

## **La Magnetita como contaminación ambiental y su incidencia más temprana del Alzheimer en usuarios de Smartphones 5G**

<sup>1</sup>H. Torres-Silva,

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de Tarapacá, Casilla 6-D, Chile

**Palabras Claves:** magnetita, contaminación, proteína tau, alzheimer, Smartphone

**Hector Torres Silva.** Ingeniero civil Electrónico, Universidad de Santiago Chile. Doctor en Ciencias Universidad de Campinas Brasil. Posdoctorado en Radiación de Luz Sincrotrón, Laboratorio De luz Sincrotrón, Campinas Brasil. Profesor Universidad de Tarapacá, Escuela de Ingeniería Eléctrica Electrónica , Chile , e-mail: htorres@uta.cl

### **Resumen**

La contaminación ambiental es un problema global, que pone en riesgo la salud de la población. Existen legislaciones y tratados, tanto a nivel nacional como internacional, que tienen como objetivo controlar la emisión de sustancias contaminantes, especialmente en ciudades altamente pobladas que sufren de los gases contaminantes y residuos del tráfico urbano. Grandes ciudades de Latinoamérica tales como ciudad de México, Lima, Santiago de Chile y ciudades europeas como Madrid en época de frío se ven afectadas con el apareamiento de las llamadas boinas de contaminación, activando los respectivos protocolos de anticontaminación.

Un peligro latente y poco estudiado es la influencia de la magnetita, que se genera en la combustión de vehículos como material particulado de 2.5-10 micras., la cual pueden depositarse en el cerebro. Es de conocimiento general que las partículas de menor tamaño como son el PM 2,5 (partículas menor a 2.5 micras) son las más perjudiciales debido a su facilidad para penetrar a las vías respiratorias. Este artículo señala la necesidad de estudiar la magnetita como contaminante y su influencia en la aparición más temprana de la enfermedad de Alzheimer, EA, en usuarios de teléfonos inteligentes. Estas partículas contaminantes combinadas con el campo magnético y las microondas del teléfono inteligente permiten aumentar fuertemente el SAR, superando los límites de exposición establecidos.

## **Introducción**

La contaminación ambiental es un problema global, que pone en riesgo la salud de la población. Existen legislaciones y tratados, tanto a nivel nacional como internacional, que tienen como objetivo controlar la emisión de sustancias contaminantes, especialmente en ciudades altamente pobladas que sufren de los gases contaminantes y residuos del tráfico urbano. Grandes ciudades de Latinoamérica tales como ciudad de México, Lima, Santiago de Chile y ciudades europeas como Madrid en época de frío se ven afectadas con el apareamiento de las llamadas boinas de contaminación, activando los respectivos protocolos de anticontaminación.

Un peligro latente y poco estudiado es la influencia de la magnetita, Gieré R., (2016) que se genera en la combustión de vehículos como material particulado de 2.5-10 micras., la cual pueden depositarse en el cerebro. Es de conocimiento general que las partículas de menor tamaño como son el PM 2,5 (partículas menor a 2.5 micras) son las más perjudiciales debido a su facilidad para penetrar a las vías respiratorias. Este artículo refleja la necesidad de estudiar la magnetita como posible contaminante y su influencia en la aparición temprana de la enfermedad de Alzheimer, EA.

Uno de los signos más comunes de la enfermedad de Alzheimer (EA) es la pérdida de memoria, especialmente el olvido de la información aprendida recientemente. Antes de tal pérdida de memoria, muchos procesos han tenido lugar en el cerebro. Størmer F. C

(2017) se centra en los procesos que están ocurriendo con las neuronas involucradas en el almacenamiento de información durante el desarrollo de la enfermedad y su posible conexión con las placas amiloides y la proteína tau.

### **Los pasos que conducen a la pérdida de memoria a corto plazo**

Amyloid- $\beta$  (Ab) proviene de una proteína más grande (proteína precursora de amiloide  $\beta$ ) que se encuentra en la membrana grasa que rodea a las células nerviosas. En un cerebro sano, estas proteínas se descomponen en fragmentos, se liberan y se eliminan. En AD, los fragmentos (Ab) se forman y las cantidades bajas pueden actuar como un modulador de la actividad sináptica, con implicaciones para la memoria y el aprendizaje. Puede acumularse en el espacio extracelular del cerebro donde puede formar placas insolubles. Las neuronas son fuentes importantes de Ab en el cerebro y también está presente en los astrocitos. Los astrocitos superan a Ab en al menos cinco veces. Por lo tanto, incluso un pequeño nivel de producción de Ab astrocítica podría hacer una contribución significativa a la carga de Ab en AD. La pérdida de la función y la reactividad astrogliar contribuye al envejecimiento del cerebro ya enfermedades neurodegenerativas como la EA, Størmer F. C (2017). Los astrocitos interactúan con las neuronas, el transporte y otros astrocitos a través de la señalización y otros procesos. Por lo tanto, la formación de placas podría debilitar gradualmente la comunicación entre los astrocitos y las neuronas que conducen a la destrucción de estos últimos.

Fibras retorcidas insolubles se encuentran dentro de las neuronas. Estas marañas consisten principalmente en la proteína tau, que forma parte del sistema de microtúbulos. Sin embargo, en la enfermedad de Alzheimer, Tracy TE et al, (2016), muestran que la proteína tau es anormal y altera la capacidad de las neuronas para fortalecer las conexiones con otras células cerebrales, evitando que se formen los recuerdos y colapsen las estructuras de los microtúbulos.

### **La magnetita y su conexión con la enfermedad de Alzheimer**

La magnetita es un óxido de hierro ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) que se distribuye ampliamente entre los organismos sin involucrarse en ninguna reacción bioquímica conocida. De acuerdo a Kirschvink JL et al, (1992), la magnetita está presente en el cerebro y la magnetita biogénica está asociada con enfermedades neurodegenerativas como la AD y el Parkinson.

Hautot D et al (2003), Pankhurst QA et al(2008), han demostrado que la cantidad de magnetita presente es generalmente alta en el cerebro con EA. En el material del núcleo de la placa Teller S et al. (2015) han detectado magnetita como el compuesto de hierro dominante.

La conexión entre la enfermedad de Alzheimer, la magnetita y los priones se ha descrito por Størmer FC, Bakketeig LS (2015). Se ha propuesto que la información se almacene en proteínas similares a priones que pueden cambiar de forma cuando se exponen a un impulso eléctrico y que involucra a la magnetita. Se podría suponer que la magnetita y las proteínas están involucradas en un mecanismo tándem en el que los impulsos incidentes son recibidos y reformados por la magnetita nanocristalina a una forma que puede ser aceptada por las proteínas en las que se almacena la información. Dichas cadenas de cristales de nanomagnetita pueden magnetizarse fácilmente mediante un impulso eléctrico, pero no pueden mantener el magnetismo que cae a cero después de cada impulso. Por lo tanto, es probable que la magnetita no sea la sustancia en la que la información se almacene permanentemente. No es sorprendente que estos dos compuestos estables en el cerebro estén involucrados en el mantenimiento de la memoria.

