Chen C, He M, Zhang G, Zhong M. La exposición a la radiación de radiofrecuencia de 1800 MHz induce daño oxidativo al ADN mitocondrial en neuronas cultivadas primarias. *Brain Res.* 1311:189-196, 2010. (CS, CH, OX)

Cada vez hay más pruebas que indican que el estrés oxidativo puede estar implicado en los efectos adversos de la radiación de radiofrecuencia (RF) en el cerebro. Debido a que los defectos del ADN mitocondrial (ADNmt) están estrechamente asociados con varias enfermedades del sistema nervioso y el ADNmt es particularmente susceptible al estrés oxidativo, el propósito de este estudio fue determinar si la radiación de radiofrecuencia (RF) puede estar implicada en los efectos adversos del estrés oxidativo. La radiación puede causar daño oxidativo al ADNmt. En este estudio, expusimos neuronas corticales primarias cultivadas a campos electromagnéticos de RF pulsados a una frecuencia de 1800 MHz modulada por 217 Hz a una tasa de absorción especial (SAR) promedio de 2 W/kg. A las 24 h después de la exposición, descubrimos que la radiación de RF indujo un aumento significativo en los niveles de 8-hidroxiguanina (8-OHdG), un biomarcador común de daño oxidativo del ADN, en las mitocondrias de las neuronas. Concomitante con este hallazgo, el número de copias de ADNmt y los niveles de transcripciones de ARN mitocondrial (ARNmt) mostraron una reducción obvia después de la exposición a RF. Cada una de estas alteraciones del ADNmt podría revertirse mediante un tratamiento previo con melatonina, que se sabe que es un antioxidante eficaz en el cerebro. En conjunto, estos resultados sugirieron que la radiación de RF de 1800 MHz podría causar daño oxidativo al ADNmt en neuronas primarias cultivadas. El daño oxidativo al ADNmt puede explicar la neurotoxicidad de la radiación de radiofrecuencia en el cerebro.

(E) Yahyazadeh A, Altunkaynak BZ. Investigación de los efectos neuroprotectores de la timoquinona en la médula espinal de ratas expuestas a un campo electromagnético de 900 MHz. *J Chem Neuroanat.* 2019 Oct;100:101657. (AS, CE, CC, OX)

La exposición a campos electromagnéticos en el uso prolongado de teléfonos celulares ha aumentado las preocupaciones sobre problemas de salud graves. Nuestro objetivo fue estudiar los posibles efectos de la radiación de campos electromagnéticos (60 min/día durante 28 días) en las médulas espinales de ratas de 12 semanas de edad. Además, investigamos si la administración de timoquinona (10 mg/kg/día) protegería el tejido de la médula espinal contra los efectos adversos del campo electromagnético o no. Veinticuatro ratas albinas Wistar macho adultas fueron asignadas aleatoriamente a cuatro grupos: control, campo electromagnético, timoquinona y campo electromagnético + timoquinona. Las médulas espinales cervicales de todas las ratas fueron evaluadas utilizando los métodos estereológicos, bioquímicos e histológicos. El número de neuronas motoras se redujo en el grupo de campo electromagnético en comparación con el grupo de control ($p < 0,05$). El nivel de superóxido dismutasa fue mayor en el grupo de campo electromagnético en comparación con el grupo de control ($p < 0,05$). En el grupo de campo electromagnético + timoquinona, encontramos un aumento en el número de neuronas motoras y una disminución en la actividad de la superóxido dismutasa en comparación con el grupo de campo electromagnético ($p < 0,05$). Nuestros hallazgos histológicos también muestran alteraciones arquitectónicas notables. Especulamos que el campo electromagnético

La radiación indujo daños morfológicos y bioquímicos en el tejido de la médula espinal de ratas.

La administración del antioxidante timoquinona también mejoró las complicaciones causadas por el campo electromagnético.

(E) Yan JG, Agresti M, Zhang LL, Yan Y, Matloub HS. Regulación positiva de niveles específicos de ARNm en el cerebro de ratas después de la exposición al teléfono celular. *Electromagn Biol Med.* 27(2):147-154, 2008. (AS, CE, CH)

Se expusieron ratas Sprague-Dawley adultas a teléfonos celulares normales durante 6 horas al día durante 126 días (18 semanas).

Se utilizó RT-PCR para investigar los cambios en los niveles de síntesis de ARNm de varias proteínas asociadas a lesiones.

Se evaluaron la ATPasa de calcio, la molécula de adhesión celular neuronal, el factor de crecimiento neuronal y el factor de

crecimiento endotelial vascular. Los resultados mostraron una regulación positiva estadísticamente significativa del ARNm de estas

proteínas en los cerebros de ratas expuestas a la radiación de teléfonos celulares. Estos resultados indican que la exposición

crónica relativa a la radiación de microondas de los teléfonos celulares puede resultar en lesiones acumulativas que

eventualmente podrían conducir a un daño neurológico clínicamente significativo.

(E) Yang H, Zhang Y, Wu X, Gan P, Luo X, Zhong S, Zuo W. Efectos de la exposición aguda a la radiación electromagnética de radiofrecuencia de 3500 MHz (5G) sobre el comportamiento similar a la ansiedad y la corteza auditiva en cobayas.

Bioelectromagnetismo 43(2):106-118, 2022. (AS, BE, ME, OX)

Numerosos estudios han demostrado que la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) puede afectar

negativamente a la salud humana. Detectamos el efecto de 3500 MHz RF-EMR en el comportamiento similar a la ansiedad y la

corteza auditiva (ACx) en cobayas. Cuarenta cobayas machos fueron divididos aleatoriamente en cuatro grupos y expuestos a

una onda continua de 3500 MHz RF-EMF a una tasa de absorción específica (SAR) promedio de 0, 2, 4 o 10 W/kg durante 72 h.

Después de la exposición, se detectaron los niveles de malondialdehído (MDA), la actividad de la enzima antioxidante, el

comportamiento similar a la ansiedad, los umbrales auditivos, la ultraestructura celular y la apoptosis. Nuestros resultados

revelaron que los umbrales auditivos y los índices básicos del comportamiento animal no cambiaron significativamente después de la

exposición ($P > 0,05$). Sin embargo, los niveles de MDA de ACx aumentaron ($P < 0,05$) y las actividades de catalasa (CAT),

superóxido dismutasa (SOD) y glutatión peroxidasa (GSH-px) disminuyeron ($P < 0,05$) en los grupos de exposición en

comparación con el grupo simulado. Se observaron cambios ultraestructurales de ACx, incluidas mitocondrias hinchadas

y vainas de mielina en capas. Se detectó relocalización de citocromo-c, caspasa-9 y activación de caspasa-3 escindida en los grupos

de exposición. En conclusión, estos resultados sugieren que el estrés oxidativo es un mecanismo importante subyacente a los

efectos biológicos de RF-EMR, que puede inducir daño ultraestructural al ACx y apoptosis celular a través de un mecanismo

dependiente de las mitocondrias. Además, el estrés oxidativo, la inducción de apoptosis y el daño ultraestructural aumentan de

manera dependiente de SAR. Sin embargo, RF-EMR no aumenta los umbrales auditivos ni induce ansiedad.