### **El destino de las neuronas involucradas en el almacenamiento de memoria**

Es una ruta complicada que los impulsos eléctricos tienen que viajar desde los órganos sensoriales hasta el destino final, las neuronas donde se almacenan. Cuando los impulsos eléctricos se ven obstaculizados por las placas amiloides, se debilitarán en fuerza durante su camino. Las neuronas no funcionarán correctamente debido a varios factores como la falta de nutrientes y las alteraciones en los sistemas de señalización. Por lo tanto, la nueva información no se almacenará correctamente (memoria a corto plazo). Cuando una neurona colapsa, la membrana se rompe y este es el final de las fuerzas electromagnéticas en conexión con el sistema de señalización. En consecuencia, la cadena de magnetita no se puede magnetizar y el mecanismo de almacenamiento de memoria no funcionará. La membrana que protege la cadena de magnetita también se romperá y los cristales de magnetita se liberarán. Podría ser una conexión entre la magnetita liberada de las neuronas dañadas y el Ab que podría conducir a un grave deterioro de la red. Anteriormente Teller S, et al. (2015) han sugerido que las nanopartículas de magnetita tienen un papel más importante que el sugerido

anteriormente y pueden aportar nuevas perspectivas en la comprensión de la acción dañina de un complejo de magnetita-Ab.

### **Cambios específicos en las estructuras cerebrales :**

Los dos hallazgos fundamentales en la enfermedad de Alzheimer son un enmarañamiento de las fibrillas de la neuronas, conocido como *ovillos neurofibrilares*, y el depósito de una sustancia viscosa de tipo proteico llamada *beta-amiloide*. Estos ovillos neurofibrilares y la beta amiloide aparecen implicados en el desarrollo de la enfermedad mediante los siguientes mecanismos:

- Los *ovillos neurofibrilares* no son más que restos de *microtúbulos* dañados, y estos microtúbulos forman la estructura que permite el flujo de nutrientes a través de la neurona. Un componente fundamental de estos ovillos es una forma aberrante de la *proteína tau*, que en su forma "normal" contribuye a la formación de la estructura adecuada de los microtúbulos. En cambio, la proteína tau anómala bloquea la acción de la proteína tau sana. (Ver bibliografía reciente )

- La *beta-amiloide* , llamada también *beta-A*, es una proteína insoluble que se acumula en forma de "pegotes" llamados *placas neuríticas* , que aparecen rodeadas por los restos de ramificaciones destruidas de las neuronas afectadas. La beta-amiloide es a su vez un fragmento de la llamada *proteína precursora amiloide (APP)*, que de hecho es una proteína de gran tamaño, protectora del tejido nervioso y que parece ser degradada por determinadas enzimas y cortada en "trozos" que corresponderían a la beta-amiloide. Este proceso de degradación es controlado por determinados factores conocidos como *presenilinas*. Se ha comprobado que en algunos casos de enfermedad de Alzheimer de tipo hereditario y comienzo precoz lo que se da es una alteración genética de la APP o las presenilinas. ( Ver bibliografía reciente ).

Esto es trascendente porque la contaminación ambiental de la magnetita, Hautot D.et al, (2003) puede ser un factor de riesgo para la enfermedad de Alzheimer a través de la proteína Tau anómala

Este estudio se enfoca principalmente en la interacción de la magnetita y la microonda con la proteína tau la cual es responsable de formar marañas en las neuronas, impidiendo la comunicación entre ellas y la pérdida de memoria en los individuos.

Tau es una proteína que se encuentra en los microtúbulos celulares y que, en condiciones normales, contribuye a formar el armazón de la célula.

La interacción de la magnetita con con el campo magnético y la microonda del Smartphone produce dos efectos a largo plazo: uno es la fuerte absorción de energía en las neuronas que envejecen con el aumento de temperatura en el uso reiterativo del usuario adicto en su tiempo de vida y el otro es el torque generado por la magnetita en los axones y microtúbulos que tienden a sufrir tensión. Así, la proteína Tau adosada a los microtúbulos empieza a enredarse formando ovillos que inhiben el transporte de carga eléctrica y el intercambio de información entre neuronas. Ambos efectos podrían acelerar el proceso de Alzheimer.

### **Metodología**

Para la información general se ha revisado la literatura médica desde 2000 hasta 2018, mediante búsquedas en Internet utilizando las bibliotecas Medline y PubMed, junto con datos obtenidos de organizaciones oficiales, Ponce et al, (2014).

Las publicaciones consideradas pertinentes fueron ordenadas y analizadas.

En relación al modelo matemático analizado para obtener el calentamiento en zonas específicas del cerebro, se llevo a cabo el estudio para frecuencias electromagnéticas del orden de los GHz rango de frecuencia de los smartphones. Se empleó el modelo de diferencias finitas para predecir relaciones de absorción específica en  $Wm^{-2}$  (coeficiente SAR, de specific absorption rate). Se usaron imágenes de resonancia magnética (MRI, de magnetic resonance imaging) en cortes transversales del cerebro en dos dimensiones. El programa utilizado fue MATLAB. Los datos de las características de los tejidos de la cabeza fueron obtenidos de Torres (2003) y Ponce et al (2014).

### **La Magnetita como contaminación ambiental**

El hallazgo de cristales de magnetita en el cerebro humano ha sido uno de los descubrimientos mineralogénicos más importantes de la década de los 90, que fue investigada por J. L. Kirschvink en 1992 (Kirschvink, 1992). Mediante su trabajo clásico "Magnetite biomineralization in the human brain"- se hace referencia a la presencia de minerales de la familia de la magnetita en el cerebro humano la cual se encuentra de

forma natural como óxido de hierro. Dicho mineral es muy conocido en el mundo de la geología no sólo por sus propiedades magnéticas, sino, por ser la materia prima más rica para la obtención de hierro fundido y acero. Esta biomineralización se produce en forma natural por los alimentos, precipitándose biológicamente como parte del metabolismo del hierro. La estructura en esta forma presenta irregularidades que son de naturaleza anisotrópica. Sin embargo en el año 2016, B Maher y colaboradores encuentran nanopartículas de magnetita liberadas por combustión de vehículos automotores y por la contaminación ambiental en ciudades altamente industrializadas (Maher, 2016). En el informe, recientemente publicado en Proceedings of the National Academy of Science (PNAS) se analizaron muestras de 37 personas: 29 de ellas, contaban con una edad de entre 3 a 85 años y todas habían vivido y muerto en una zona de las más contaminadas del planeta, la Ciudad de México. Los metales naturales del cuerpo, entre ellos la magnetita, se encuentran en pequeñas proporciones y son de forma dentada. En las muestras que se analizaron se encontró una alta concentración de magnetita de combustión (millones de partículas en un gramo de tejido cerebral), teniendo una forma esférica y lisa. Este tipo de forma en una partícula de metal sólo se obtiene a partir de haber sido procesadas en motores a muy altas temperaturas. Se estima que las partículas de magnetita (200 nanómetros de diámetro) provenientes del aire contaminado pueden ingresar por vías respiratorias, la cual mediante el sistema nervioso pueden alcanzar el cortex frontal del cerebro (Gieré, 2016).

Estas partículas, conocidas como material particulado (MP), se generan a través de procesos naturales y de la actividad humana, y se emiten directamente en la atmósfera. Como resultado de la circulación atmosférica, las partículas transportadas por el aire en un entorno dado, pueden derivarse de fuentes locales y distantes, tales como lagos secos, desiertos, incendios, chimeneas, tráfico u operaciones de minería, siendo los gases más contaminantes, tales como: dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, metano, monóxido de carbono, formaldehídos, magnetita y otros aerosoles.

La magnetita es un componente abundante de la contaminación atmosférica, especialmente en el medio urbano (Maher, 2016;Gieré, 2016), donde se ha identificado como partículas de freno de abrasión en: gasóleo diésel, en el aire de las estaciones subterráneas, líneas ferroviarias, en lugares de trabajo de soldadura, y en las emisiones de los procesos de combustión industrial.

La distribución de magnetita se concentra en las meninges y el cerebro, distribuidos de forma homogénea en los lóbulos centrales, el cerebelo, los ganglios basales, el

mesencéfalo y el hipocampo que continúa generando neuronas fundamentales para los procesos de aprendizaje y memoria durante toda la vida, que se ven inhibidos por la magnetita. Estas nanopartículas se forman en cadenas lineales y se observan como racimos bajo microscopía

Aunque aún no se ha comprobado que exista una definitiva relación entre la adquisición de enfermedades como el Alzheimer y la contaminación con magnetita, existe una alta probabilidad de que las partículas más pequeñas desprendidas de la contaminación ambiental, tengan la capacidad de llegar hasta el tejido cerebral, afectando su funcionamiento y haciendo a las personas más vulnerables a este tipo de enfermedad (Pankhurst *et al.*, 2008; Information Service Extensive Bibliography on Electromagnetic Fields and Health, 1999; Adey, 1993)

En este trabajo modelamos la presencia de la proteína Tau, la cual es responsable de formar marañas en las neuronas, que impiden la comunicación entre ellas y ocasionan en los pacientes la pérdida de memoria.

### **Magnetita y su interacción con la microonda del smartphone**

Como era de esperar, el descubrimiento de la magnetita del cerebro ha hecho que la controversia sobre los efectos generados por la exposición continuada de los seres vivos a determinados campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos se abiera de nuevo, aunque desde un enfoque distinto. Está científicamente demostrado que la magnetita es un excelente material absorbente de la radiación, sobre todo entre 0,5 y 10 GHz (Hyland, 2000; Kumar *et al.*, 2015).

En el rango de frecuencias de microondas, aspectos positivos de la magnetita se observan en la terapia de hipertermia que es el proceso de tratar algunos tipos de cáncer con la aplicación de calor, elevando la temperatura de las células entre 40° a 43°C, destruyendo las células cancerosas sin dañar el tejido sano circundante. Las células cancerosas tienen típicamente diámetros de 10 a 100 micrones y absorben partículas magnéticas de menor tamaño que se inyectan al paciente en forma intencional y calibrada. El método de calentamiento por microondas y su gran absorción de energía de nanopartículas de magnetita permite aniquilar células cancerosas. Otra aplicación es por ejemplo, en Imágenes de Resonancia Magnética (IRM), donde es posible usar

nanopartículas de óxido de hierro para detectar metástasis hepáticas, ganglios linfáticos metastásicos, enfermedades inflamatorias y degenerativas [Gobbo *et al.*, 2015].

Sin embargo la absorción de microondas en el cerebro en presencia de agua y magnetita apunta en sentido contrario inhibiendo la plasticidad sináptica. Recientes publicaciones (Hyland, 2000; Kumar *et al.*, 2015), han mostrado que dicha absorción por parte de usuarios de teléfonos inteligentes se ve incrementada fuertemente en presencia de campos magnéticos externos, (cerca de líneas de alta tensión, plataformas interiores de trenes subterráneos y en general cerca de aparatos eléctricos que generan un campo magnético apreciable que interactúa con microondas de teléfonos móviles y contribuye a un aumento significativo en la tasa de absorción específica, SAR). Para este problema se plantea la necesidad de proteger al usuario con blindaje con metamateriales inserto en el aparato celular (Torres, 2017; Torres, 2006). Lógicamente la presencia de magnetita agrava aún más este problema si no se considera la protección con metamateriales. La razón es la siguiente:

La posible conexión entre el Alzheimer, la magnetita y la microonda se puede establecer de la siguiente manera: La enfermedad de Alzheimer se caracteriza por dos anomalías en el cerebro: las placas amiloideas y los enredos neurofibrilares. Las placas amiloideas, localizadas entre medio de las células nerviosas son aglomeraciones formadas por una proteína llamada beta amiloidea junto con pedazos de neuronas degeneradas y otras células. Los ovillos neurofibrilares son nudos de filamentos retorcidos que se encuentran dentro de las neuronas. El ovillo es un conjunto de filamentos que aparecen durante la división celular y que siguen a los cromosomas durante su ascenso hacia cada esfera que los atrae. Estos ovillos están compuestos casi enteramente de una proteína llamada tau. En las neuronas sanas, la proteína tau ayuda en el funcionamiento de los microtúbulos, que son parte del apoyo estructural de la célula y que distribuyen sustancias a través de la célula nerviosa. Sin embargo, en la enfermedad de Alzheimer la proteína tau es cambiada, torciéndose para convertirse en pares de filamentos helicoides que se agrupan formando enredos. Cuando esto ocurre, los microtúbulos no pueden funcionar adecuadamente y se desintegran. Este colapso del sistema de transporte de la neurona afecta la alimentación de la célula y puede dificultar la comunicación entre las neuronas causando su muerte. Se desconoce si las placas amiloideas y los enredos neurofibrilares provocan la enfermedad o si solamente son efectos secundarios del proceso de la enfermedad. Generalmente, las placas y los enredos aumentan en el cerebro a medida que avanza la enfermedad de Alzheimer. La torsión de la proteína tau puede modelarse

con el factor quiral  $\zeta$  que aparece en las ecuaciones de la absorción electromagnética del tejido cerebral (ver apéndices). En la figura 1, Se muestra gráficamente la diferencia entre neuronas normales y neuronas con ovillos neuro fibrilares que se forman debido a la interacción del campo de microonda y la magnetita alojada en el cerebro.