(E) Yang L, Chen Q, Lv B, Wu T. La exposición a campos electromagnéticos evolutivos a largo plazo modula el EEG en estado de reposo en las bandas alfa y beta. *Clin EEG Neurosci.* 48:168-175, 2017. (HU, EE)

Los sistemas de telecomunicaciones inalámbricas de evolución a largo plazo (LTE) se utilizan ampliamente en todo el mundo, lo que

ha suscitado la preocupación de que la exposición a campos electromagnéticos (CEM) emitidos por dispositivos LTE puede cambiar la función neuronal humana. Hasta la fecha, se han realizado pocos estudios sobre el efecto de la exposición a los CEM LTE. Aquí, evaluamos los cambios en el electroencefalograma (EEG) debido a la exposición a los CEM LTE. Se utilizó un sistema de exposición a CEM LTE con una emisión de potencia estable, que era equivalente a la emisión máxima de un teléfono móvil LTE, para irradiar a los sujetos. Se realizaron simulaciones numéricas para garantizar que la tasa de absorción específica en la cabeza del sujeto estuviera por debajo de los límites de seguridad. La exposición a los CEM LTE redujo la potencia espectral y la coherencia interhemisférica en las bandas alfa y beta de las regiones cerebrales frontal y temporal. No se observó ningún cambio significativo en la potencia espectral y la coherencia interhemisférica en diferentes intervalos de tiempo durante y después de la exposición. Estos hallazgos también corroboraron los de nuestro estudio anterior utilizando imágenes por resonancia magnética funcional.

(E) YangL, Zhang C, ChenZ, Li C, WuT. Análisis funcionales y de redes de la exposición humana a señales de evolución a largo plazo. Environ Sci Pollut Res Int 25 de septiembre de 2020. doi: 10.1007/s11356-020-10728-w. En línea antes de su publicación. (HU, BE, EE)

La exposición humana al campo electromagnético emitido por los sistemas de comunicación inalámbrica ha suscitado inquietudes públicas. Se ha afirmado que la exposición puede estar asociada a algunos trastornos neurofisiológicos, pero aún no se ha establecido el mecanismo. Las redes inalámbricas, recientemente, han experimentado una transición de la cuarta generación (4G) a la quinta generación (5G), mientras que la evolución a largo plazo 4G (LTE) sigue siendo la señal más utilizada en las comunicaciones inalámbricas. En el estudio, se llevaron a cabo experimentos de exposición utilizando la señal LTE. Los sujetos se dividieron en grupos de exposición simulada y real. Antes y después de los experimentos de exposición, se les realizó una resonancia magnética funcional. Se realizaron comparaciones dentro de la sesión y entre sesiones para la conectividad funcional y las propiedades de la red. También se calculó la tasa de absorción específica (SAR) individual. Los resultados indicaron que la exposición aguda a LTE por debajo de los límites de seguridad moduló tanto la conexión funcional como las propiedades basadas en gráficos. Para caracterizar el efecto de la actividad funcional, se promedió la SAR durante un período de tiempo de 10 años. Cierta masa tisular no era una medida adecuada. El posible efecto neurofisiológico de la exposición a 5G también se ha analizado en el estudio.

(E) Yang XS, He GL, Hao YT, Xiao Y, Chen CH, Zhang GB, Yu ZP. La exposición a campos electromagnéticos de 2,45 GHz provoca una respuesta de estrés relacionada con la HSP en el hipocampo de ratas. Brain Res Bull. 88(4):371-378, 2012. (AS, CH)

La cuestión de los posibles efectos neurobiológicos de la exposición a campos electromagnéticos (CEM) es muy controvertida. Para determinar si la exposición a campos electromagnéticos podría actuar como un estímulo ambiental capaz de producir respuestas de estrés, empleamos el hipocampo, un objetivo sensible a la radiación electromagnética, para evaluar los cambios en su expresión de genes y proteínas relacionadas con el estrés después de la exposición a CEM. Se expusieron ratas Sprague-Dawley macho adultas con el cuerpo inmovilizado a un CEM de 2,45 GHz a una tasa de absorción específica (SAR) de 6 W/kg o condiciones simuladas. Se realizó una micromatriz de ADNc para examinar los cambios de expresión génica implicados en los efectos biológicos de la radiación electromagnética. De 2048 genes candidatos, se identificaron 23 genes regulados positivamente y 18 genes regulados negativamente. De estos genes de expresión diferencial, dos proteínas de choque térmico (HSP), HSP27 y HSP70, son notables porque los niveles de expresión

Los niveles de ambas proteínas aumentan en el hipocampo de la rata. Los resultados de la inmunocitoquímica revelaron que los campos electromagnéticos causaban una tinción intensa de HSP27 y HSP70 en el hipocampo, especialmente en las neuronas piramidales del cornu ammonis 3 (CA3) y las células granulares del giro dentado (DG). Los perfiles de expresión de genes y proteínas de HSP27 y HSP70 se confirmaron mediante la reacción en cadena de la polimerasa con transcripción inversa (RT-PCR) y la prueba Western blot. Nuestros datos proporcionan evidencia directa de que la exposición a campos electromagnéticos provoca una respuesta de estrés en el hipocampo de la rata.

(E) Yang X, He G, Hao Y, Chen C, Li M, Wang Y, Zhang G, Yu Z. El papel de la vía JAK2-STAT3 en las respuestas proinflamatorias de las células microgliales N9 estimuladas por campos electromagnéticos. *J Neuroinflammation*. 7:54, 2010. (CS, CH)

ANTECEDENTES: En varias afecciones neuropatológicas, la microglía puede hiperactivarse y causar neurotoxicidad al iniciar daño neuronal en respuesta a estímulos proinflamatorios.

Nuestros estudios previos han demostrado que la exposición a campos electromagnéticos (CEM) activa la microglía cultivada para producir factor de necrosis tumoral (TNF)- α y óxido nítrico (NO) a través de la transducción de señales que involucra al activador de la transcripción STAT3. Aquí, investigamos el papel de la señalización de STAT3 en la activación microglial inducida por CEM y las respuestas proinflamatorias con más detalle que el estudio anterior.

MÉTODOS: Las células microgliales N9 fueron tratadas con exposición a CEM o un tratamiento simulado, con o sin pretratamiento con un inhibidor (piridona 6, P6) de la familia Janus de tirosina quinasas (JAK). El estado de activación de la microglía se evaluó mediante inmunorreacción utilizando el marcador microglial CD11b. Los niveles de óxido nítrico sintasa inducible (iNOS), TNF- α y NO se midieron utilizando reacción en cadena de polimerasa con transcripción inversa en tiempo real (RT-PCR), ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas (ELISA) y la enzima nitrato reductasa.

Método. La activación de las proteínas JAK y STAT3 se evaluó mediante transferencia Western para la fosforilación de tirosina específica. La capacidad de STAT3 para unirse al ADN se detectó con un ensayo de desplazamiento de movilidad por electroforesis (EMSA). **RESULTADOS:** Se encontró que los campos electromagnéticos inducen significativamente la fosforilación de JAK2 y STAT3, y la capacidad de unión al ADN de STAT3 en la microglía N9. Además, los campos electromagnéticos aumentaron drásticamente la expresión de CD11b, TNF- α e iNOS, y la producción de NO. P6 suprimió fuertemente la fosforilación de JAK2 y STAT3 y disminuyó la actividad de STAT3 en la microglía estimulada por campos electromagnéticos. Curiosamente, la expresión de CD11b, así como la expresión génica y la producción de TNF- α e iNOS fueron suprimidas por P6 a las 12 h, pero no a las 3 h, después de la exposición a los campos electromagnéticos. **CONCLUSIONES:** La exposición a los campos electromagnéticos desencadena directamente la activación inicial de la microglía y produce una respuesta proinflamatoria significativa. Nuestros hallazgos confirman que la vía JAK2-STAT3 puede no mediar esta activación inicial de la microglía, pero sí promueve respuestas proinflamatorias en las células microgliales estimuladas por los campos electromagnéticos. Por lo tanto, la vía JAK2-STAT3 podría ser un objetivo terapéutico para reducir las respuestas proinflamatorias en la microglía activada por los campos electromagnéticos.

(E) Yanqi L, Ping D, Chunhai C, Qinlong M, Huifeng P, Mindi H, Yonghui L, Peng G, Chao Z, Zhixin H, Yanwen Z, Zhengping Y, Lei Z. La irradiación electromagnética de radiofrecuencia de 1800 MHz altera el crecimiento de las neuritas con una disminución de Rap1-GTP en neuronas hipocámpales primarias de ratón y células Neuro2a. *Frontiers in Public Health*. Vol.

9:1854. 2021. doi: 10.3389/fpubh.2021.771508 (CS, CC, DE)

Antecedentes: Con la popularidad global de los dispositivos de comunicación como los teléfonos móviles, hay una creciente preocupación con respecto al efecto de la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF-EMR) en el cerebro, uno de los órganos más importantes sensibles a la exposición a RF-EMR a 1.800 MHz. Sin embargo, los efectos de la exposición a RF-EMR en las células neuronales no están claros. El crecimiento de las neuritas desempeña un papel fundamental en el desarrollo del cerebro, por lo tanto, determinar los efectos de la exposición a RF-EMR de 1.800 MHz en el crecimiento de las neuritas es importante para explorar sus efectos en el desarrollo del cerebro. **Objetivos:** Nuestro objetivo fue investigar los efectos de la exposición a RF-EMR de 1.800 MHz durante 48 h en el crecimiento de las neuritas en las células neuronales y explorar el papel asociado de la vía de señalización Rap1. **Material y métodos:** Las neuronas hipocampales primarias de ratones C57BL/6 y las células Neuro2a se expusieron a RF-EMR de 1.800 MHz a un valor de tasa de absorción específica (SAR) de 4 W/kg durante 48 h. Se utilizaron ensayos CCK-8 para determinar la viabilidad celular después de 24, 48 y 72 h de irradiación. El crecimiento de neuritas de neuronas hipocampales primarias (DIV 2) y células Neuro2a se observó con un microscopio óptico de 20 × y se reconoció con el software ImageJ. Las expresiones de los genes Rap1a y Rap1b se detectaron mediante PCR cuantitativa en tiempo real. Las expresiones de las proteínas Rap1, Rap1a, Rap1b, Rap1GAP y p-MEK1/2 se detectaron mediante transferencia Western. La expresión de Rap1-GTP se detectó mediante inmunoprecipitación. El papel de Rap1-GTP se evaluó transfecando un plásmido mutante constitutivamente activo (Rap1-Gly_Val-GFP) en células Neuro2a.

Resultados: La exposición a 1.800 MHz de radiofrecuencia electromagnética durante 24, 48 y 72 h a 4 W/kg no influyó en la viabilidad celular. La longitud de las neuritas, el número de neuritas primarias y secundarias y los puntos de ramificación de las neuronas hipocampales primarias de ratón se vieron significativamente afectados por la exposición a 48 h de radiofrecuencia electromagnética. El porcentaje de células portadoras de neuritas y la longitud de las neuritas de las células Neuro2a también se inhibieron con la exposición a RF-EMR durante 48 horas. La actividad de Rap1 se inhibió con RF-EMR durante 48 horas sin alteración detectable en la expresión de genes o proteínas de Rap1. La expresión de proteínas de Rap1GAP aumentó después de la exposición a RF-EMR durante 48 horas, mientras que la expresión de la proteína p-MEK1/2 disminuyó.

La sobreexpresión de Rap1 constitutivamente activo revirtió la disminución de Rap1-GTP y el deterioro del crecimiento de neuritas en células Neuro2a inducido por la exposición a RF-EMR de 1.800 MHz durante 48 h.

Conclusión: La actividad de Rap1 y las vías de señalización relacionadas están implicadas en la alteración del crecimiento de las neuritas inducida por la exposición a radiofrecuencias electromagnéticas de 1800 MHz durante 48 horas. Los efectos de la exposición a radiofrecuencias electromagnéticas en el desarrollo neuronal de los bebés y los niños merecen una mayor atención.