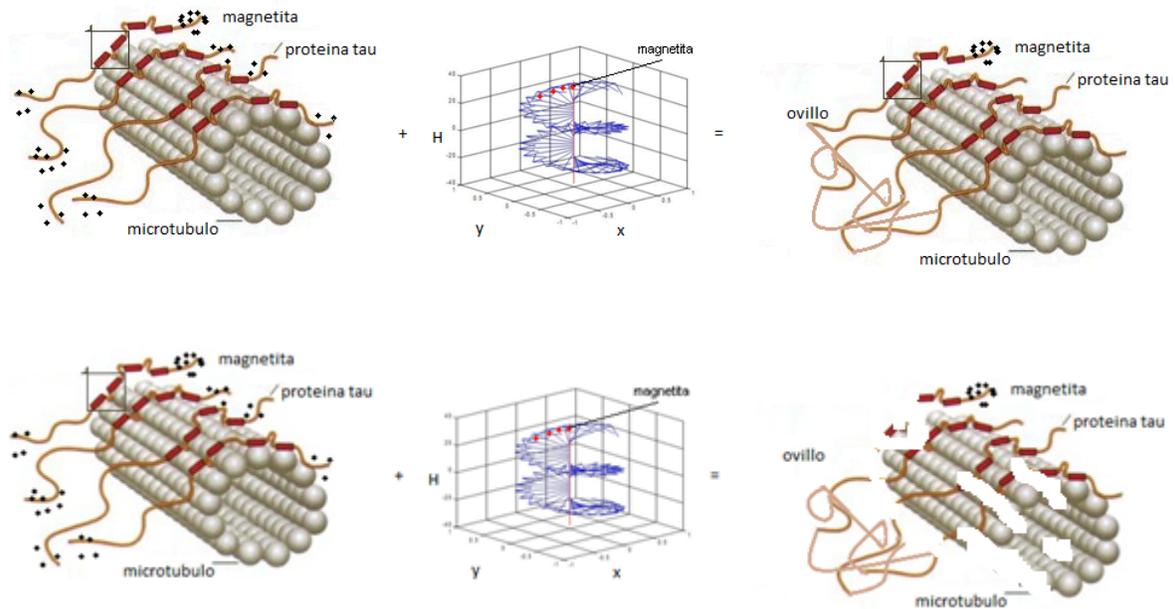


Figura 1. Esquema de neuronas normales (a la derecha en las figuras) y neuronas que al interactuar con el campo H de la microonda con el tiempo produce ovillos neurofibrilares con la proteína tau (a la izquierda).

Los **ovillos neurofibrilares** son un conglomerado anormal de proteínas compuesto por pequeñas fibrillas entrelazadas dentro de las neuronas en casos de la enfermedad de Alzheimer. Nuestra conjetura es que la producción de estos ovillos o enredos es **incrementada** por la interacción de la microonda del celular y la magnetita alojada en el cerebro inhibiendo el transporte por los microtúbulos los cuales se dividen y mueren. En la enfermedad de Alzheimer se observa una hiperfosforilación de Tau. Como consecuencia, el almacén de la neurona se altera y, con él, su forma. Dado que la forma determina la sinapsis, su alteración comporta

la pérdida de conexiones neuronales. Sin embargo esto no es eso lo único que ocurre. En determinadas circunstancias la proteína puede autoagregarse, dando lugar a los ovillos neurofibrilares.

Otros riesgos del uso de teléfonos celulares incluyen la salud reproductiva, la infertilidad masculina, y trastornos neurológicos (por ejemplo, deterioro de las funciones cognitivas, dolores de cabeza y migrañas y trastorno por déficit de atención / hiperactividad) [ver referencias en (Torres, 2006)]. Por lo tanto, la mayoría de los consumidores están en la oscuridad acerca de las precauciones que pueden tomar para mantener su exposición a la radiación de microondas por debajo del límite legal.

Por otro lado, las propiedades magnéticas de la magnetita dependen fuertemente del tamaño de partícula. Cuando las partículas de  $Fe_3O_4$  se reducen a escala nanométrica sus propiedades magnéticas decaen, en consecuencia, las nanopartículas exhiben un comportamiento denominado superparamagnético. Dicho comportamiento se produce cuando la energía térmica de estas partículas puede superar ciertas fuerzas de unión, ocasionando que los momentos magnéticos atómicos fluctúen al azar. Así, las partículas superparamagnéticas adquieren cierta magnetización cuando se aplica un campo magnético externo, pero, debido a su energía térmica, dicha magnetización se pierde cuando éste último es retirado (Kumar *et al.*, 2015).

En este trabajo se considera este mecanismo de MP de nanopartículas de magnetita derivadas de la contaminación del aire que se transfiere al cerebro de usuarios de teléfono celular que combinada con el campo magnético y las microondas hace aumentar fuertemente el SAR, superando los límites de exposición establecidos. Una manera de reducir el impacto del SAR en usuarios de teléfonos inteligentes que utilizan asiduamente el móvil es blindarlo con una placa de metamaterial (Torres, 2017; Torres, 2006). Previamente conjeturamos que de la proteína Tau tiene un papel relevante en el transporte de carga eléctrica a través de las neuronas. La disfunción en el metabolismo tau subyace a varios trastornos neurológicos que conducen a la demencia. En el cerebro humano adulto, dos isoformas tau se encuentran en cantidades iguales, mientras que los cambios en dicho equilibrio se pueden asociar con enfermedades neurodegenerativas La función de la proteína Tau está relacionada justamente con su unión a los microtúbulos, debido a que el pegado contribuye a la estabilidad y permite el movimiento de cargas sobre ellos, ya sea desde el soma hacia el axón o viceversa

Las neuronas tienen en general una forma muy polarizada con un cuerpo (o soma), dendritas y una larga prolongación llamada axón como se muestra en la figura 2.