(E) Yavas MC. El efecto de los campos electromagnéticos de corta duración provocados por los teléfonos móviles sobre la actividad eléctrica de las ondas cerebrales alfa y beta. *Annals of Clinical and Analytical Medicine*. 11(5):474-478. Sep 2020. DOI: 10.4328/ACAM.20220. (HU, EE)

Objetivo: El uso generalizado de teléfonos móviles por parte de las personas está aumentando en la sociedad. El efecto de estas áreas en la neurofisiología y el EEG es intrigante. En este estudio, nos propusimos investigar el efecto del campo electromagnético inducido por el teléfono móvil a corto plazo en la actividad eléctrica de las bandas alfa y beta del EEG en el cerebro humano. **Materiales y métodos:** El estudio se llevó a cabo en veinte hombres divididos en cuatro grupos: Grupo 1: ojos cerrados (10 s), Grupo 2: ojos abiertos (10 s), Grupo 3: exposición al teléfono (3 min) y Grupo 4: grupo de control (sin teléfono, 3 min).

Resultados: En nuestro estudio no se observó ningún cambio significativo en la actividad eléctrica del EEG de las ondas alfa entre el uso y no uso del teléfono móvil ($p > 0,05$). Como resultado del análisis realizado para las ondas beta, en la comparación entre el grupo expuesto al teléfono móvil y el grupo no expuesto, se observó una diferencia significativa entre la FFT max F y la PSD max

parámetros de potencia ($p < 0,05$), y se encontró una diferencia insignificante entre el valor máximo de FFT y los parámetros F máximos de PSD ($p > 0,05$). Discusión: El uso de teléfonos móviles puede provocar algunos cambios en la actividad eléctrica de algunas bandas del cerebro.

(NE) Yilmaz F, Dasdag S, Akdag MZ, Kilinc N. La exposición de todo el cuerpo a la radiación emitida por teléfonos móviles de 900 MHz no parece afectar los niveles de la proteína antiapoptótica bcl-2. *Electromagn Biol Med.* 27(1):65-72, 2008. (AS, CH)

El objetivo del presente estudio fue investigar la proteína antiapoptótica bcl-2 en el cerebro y los testículos de ratas después de la exposición de todo el cuerpo a la radiación emitida por teléfonos celulares de 900 MHz. En el estudio se utilizaron dos grupos (simulado y experimental) de ratas Sprague-Dawley de ocho ratas cada uno. La exposición comenzó aproximadamente 10 minutos después de la transferencia a las jaulas de exposición, un período de tiempo en el que las ratas se acomodaron en una posición boca abajo y seleccionaron una ubicación fija dentro de la jaula de forma espontánea. Para el grupo experimental, los teléfonos estuvieron en la condición de habla durante 20 minutos por día durante 1 mes. El mismo procedimiento se aplicó a las ratas del grupo simulado, pero los teléfonos se apagaron. La tinción inmunohistoquímica de bcl-2 se realizó de acuerdo con el método estandarizado del complejo avidina-biotina. Los resultados de este estudio mostraron que 20 minutos de la radiación emitida por teléfonos celulares de 900 MHz no alteraron la proteína antiapoptótica bcl-2 en el cerebro y los testículos de las ratas. Especulamos que el bcl-2 podría no estar involucrado en los efectos de la radiación en el cerebro y los testículos de las ratas.

(E) Yilmaz A, Yilmaz N, Serarslan Y, Aras M, Altas M, Ozgür T, Sefil F. Los efectos de los teléfonos móviles en la apoptosis en el tejido cerebral: un estudio experimental en ratas. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 18(7):992-1000, 2014. (AS, CE, CH)

INTRODUCCIÓN: La preocupación por los efectos de los teléfonos móviles va en aumento a medida que aumenta el número de usuarios. Los distintos estudios arrojan resultados diferentes, por lo que este tema sigue abierto a debate. El objetivo de este informe fue investigar los efectos de los teléfonos móviles en el gen Bcl-2 y las proteínas p53 en cerebros de ratas. MATERIALES Y MÉTODOS: En el grupo de estudio de 10 ratas; teléfonos móviles que difunden EMW a una frecuencia entre 1900-2100 MHz y un rango de tasa de absorción específica entre 0,005 W/kg y 0,288 W/kg (modo de marcación), 0,004 W/kg y 0,029 W/kg (modo de llamada) se colocaron en las orejas de las ratas para simular el uso en la vida diaria durante 7 veces al día durante 5 minutos (3 segundos en modo de marcación, 4 minutos y 47 segundos en modo de llamada) durante un período de cuatro semanas. Las ratas del grupo simulado ($n = 10$) solo se inmovilizaron sin exposición a EMW. Otro grupo de ratas ($n = 10$) se contó como control sin ninguna aplicación. Se realizó un examen inmunohistopatológico para la expresión de p53 y Bcl-2. RESULTADOS: Los exámenes inmunohistopatológicos revelaron que las muestras del grupo de estudio tenían más células teñidas con p53 y Bcl-2 positivas y se tiñeron de forma más densa. En ambas evaluaciones, estas diferencias entre el grupo de estudio y el grupo de control se encontraron estadísticamente significativas ($p < 0,003$); en la evaluación de Bcl-2 se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre el grupo de estudio y el grupo de simulación ($p < 0,005$); sin embargo, la evaluación de p53 entre el grupo de estudio y el grupo de simulación no mostró ninguna diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,005$). CONCLUSIONES: Nuestros resultados mostraron que las ondas electromagnéticas emitidas por los teléfonos móviles pueden tener efecto sobre la apoptosis. Además,

Los datos obtenidos revelaron que una aplicación más realista de los teléfonos móviles durante los experimentos es más importante de lo esperado.

(E) Yogesh S, Abha S, Priyanka S. Uso de dispositivos móviles y patrones de sueño entre estudiantes de medicina. Indian J Physiol Pharmacol. 58(1):100-103, 2014. (HU, CE, BE, SL)

La exposición de los seres humanos a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM) tanto durante la recepción como durante la transmisión de las señales ha amplificado el debate público y científico sobre los posibles efectos adversos para la salud humana. El estudio se diseñó con el objetivo de evaluar el grado de uso del teléfono móvil entre los estudiantes de medicina y encontrar una correlación, si la hubiera, entre las horas de uso del móvil y el patrón y la calidad del sueño. Se examinó la calidad y el patrón del sueño de cien estudiantes de medicina agrupados como casos ($n = 57$) (> 2 horas/día de uso del móvil) y control ($n = 43$) (≤ 2 horas/día de uso del móvil) mediante el Índice de calidad del sueño de Pittsburg (PSQI). Las diferencias entre los grupos se examinaron con la prueba "U" de Mann Whitney para proporciones (valores cuantitativos) y con la prueba t de Student para variables continuas. La asociación de las variables se analizó mediante la correlación de Spearman Rank. La probabilidad se estableció en $< 0,05$ como significativa. La alteración del sueño, la latencia y la disfunción diurna fueron mayores en los casos, especialmente en las mujeres. Se observó una asociación significativa entre las horas de uso y los índices de sueño en ambos sexos (varones $r = 0,25$; $p = 0,04$, mujeres $r = 0,31$; $p = 0,009$). El uso nocturno del teléfono móvil en algunos casos mostró una asociación negativa estadísticamente significativa ($-0,606$; $p = 0,042$) con la calidad del sueño (un PSQI más alto significa privación del sueño). El uso del móvil por parte de los estudiantes durante más de 2 horas al día puede provocar privación del sueño y somnolencia diurna, lo que afecta a las capacidades cognitivas y de aprendizaje de los estudiantes de medicina.