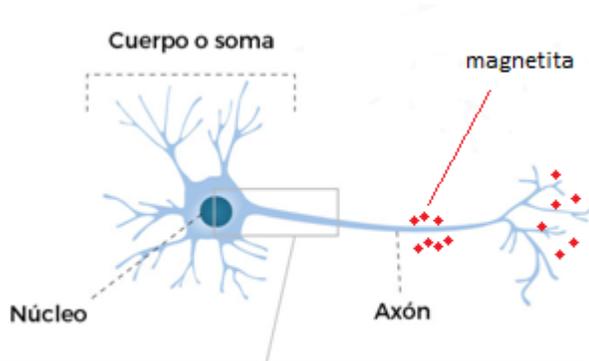


Figura 2. Esquema de una neurona contaminada con partículas de magnetita

La función de la proteína Tau está relacionada justamente con su unión a los microtubulos, debido a que el pegado contribuye a la estabilidad y permite el movimiento de cargas sobre ellos, ya sea desde el soma hacia el axón o viceversa

En el soma se sintetizan las proteínas, que después son trasladadas al axón para poder ser usadas en la transmisión del impulso nervioso. Para llegar, se desplazan sobre un andamiaje constituido por unas estructuras tubulares que forman una especie de vía, denominadas microtúbulos, por la que se mueve el transporte neuronal. La magnetita de menor tamaño depositada en los axones ante la presencia de ondas de microondas adquiere una torsión que puede modelarse a través de la quiralidad inducida en el sistema tal como que se explica en los apéndices. Debido a la quiralidad inducida filamentos helicoidales pueden formarse y ser una evidencia concreta de una relación directa entre el desequilibrio de isoformas de tau y los defectos en el transporte axonal. Esto induciría un metabolismo anormal con implicaciones importantes en la neurodegeneración.

En la figura 3 se observa un microtubulo curvado por la onda H del campo de la microonda debido a la influencia de la magnetita y del campo magnético externo.

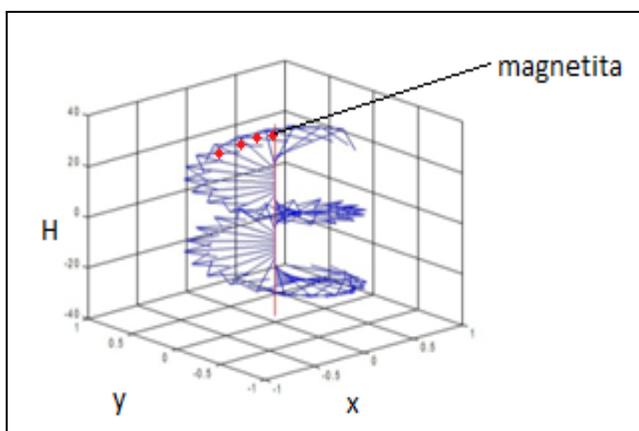


Figura 3. Microtubulo curvado por la magnetita debido al torque producido por el momento magnético de la magnetita interactuando con el campo magnético externo.

Como era de esperar, el descubrimiento de la magnetita en el cerebro ha hecho que la controversia sobre los efectos generados por la exposición continuada de los seres vivos a determinados campos electromagnéticos se abriera de nuevo, aunque desde un enfoque distinto. Está científicamente demostrado que la magnetita es un excelente material absorbente de la radiación, sobre todo entre 0,5 y 10 GHz (Hautot *et al.*, 2006; Chen *et al.*, 2006).

En el rango de frecuencias de microondas, aspectos positivos de la magnetita se observan en la terapia de hipertermia que es el proceso de tratar algunos tipos de cáncer con la aplicación de calor, elevando la temperatura de las células entre 40° a 43°C, destruyendo las células cancerosas sin dañar el tejido sano circundante. Las células cancerosas tienen típicamente diámetros de 10 a 100 micrones y absorben partículas magnéticas de menor tamaño que se inyectan al paciente en forma intencional y calibrada. El método de calentamiento por microondas y su gran absorción de energía de nanopartículas de magnetita permite aniquilar células cancerosas. Otra aplicación es por ejemplo, en Imágenes de Resonancia Magnética (IRM), donde es posible usar nanopartículas de óxido de hierro para detectar metástasis hepáticas, ganglios linfáticos metastásicos, enfermedades inflamatorias y degenerativas (Chen *et al.*, 2006).

Sin embargo el calentamiento por microondas en el cerebro de los usuarios que usan reiteradamente y diariamente un teléfono inteligente puede conducir con el tiempo a enfermedades neurodegenerativas si partículas de magnetita se localizan en determinadas zonas del cerebro.

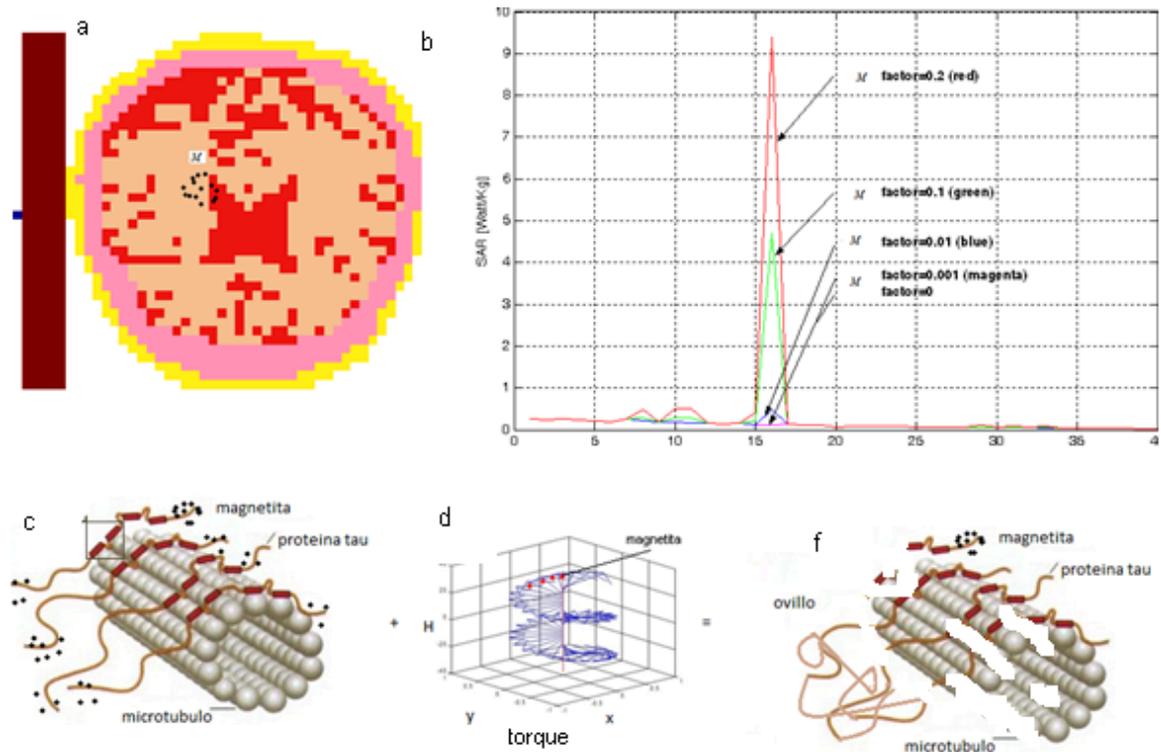


Figura 4. La figura a) ilustra un corte típico del cerebro (señalando con puntos negros la zona donde se localizan las partículas de magnetita). La figura b) indica el valor máximo del SAR en W/kg en la zona donde se localiza la magnetita. La figura c) ilustra un microtúbulo rodeado por fibras de proteína tau y partículas de magnetita que bajo la acción del torque del campo magnético d) la proteína tau forma ovillos y no protege al microtúbulo que se separa como se observa en la figura f).

En la región donde la magnetita se encuentra localizada, la absorción de energía (SAR) es varias veces el valor nominal del SAR del orden que es del 0.5 W/kg en teléfonos inteligentes. Este calentamiento reiterado se traduce en aumentos de temperatura que envejecen las fibras de proteína tau más rápidamente y que bajo la acción del torque magnético terminan por dividirse dejando de cumplir la función primordial de conectar un axón a otro. La función de la proteína Tau está relacionada justamente con su unión a los microtúbulos, debido a que el pegado contribuye a la estabilidad y permite el movimiento de cargas sobre ellos, ya sea desde el soma hacia el axón o viceversa. Los mecanismos de las microondas y el campo magnético afectan y producen desbalance entre las formas

de Tau, que pueden explicar por qué frente a ciertas mutaciones genéticas se desencadena el proceso neurodegenerativo del Alzheimer.

## **Conclusiones**

### **Apéndice A: Modelo bioplasmático quiral.**

La corteza cerebral es una fina lámina de neuronas interconectadas que recubre la superficie irregular de los hemisferios cerebrales. El cuerpo neuronal se encuentra rodeado de una membrana de aproximadamente 7,5 nm de grosor, llamada membrana plasmática, que encierra una sustancia rica en agua llamada citoplasma. El citoplasma es el material comprendido entre la membrana plasmática y la envoltura nuclear y presenta una serie de sistemas membranosos que constituyen organelos conectados entre sí.

La forma de la célula es mantenida por proteínas fibrosas que se encuentran en el citoplasma y que en conjunto conforman el citoesqueleto, el cual es una estructura tridimensional dinámica que llena el citoplasma y se presenta transparente y por lo tanto invisible. Tiene por función estabilizar la estructura de la célula, organizar el citoplasma con todos sus órganos y producir movimiento. Está formado por diversos tipos de filamentos, entre los cuales se encuentran los filamentos de actina y los microtúbulos. La actina es una proteína que se asocia espontáneamente entre sí para formar un polímero lineal y helicoidal. Estos filamentos tienen importancia en el movimiento de la célula y en la forma celular. Los microtúbulos son cilindros huecos proteicos de aproximadamente 25 nm de diámetro externo y 14 nm de diámetro interno. Están formados por dos subunidades de proteínas denominadas tubulinas (dímeros)  $\alpha$  y  $\beta$ , ensambladas helicoidalmente en 13 filas y por proteínas asociadas a los microtúbulos (ver Figura A.1). La quiralidad influye en el desequilibrio entre las tubulinas.

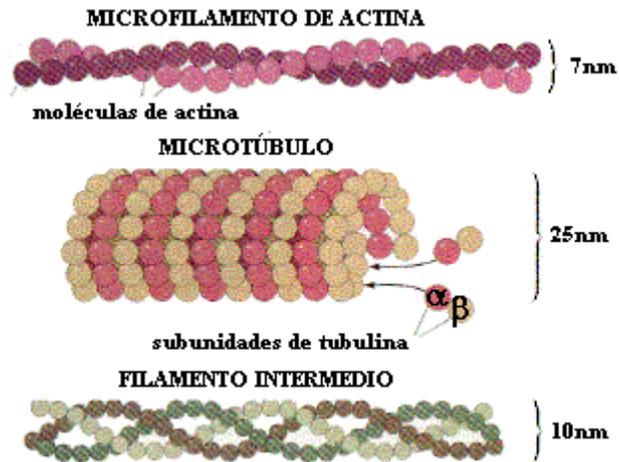


Figura A.1. Constitución de los microtubulos en tubulinas  $\alpha$  y  $\beta$ .

En su estructura se hallan dos subunidades de proteínas denominadas tubulinas (dímeros)  $\alpha$  y  $\beta$ . Los dímeros  $\alpha$  y  $\beta$  pueden existir en dos configuraciones geométricas diferentes, que corresponden a los estados de polarización eléctrica del dímero, cuya estructura helicoidal puede ser a la derecha o hacia la izquierda. Entonces, como el medio proteínico es quiral por naturaleza, una onda electromagnética en ese medio necesariamente rotará su plano de polarización de acuerdo a la estructura biológica dominante. Cálculos preliminares demuestran que las frecuencias propias de este medio están entre 1.0 y 100 GHz (radiación microondas). En base a lo anterior consideramos que el tejido cerebral es un bioplasma quiral. Por ello nuestro modelo surge de aplicar las ecuaciones de Maxwell a conjunto de microtúbulos y moléculas helicoidales insertas en un sustrato de bioplasma.

En este sustrato la morfología de una neurona está determinada por su andamiaje citoesquelético. Por lo tanto, las proteínas que se asocian con los principales componentes del citoesqueleto, como los microtúbulos, tienen una gran influencia tanto en la morfología como en la fisiología de las neuronas. Tau es una proteína asociada a microtúbulos que estabiliza los microtúbulos neuronales en condiciones fisiológicas normales. Sin embargo, en ciertas situaciones patológicas, la proteína tau puede sufrir modificaciones, principalmente a través de la fosforilación y la torsión por ondas o envejecimiento por calentamiento paulatino, que pueden resultar en la generación de ovillos que no permiten la comunicación entre neuronas y de agregados aberrantes que son tóxicos para las neuronas. Este proceso ocurre en una serie de trastornos neurológicos conocidos colectivamente la enfermedad de Alzheimer. El propósito de este

apéndice revisión es definir el papel de la proteína tau en condiciones fisiológicas anormales producto de la torsión y la temperatura.

### **Apéndice B: Rotación magnetoóptica de ondas electromagnéticas en plasma neuronal bianisotrópico**

En este apéndice; proponemos un estudio de los fenómenos de polarización rotatoria que explican el problema de la propagación de ondas electromagnéticas en dirección longitudinal a través del plasma neuronal y su comportamiento en presencia de magnetita, quiralidad y campo magnético estático. Esto lleva a estudiar las propiedades electromagnéticas de medios bianotrópicos o quirales con estructuras magnéticas intrínsecas que tienen un interés especial en la absorción de energía en las neuronas y en el torque generado por la magnetita en los axones que tienden a enredarse formando ovillos que inhiben el transporte de carga eléctrica y de información de una neurona a la que sigue.