*(E) Yuan K, Qin W, Wang G, Zeng F, Zhao L, Yang X, Liu P, Liu J, Sun J, von Deneen KM, Gong Q, Liu Y, Tian J. Anormalidades de la microestructura en adolescentes con trastorno de adicción a Internet. PLoS One. 6(6):e20708, 2011. (HU, ME) (*Los efectos observados probablemente no sean causados por la exposición a RFR).

ANTECEDENTES: Estudios recientes sugieren que el trastorno de adicción a Internet (TAI) está asociado con anomalías estructurales en la materia gris cerebral. Sin embargo, pocos estudios han investigado los efectos de la adicción a Internet en la integridad microestructural de las principales vías de fibras neuronales, y casi ningún estudio ha evaluado los cambios microestructurales con la duración de la adicción a Internet. METODOLOGÍA/HALLAZGOS PRINCIPALES: Investigamos la morfología del cerebro en adolescentes con TAI ($N = 18$) utilizando una técnica de morfometría basada en vóxeles (VBM) optimizada, y estudiamos los cambios de anisotropía fraccional (AF) de la materia blanca utilizando el método de imágenes del tensor de difusión (DTI), vinculando estas medidas estructurales cerebrales con la duración del TAI. Proporcionamos evidencias que demuestran los múltiples cambios estructurales del cerebro en Sujetos con TAI. Los resultados de la VBM indicaron una disminución del volumen de materia gris en la corteza prefrontal dorsolateral bilateral (CPDL), el área motora suplementaria (AMS), la corteza orbitofrontal (COF), el cerebelo y la ACC rostral izquierda (ACCr). El análisis DTI reveló un aumento del valor de FA en la extremidad posterior izquierda de la cápsula interna (PLIC) y una reducción del valor de FA en la materia blanca dentro del giro parahipocampal derecho (PHG). Los volúmenes de materia gris de la CPDL, la ACCr, la AMS y los cambios de FA en la materia blanca de la PLIC se correlacionaron significativamente con la duración de la adicción a Internet en los adolescentes con TAI. CONCLUSIONES: Nuestros resultados

Los autores sugirieron que la adicción a Internet a largo plazo provocaría alteraciones estructurales del cerebro, lo que probablemente contribuyó a la disfunción crónica en sujetos con TAI. El estudio actual puede arrojar más luz sobre los posibles efectos del TAI en el cerebro.

(E) Zareen N, Khan MY, Ali Minhas L. Trastorno de la diferenciación retiniana del embrión de pollo causado por campos electromagnéticos de radiofrecuencia. *Congenit Anom (Kyoto)*. 49(1):15-19, 2009.

(América, Europa, Oriente Medio y África)

Los posibles efectos adversos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM) emitidos por los teléfonos móviles plantean una importante preocupación pública. Las actividades eléctricas biológicas del cuerpo humano son vulnerables a la interferencia de los aspectos oscilatorios de los CEM, que afectan a las actividades celulares fundamentales, en particular, el proceso de desarrollo altamente activo de los embriones. Algunos estudios destacan los posibles riesgos para la salud de los CEM, mientras que otros cuestionan la hipótesis del impacto biológico de los CEM. El presente estudio fue diseñado para observar los efectos histomorfológicos de los CEM emitidos por un teléfono móvil en las retinas de embriones de pollo en desarrollo. Los huevos de gallina fertilizados fueron expuestos a un teléfono móvil que sonaba en tono silencioso colocado en la incubadora a diferentes edades de desarrollo. Después de la exposición durante la duración programada, las retinas de los embriones fueron diseccionadas y procesadas para el examen histológico. Los embriones de control y experimentales se compararon estadísticamente en cuanto al grosor de la retina y los grados de pigmentación epitelial. Se observaron efectos contrastantes de los CEM en la histomorfología de la retina, dependiendo de la duración de la exposición. Los embriones expuestos durante 10 días posteriores a la incubación mostraron una disminución del crecimiento de la retina y una leve pigmentación del epitelio. El retraso del crecimiento se reasignó a una mejora del crecimiento al aumentar la exposición a los campos electromagnéticos durante 15 días posteriores a la incubación, con un cambio del grado de pigmentación de leve a intenso. Concluimos que los campos electromagnéticos emitidos por un teléfono móvil causan un trastorno de la diferenciación retiniana de los embriones de pollo.

(E) Zhang JP, Zhang KY, Guo L, Chen QL, Gao P, Wang T, Li J, Guo GZ, Ding GR. Efectos de 1.8 Campos de radiofrecuencia de GHz sobre el comportamiento emocional y la memoria espacial de ratones adolescentes. *Int J Environ Res Public Health*. 5 de noviembre de 2017;14(11). pii: E1344. doi: 10.3390/ijerph14111344. (AS, CE, BE, CH)

El uso creciente de teléfonos móviles por parte de los adolescentes ha suscitado preocupación sobre los efectos cognitivos de los campos de radiofrecuencia (RF). En este estudio, investigamos los efectos de la exposición durante 4 semanas a un campo de RF de 1,8 GHz sobre el comportamiento emocional y la memoria espacial de ratones machos adolescentes. El comportamiento similar a la ansiedad se evaluó mediante la prueba de campo abierto (OFT) y la prueba del laberinto en cruz elevada (EPM), mientras que el comportamiento similar a la depresión se evaluó mediante la prueba de preferencia de sacarosa (SPT), la prueba de suspensión de la cola (TST) y la prueba de natación forzada (FST). La capacidad de aprendizaje espacial y la memoria se evaluaron mediante experimentos de laberinto acuático de Morris (MWM). Los niveles de neurotransmisores de aminoácidos se determinaron mediante cromatografía líquida-espectrometría de masas (LC-MS). La histología del cerebro se examinó mediante tinción con hematoxilina-eosina (HE). Se encontró que el comportamiento similar a la depresión, la capacidad de memoria espacial y la histología del cerebro no cambiaron de forma obvia después de la exposición a RF. Sin embargo, el comportamiento similar a la ansiedad aumentó en los ratones, mientras que los niveles de ácido γ -aminobutírico (GABA) y ácido aspártico (Asp) en la corteza y el hipocampo

La exposición a RF disminuyó significativamente. Estos datos sugieren que la exposición a RF en estas condiciones no afecta el comportamiento similar a la depresión, la memoria espacial y la histología cerebral en ratones machos adolescentes, pero puede aumentar el nivel de ansiedad, y es probable que GABA y Asp estén involucrados en este efecto.