Un medio de plasma quiral es un medio macroscópicamente continuo compuesto por objetos quirales equivalentes, distribuidos uniformemente y orientados aleatoriamente. Un objeto quiral es tridimensional y no se puede superponer a su imagen especular por traslación y rotación. Un objeto quiral tiene la propiedad de lateralidad: debe ser zurdo o diestro. Una cantidad igual de objetos quirales diestros y zurdos causaría que la muestra fuera racémica y la ausencia de destreza en conjunto conformaría una muestra aquiral. Algunos objetos quirales son, naturalmente, la imagen especular de otros objetos quirales (ver Figura 1B). Entonces, dijimos que eran enantiomorfos el uno del otro. Si un objeto quiral es zurdo, su enantiomorfo es diestro y vice versa (ver figura 1A).

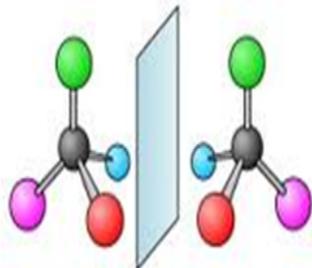


Figura 1B: algunos objetos quirales son, naturalmente, la imagen especular de otros objetos quirales (colocar continuidad en la numeración).

En los medios quirales no es suficiente describirlo por  $\varepsilon$ ,  $\mu$  como un medio dieléctrico que permite una velocidad de fase simple, sino que necesitamos un parámetro adicional llamado  $\xi$  parámetro para describir su mano (positivo para diestro y negativo para siniestro).

Para la propagación paralela al campo magnético de polarización  $(\vec{k} // \vec{B}_0)$ , es decir,  $\theta = 0$  se obtiene en este caso el sistema de ecuaciones: (Torres, 2017).

$$\begin{cases} (n^2 - \mu_R)H_R = 0 \\ (n^2 - \mu_L)H_L = 0 \\ \mu_3 \left(1 - \frac{\xi^2}{\mu_3}\right)H_z = 0 \end{cases} \quad (1B)$$

Donde  $n$  es el índice de refracción, del sistema (1), resolvemos la ecuación

$$\mu_3 \left(1 - \frac{\xi^2}{\mu_3}\right)H_z = 0$$

y obtenemos el modo de oscilaciones longitudinales de plasma de

electrones modificado por el parámetro quiral  $\xi$  y para este modo no hay propagación de onda a lo largo del campo magnético (Hautot et al., 2003). La solución de otras dos ecuaciones,  $H_{R,L} = H_x \pm iH_y$ , da las siguientes expresiones:

$$k_R = \frac{\xi\omega}{c} \pm \frac{\omega}{c} \sqrt{\mu_1 + \mu_2} \quad (2B)$$

$$k_L = -\frac{\xi\omega}{c} \pm \frac{\omega}{c} \sqrt{\mu_1 - \mu_2} \quad (3B)$$

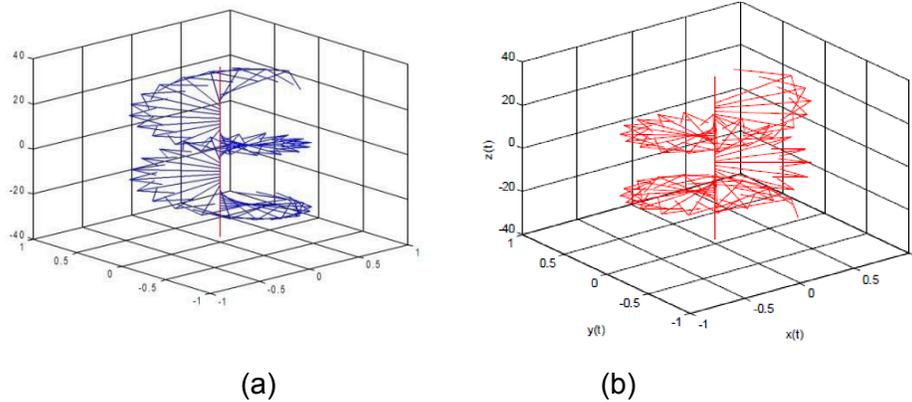


Figura 2B: (a) polarización circular de la mano derecha (RHCP),  $H_R$  (b) polarización circular de la mano izquierda (LHCP),  $H_L$  .(idem)

Hay dos sentidos de polarización circular, 2 polarizaciones circulares derechas (RHCP) y 2 polarizaciones circulares izquierdas (LHCP). La propiedad de chiralidad describe la rotación del vector del campo magnético (en el sentido de las agujas del reloj o en el sentido contrario a las agujas del reloj) con respecto a la dirección de propagación, como se muestra en la figura 2B.

### Apéndice C Torsión y Torque en microtúbulos

Investigaciones recientes (Torres, 2017). demuestran la presencia de magnetita biogénica en el tejido cerebral, cuya interacción puede ser modelada mediante modelos de transducción ferromagnética. Estos modelos se han propuesto para analizar los bioefectos de la radiación de teléfonos celulares. La magnetita es un óxido ferromagnético el cual puede acoplarse fuertemente a campos electromagnéticos externos, debido a que posee un momento magnético permanente. Este material se descubrió por primera vez en el tejido del cerebro humano en 1992 y de ahí en adelante se ha considerado tener presente capas de hierro en varias partes del cerebro, particularmente en las meninges. La transducción de las señales de los teléfonos celulares a través de la magnetita biogénica se pueden realizar de dos maneras (i) activación/interrupción mecánica del proceso celular normal a causa de los pulsos de corriente de la batería a bajas frecuencias; (ii) suspensión local de energía debido a la resonancia ferromagnética. La teoría de la resonancia ferromagnética, fue descrita por Kirschvink (Kirschvink *et al.*, 1992)

Para el caso de la activación magnética de canales de iones, el campo magnético a bajas frecuencias generado por la batería, a 2 Hz, ejerce un torque, a nanoescala, de las partículas de magnetita acopladas a la membrana celular ya sea directamente o indirectamente mediante el citoesqueleto adjunto. Este torque produce una deformación mecánica de la membrana la cual activa los canales de iones mecanosensitivos.

Para el modelo de resonancia ferromagnética, la señal de radiofrecuencia esta acoplada al vector de magnetización produciendo la resonancia, siempre que el tamaño y forma de la partícula sea consistente para que la resonancia se produzca a la frecuencia de transmisión. Esta resonancia excita las vibraciones de la estructura cristalina y podría interrumpir el funcionamiento normal de las células dependiendo de la localización de la magnetita con la célula.

La transducción ferromagnética de las emisiones del teléfono celular, por magnetita biogénica, dependerá de la obstaculización magnética de partículas de magnetita. Las partículas magnéticamente bloqueadas cuando hay volumen suficiente para apoderarse del vector de magnetización estable. Esto depende de la energía de magnetización de una partícula que supere la agitación térmica la cual actuará cambiando el vector de magnetización en un solo grupo de partículas.