(E) Zhang SZ, Yao GD, Lu DQ, Chiang H, Xu ZP. [Efecto de la radiofrecuencia de 1,8 GHz Campos electromagnéticos en la expresión génica de neuronas de rata]. Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi. 26(8):449-452, 2008. [Artículo en chino] (CS, CH, WS)

OBJETIVO: Investigar los cambios de expresión génica en neuronas de rata inducidos por campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF EMF) de 1,8 GHz para detectar genes sensibles a RF EMF y el efecto de diferentes tiempos y modos de exposición en la expresión génica en neuronas. MÉTODOS: El ARN total se extrajo inmediatamente y se purificó del cultivo primario de neuronas después de una exposición intermitente o simulada a una frecuencia de RF EMF de 1,8 GHz durante 24 horas a una tasa de absorción específica (SAR) promedio de 2 W/kg. Se aplicó la matriz Affymetrix Rat Neurobiology U34 para investigar los cambios de expresión génica en neuronas de rata. Los genes expresados diferencialmente (Egr-1, Mbp y Plp) se confirmaron además mediante reacción en cadena de polimerasa de transcripción inversa semicuantitativa (RT-PCR). Los niveles de expresión de Egr-1, Mbp y Plp se observaron en diferentes tiempos de exposición (6, 24 h) y modos (exposición intermitente y continua).

RESULTADOS: Entre 1200 genes candidatos, se encontraron 24 genes sobreexpresados y 10 sobreexpresados utilizando el software Affymetrix microarray suite 5.0 que están asociados con múltiples funciones celulares (citoesqueleto, vía de transducción de señales, metabolismo, etc.) después de la clasificación funcional. Bajo 24 h y 6 h de exposición intermitente, Egr-1 y Plp en los grupos experimentales mostraron significancia estadística ($P < 0,05$) en comparación con los grupos de control, mientras que la expresión de Mbp no cambió significativamente ($P > 0,05$). Después de 24 h de exposición continua, Egr-1 y Mbp en los grupos experimentales mostraron significancia estadística ($P < 0,05$) en comparación con el grupo de control, mientras que la expresión de Plp no cambió significativamente ($P > 0,05$). Bajo el mismo modo de exposición de 6 h, la expresión de los 3 genes no cambió significativamente. Diferentes tiempos (6, 24 h) y modos (exposición intermitente y continua) de exposición ejercieron influencias notablemente diferentes en la expresión de los genes Egr-1, Mbp, Plp ($P < 0,01$). CONCLUSIÓN: Los cambios en la transcripción de muchos genes estuvieron involucrados en el efecto de los EMF de RF de 1,8 GHz en las neuronas de rata; La regulación negativa de Egr-1 y la regulación positiva de Mbp, Plp indicaron los efectos negativos de los EMF de RF en las neuronas; El efecto de la exposición intermitente a RF en la expresión génica fue más obvio que el de la exposición continua; El efecto de la exposición a RF de 24 h (tanto intermitente como continua) en la expresión génica fue más obvio que el de 6 h (tanto intermitente como continua).

(E) Zhang Y, She F, Li L, Chen C, Xu S, Luo X, Li M, He M, Yu Z. p25/CDK5 está parcialmente involucrado en la lesión neuronal inducida por la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Int J Radiat Biol. 29 de julio de 2013. [Epub antes de impresión] (CS, CC)

Objetivo: Varios estudios sugieren que la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) puede inducir daño neuronal. El objetivo del presente trabajo fue investigar si la vía de la quinasa dependiente de ciclina 5 (CDK5) está involucrada en el daño neuronal inducido por la exposición a RF-EMF.

Materiales y métodos: Las neuronas corticales primarias cultivadas de ratas Sprague-Dawley recién nacidas se expusieron a campos electromagnéticos de radiofrecuencia pulsados de 2,45 GHz durante 10 minutos. La viabilidad celular se evaluó utilizando el método de 3-Ensayo de bromuro de (4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazolio. La apoptosis se evaluó mediante tinción conjunta con Hoechst 33342 y marcaje de extremos de muesca de dUTP mediada por la desoxinucleotidil transferasa terminal (TdT). Las expresiones proteicas de CDK5, p35, p25 y tau fosforilada en Ser404 se examinaron mediante análisis Western blot. La actividad de CDK5 se detectó mediante un ensayo de histona-H1 quinasa. Resultados: La viabilidad celular de las neuronas disminuyó significativamente ($p < 0,01$, eta cuadrada parcial [η^2]: 0,554) y el porcentaje de núcleos apoptóticos ($p < 0,01$, $\eta^2 = 0,689$),

actividad de CDK5 ($p < 0,05$, $\eta^2 = 0,589$), relación de p25 y p35 ($p < 0,05$, $\eta^2 = 0,670$), niveles de tau fosforilación en Ser404 ($p < 0,01$, $\eta^2 = 0,896$) aumentaron significativamente después de RF-EMF

Exposición. No se detectó ningún cambio significativo en la expresión de CDK5 después de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia.

El pretratamiento con roscovitina (un inhibidor de CDK5) bloqueó significativamente la hiperfosforilación inducida por RF-EMF = disminución de la viabilidad celular ($p < 0,05$, $\eta^2 = 0,398$) y la hiperfosforilación de tau en Ser404 ($p <$

0,01, $\eta^2 = 0,917$), pero no bloqueó significativamente la apoptosis inducida por RF-EMF ($p > 0,05$, $\eta^2 =$

0,130). Conclusiones: Estos resultados sugieren que la actividad anormal de p25/CDK5 está parcialmente involucrada en la lesión de neuronas corticales cultivadas primarias inducida por la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia.

(E) Zhang Y, Li Z, Gao Y, Zhang C. Efectos de la exposición fetal a la radiación de microondas en el comportamiento de las crías de ratones. J Radiat Res. 56:261-268, 2015. (AS, CE, BE, DE)

El rápido desarrollo reciente de las técnicas de comunicación electrónica está dando como resultado un marcado aumento en la exposición de los seres humanos a los campos electromagnéticos (CEM). Esto ha suscitado inquietudes públicas sobre los riesgos para la salud de la exposición a largo plazo a los CEM ambientales para los fetos y los niños. Algunos estudios han sugerido que la exposición a los CEM en los niños podría inducir trastornos del sistema nervioso. Sin embargo, no se han informado previamente los efectos dependientes del género de la exposición a la radiación de microondas sobre la disfunción cognitiva. Aquí investigamos si la exposición en el útero a microondas de 9,417 GHz durante la gestación (días 3,5 a 18) afectó el comportamiento, utilizando la prueba de campo abierto (OFT), el laberinto en cruz elevada (EPM), la prueba de suspensión de la cola (TST), la prueba de natación forzada (FST) y el laberinto acuático de Morris (MWM). Descubrimos que los ratones mostraron menos movimiento en el centro de un campo abierto (utilizando el OFT) y en un brazo abierto (utilizando el EPM) después de la exposición en el útero a la radiación de 9,417 GHz, lo que sugirió que los ratones habían aumentado el comportamiento relacionado con la ansiedad. Los ratones mostraron una inmovilidad reducida en TST y FST después de la exposición en el útero a la radiación de 9,417 GHz, lo que sugirió que los ratones habían disminuido el comportamiento relacionado con la depresión. A partir de la prueba MWM, observamos que las crías masculinas demostraron una disminución del aprendizaje y la memoria, mientras que las hembras no se vieron afectadas en el aprendizaje y la memoria, lo que sugirió que las microondas tenían efectos dependientes del género. En resumen, hemos proporcionado la primera evidencia experimental de que las microondas inducen efectos dependientes del género.

(E) Zhao R, Zhang S, Xu Z, Ju L, Lu D, Yao G. Estudio del perfil de expresión genética de neuronas de rata expuestas a campos electromagnéticos de radiofrecuencia de 1800 MHz con microensayo de ADNc. Toxicología. 235(3):167-175, 2007. (CS, CH)

El uso generalizado de los teléfonos móviles suscita una creciente preocupación por sus posibles efectos adversos sobre los seres humanos, especialmente el cerebro. La expresión genética es una forma única de caracterizar cómo

Las células y los organismos se adaptan a los cambios en el entorno externo, por lo que el objetivo de esta investigación fue determinar si los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF EMF) de 1800 MHz pueden influir en la expresión génica de las neuronas. Se aplicó la matriz Affymetrix Rat Neurobiology U34 para investigar los cambios de la expresión génica en las neuronas de ratas después de la exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia pulsados a una frecuencia de 1800 MHz modulada por 217 Hz, que se utiliza comúnmente en MP. Entre 1200 genes candidatos, se identificaron 24 genes sobreexpresados y 10 genes sobreexpresados después de una exposición intermitente de 24 horas a una tasa de absorción especial (SAR) promedio de 2 W/kg, que están asociados con múltiples funciones celulares (citoesqueleto, vía de transducción de señales, metabolismo, etc.) después de la clasificación funcional. Los resultados se confirmaron además mediante reacción en cadena de la polimerasa cuantitativa en tiempo real (RT-PCR). Los resultados actuales indican que la expresión génica de las neuronas de rata podría verse alterada por la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia en nuestras condiciones experimentales.

(E) Zhao TY, Zou SP, Knapp PE. La exposición a la radiación de los teléfonos celulares aumenta la regulación de los genes de apoptosis en cultivos primarios de neuronas y astrocitos. *Neurosci Lett.* 412(1):34-38, 2007. (CS, CH)

Los efectos sobre la salud de la exposición a la radiación de los teléfonos móviles son una preocupación pública creciente. Este estudio investigó si la expresión de genes relacionados con las vías de muerte celular se desregula en neuronas y astrocitos de cultivos primarios mediante la exposición a un teléfono móvil GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles) en funcionamiento con una frecuencia de 1900 MHz. Los cultivos primarios se expusieron a las emisiones de los teléfonos móviles durante 2 horas. Utilizamos análisis de matriz y RT-PCR en tiempo real para mostrar la regulación positiva de la expresión de los genes de caspasa-2, caspasa-6 y Asc (proteína similar a una mota asociada a la apoptosis que contiene una tarjeta) en neuronas y astrocitos. La regulación positiva se produjo tanto en modo "activado" como "en espera" en las neuronas, pero solo en modo "activado" en los astrocitos. Además, los astrocitos mostraron una regulación positiva del gen Bax. Los efectos son específicos, ya que no se observó regulación positiva para otros genes asociados con la apoptosis, como la caspasa-9 en neuronas o astrocitos, o Bax en neuronas. Los resultados muestran que incluso una exposición relativamente a corto plazo a las emisiones de radiofrecuencia de los teléfonos celulares puede regular positivamente elementos de las vías apoptóticas en células derivadas del cerebro, y que las neuronas parecen ser más sensibles a este efecto que los astrocitos.

(E) Zheng F, Gao P, He M, Li M, Wang C, Zeng Q, Zhou Z, Yu Z, Zhang L. Asociación entre el uso del teléfono móvil y la falta de atención en 7102 adolescentes chinos: un estudio transversal de base poblacional. *BMC Public Health.* 1 de octubre de 2014;14(1):1022. [Publicado electrónicamente antes de su publicación impresa] (HU, CE, BE)

ANTECEDENTES: El espectacular aumento del uso de teléfonos móviles entre los jóvenes ha aumentado el interés por los posibles riesgos para la salud que entrañan en este grupo de edad. El objetivo de este estudio transversal fue investigar la asociación entre el uso de teléfonos móviles y la falta de atención en los adolescentes.

MÉTODOS: Un total de 7.720 estudiantes de secundaria participaron en este estudio transversal.

La falta de atención se evaluó según la definición del componente de déficit de atención del trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) del Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales (4.^a ed., texto revisado [DSM-IV-TR]). Las características demográficas y la información sobre el uso de MP se incluyeron en el cuestionario. Pruebas de chi-cuadrado y modelos de regresión logística

se utilizaron para analizar los datos. RESULTADOS: En total, se obtuvieron 7102 (91,99%) cuestionarios válidos. Después de ajustar los factores de confusión, la falta de atención en los adolescentes se asoció significativamente con la propiedad de MP, el tiempo dedicado al entretenimiento en MP por día, la posición del MP durante el día y el modo del MP por la noche. La asociación más fuerte entre la falta de atención y el tiempo dedicado al MP fue entre los estudiantes que pasaron más de 60 minutos por día jugando en su MP. CONCLUSIONES: Nuestro estudio muestra algunas asociaciones entre el uso de MP y la falta de atención en adolescentes chinos. Reducir el uso de MP a menos de 60 minutos por día puede ayudar a los adolescentes a mantenerse concentrados y centrados.

(E) Zhu R, Wang H, Xu X, Zhao L, Zhang J, Dong J, Yao B, Wang H, Zhou H, Gao Y, Peng R. Efectos de la radiación de microondas de 1,5 y 4,3 GHz en la función cognitiva y la estructura del tejido hipocampal en ratas Wistar. *Sci Rep* 11:10061, 2021. (AS, CE, BE, ME, WS)

Estudios previos han demostrado que la radiación de microondas de una sola frecuencia puede provocar un deterioro cognitivo en ratas. Sin embargo, pocos estudios se han centrado en los efectos combinados de la irradiación con diferentes frecuencias de microondas. Nuestra investigación tuvo como objetivo investigar los efectos de la radiación de microondas de 1,5 GHz y 4,3 GHz, individualmente y en combinación, sobre la función cognitiva y la estructura del tejido hipocampal en ratas. Un total de 140 ratas Wistar macho se dividieron aleatoriamente en 4 grupos: el grupo S (grupo de radiación simulada), el grupo L10 (grupo de 10 mW/cm² de 1,5 GHz), el grupo C10 (grupo de banda de 4,3 GHz de 10 mW/cm²) y el grupo LC10 (grupo de radiación multifrecuencia de 1,5 y 4,3 GHz de 10 mW/cm²). Durante 1 a 28 días después de la radiación de microondas, analizamos la latencia de escape promedio para la tarea del laberinto acuático de Morris, los electroencefalogramas, el cambio en la estructura y ultraestructura del tejido hipocampal, el contenido del cuerpo de Nissl en el hipocampo y las actividades de la lactato deshidrogenasa y la succinato deshidrogenasa. En comparación con el grupo S, todos los grupos de exposición mostraron diversos grados de deterioro del aprendizaje y la memoria y daño estructural del hipocampo. Los resultados mostraron que la radiación de microondas de 1,5 GHz y 4,3 GHz fue capaz de inducir deterioro cognitivo y daño del tejido hipocampal en ratas y la radiación combinada con ambas frecuencias causó lesiones más graves, pero ninguno de estos efectos dañinos varió con la frecuencia de microondas.

(E) Zou L, Wu X, Tao S, Yang Y, Zhang Q, Hong X, Xie Y, Li T, Zheng S, Tao F. El giro cingulado anterior actúa como moderador de la relación entre el uso problemático del teléfono móvil y los síntomas depresivos en estudiantes universitarios. *Soc Cogn Affect Neurosci* 2021 4 de mayo;16(5):484-491. (HU, BE, ME)

Este estudio tuvo como objetivo investigar el volumen de materia gris cerebral (GMV) relacionado con el uso problemático del teléfono móvil (PMPU), y si estas regiones de GMV desempeñan un papel moderador potencial en la relación entre el PMPU y los síntomas depresivos. Reclutamos a 266 estudiantes que se sometieron a una exploración por resonancia magnética (MRI). El PMPU y los síntomas depresivos se evaluaron mediante un cuestionario de autoevaluación para el PMPU adolescente y el cuestionario de salud del paciente-9, respectivamente. Se realizó un modelo de regresión múltiple para detectar la integridad del GMV y la materia blanca (WM) asociada con el PMPU mediante métodos de morfometría basada en vóxeles (VBM) y estadísticas espaciales basadas en tractos (TBSS), y el análisis moderador se realizó mediante PROCESS utilizando SPSS.

El análisis VBM encontró una correlación inversa entre el GMV del giro cingulado anterior (ACC) y el giro fusiforme derecho (FFG) con PMPU (PFDR < 0,05), y el análisis TBSS reveló que la anisotropía fraccional (FA) en el cuerpo del cuerpo calloso se correlacionó negativamente con PMPU. La correlación entre PMPU y síntomas depresivos fue moderada por el GMV del ACC. Estos resultados sugieren que el GMV del ACC y el FFG derecho, así como la FA en el cuerpo del cuerpo calloso, estaban relacionados con PMPU, y además encontramos que el aumento del GMV del ACC podría reducir la relación entre PMPU y síntomas depresivos en estudiantes universitarios.

(E) Zuo H, Lin T, Wang D, Peng R, Wang S, Gao Y, Xu X, Zhao L, Wang S, Su Z. RKIP regula la apoptosis de células neuronales inducida por la exposición a la radiación de microondas en parte a través de la vía MEK/ERK/CREB. *Mol Neurobiol.* 10 de agosto de 2014. [Publicado electrónicamente antes de la impresión] (CS, CC)

En el presente estudio, investigamos si la proteína inhibidora de la quinasa Raf-1 (RKIP) es importante para la apoptosis de células neuronales inducida por la exposición a microondas y exploramos el papel de la vía MEK/ERK/CREB regulada por RKIP en la apoptosis. Las células PC12 diferenciadas se expusieron a radiación de microondas continua a 2,856 GHz durante 5 min con una densidad de potencia media de 30 mW/cm². Se construyeron plásmidos recombinantes sentido y antisentido de RKIP y se transfectaron en células PC12, respectivamente. Se utilizaron tinción de marcado de extremos de mella de dUTP mediada por desoxinucleotidil transferasa terminal (TdT) (TUNEL) y ensayo de actividad de caspasa-3 para detectar la apoptosis celular. Los resultados mostraron que RKIP se reguló a la baja después de la exposición a microondas mientras que la vía de señalización MEK/ERK/CREB se activó excesivamente. Además, la relación de Bcl-2/Bax disminuyó, la actividad de la caspasa-3 aumentó y, por lo tanto, la fragmentación del ADN apoptótico aumentó. La sobreexpresión de RKIP inhibió significativamente la fosforilación de MEK, ERK y CREB, mientras que la regulación negativa de RKIP tuvo el efecto inverso. Además, se descubrió que U0126 antagonizaba los cambios causados por la regulación negativa de RKIP después de la exposición a la radiación. En conclusión, RKIP desempeña un papel importante en la apoptosis de las células neuronales inducida por la radiación de microondas, y la regulación de la apoptosis celular por RKIP se realiza en parte a través de la vía MEK/ERK/CREB. Esto sugiere que RKIP puede actuar como un regulador clave del daño neuronal causado por la radiación de microondas. Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja provocan la detención de la fase G1 a través de la activación de la vía ATM-Chk2-p21