La importancia de la presencia de una obstaculización de magnetita biogénica, en el tejido del cerebro humano, es que estas partículas pueden mecánicamente transducir campos magnéticos cuando el campo aplicado se encuentra en un ángulo con el vector de magnetización de la partícula. En este caso, la partícula tendrá un torque de acuerdo a la siguiente ecuación (Torres, 2017).

$$\tau = \mu(1 + k\xi)B\sin\theta \quad (1C)$$

donde:

$\tau$ : torque producido

$\mu$ : permeabilidad magnética

B: densidad de flujo producido por la corriente de la batería o por campos externos.

$k\xi$  : factor quiral del grupo de microtúbulos.

Hay un torque máximo cuando el ángulo  $\theta = \pi / 2$

En la presencia de un pulso, o campo magnético alternado, las partículas en contacto con canales sensitivos de iones en el cerebro, puede causar deformación de la membrana celular, activando estos canales de iones. La interrupción del funcionamiento normal de

los canales de iones podría llevar a consecuencias fisiológicas, como descargas neuronales inducidas. En el caso de los teléfonos celulares, los pulsos de campo magnético podría ser el resultado de la baja frecuencia de la batería el cual trasmite a la estación base cuando el celular no se utiliza para hablar.

Aunque ambas teorías presentan mecanismos plausibles y probables para producir bioefectos desde los teléfonos celulares, ninguno de estos ha sido examinado experimentalmente hasta ahora.

## Referencias

Adey W.R. (1993) *Biological effects of electromagnetic fields*. J Cell, Biochem 51 pp. 410-416.

Bridlewood Electromagnetic Fields (EMFs) Information Service Extensive Bibliography on Electromagnetic Fields and Health, Compiled by: Richard W. Woodley, <https://www.feb.se/Bridlewood/JOURNAL.HTM.1999>

Chen Y., Shah N., Huggins F.E., Huffman G.P. (2006) *Microanalysis of ambient particles from Lexington, KY, by electron microscopy*. Atmos Environ 40(4) pp.651–663.

Gieré R. (2016) *Magnetite in the Human Body: Biogenic vs. Anthropogenic*. PNAS 113 pp.11986–11987.

Gobbo O.(2015) *Magnetic Nanoparticles in Cancer Theranostics*. Theranostics, vol 5, Issue 11, pp. 1249.1263

- Hautot D., Pankhurst Q.A., Khan N., Dobson J. (2003) *Preliminary evaluation of nanoscale biogenic magnetite in Alzheimer's disease brain tissue*. Proc Biol Sci 270 pp. 62–64.
- Hyland G. (2000) *Physics and biology of mobile telephony*. The Lancet 356 pp. 1833-1836.
- Kirschvink JL, Kobayashi-Kirschvink A, Woodford BJ (1992) *Magnetic biomineralization in the human brain*. Proc Natl Acad Sci USA 89: 7683-7687.
- Kumar R. (2015) *Synthesis of magnetite nanoparticles from mineral waste*. JF Alloys Compd 645 pp.398-404.
- Maher B.A. (2016) *Magnetite pollution nanoparticles in the human brain*. Proc Natl Acad Sci USA 113 (39) pp. 10797–10801.
- Pankhurst Q., Hautot D., Khan N., Dobson J. (2008) *Increased levels of magnetic iron compounds in Alzheimer's disease*. J Alzheimers Dis 13(1) pp. 49–52.
- Torres-Silva (2017) *Microwave absorption in a cell phone shielded by metamaterials for personal protection*. Dyna, New Technologies DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/NT8407>.
- Torres-Silva H. (2006) *FDTD chiral brain tissue model for specific absorption rate determination under radiation from mobile phones at 900 and 1800 MH*. Physics in Medicine and Biology, Volume 51, Number 7. pp 1661-72.
- Torres-Silva H. (2017) *Absorción de microondas en usuarios de teléfonos inteligentes*. Editorial Académica Española, **ISBN: 978-620-2-24637-8**
- De la Fuente-Rocha J, *Taupathy in Alzheimer's disease*. Med Int Méx. 2017 July;33(4):515-521.
- García T, Jay D. *Fosforilación de tau y enfermedad de Alzheimer*. Gac Med Mex 2004;140(3): 329-333.

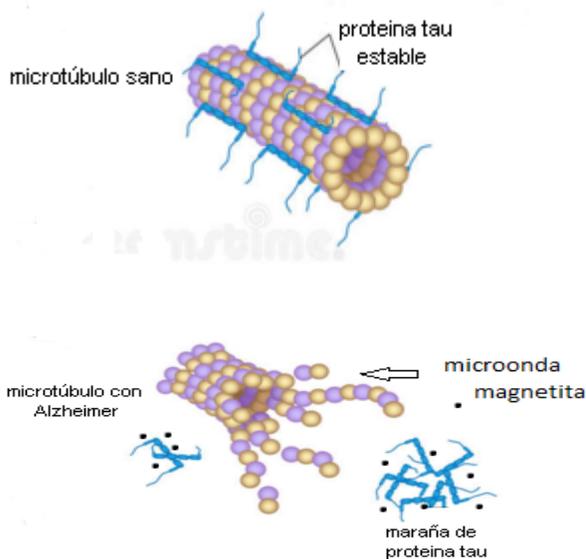
Gra Menéndez S, Padrón Pérez N, Llibre Rodríguez J. *Péptido beta amiloide, proteína Tau y enfermedad de Alzheimer*. Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas 2002;21(4):253-261.

Tracy TE, Sohn PD, Minami SS, Wang C, Won Min S, et al. (2016) *Acetylated tau obstructs KIBRA-mediated signaling in synaptic plasticity and promotes tauopathy-related memory loss*. Neuron 90: 245-260.

Teller S, Tahirbegi IS, Mir M, Samitier J, Soriano J, et al. (2015) *Magnetite-amyloid- $\beta$  deteriorates activity and functional organization in an in vitro model for Alzheimer's disease*. Scientific Reports 5: 17261.

Størmer FC, Bakketeig LS (2015) *Is there a connection between Alzheimer's disease, magnetite and prions?* Austin J Clin Neurol 2: 1044-1046.

Størmer FC, Alfsen EM (2015) *Is a combination of magnetite and prions involved in memory storage in the human brain?* Med Hypotheses 85: 111.



## Summary

Environmental pollution is a global problem, which puts the health of the population at risk. There are laws and treaties, both nationally and internationally, that aim to control the

emission of polluting substances, especially in highly populated cities that suffer from polluting gases and urban traffic waste. Large Latin American cities such as Mexico City, Lima, Santiago de Chile and European cities such as Madrid in the cold season are affected by the appearance of so-called pollution berets, activating the respective antipollution protocols. A latent and little studied danger is the influence of magnetite, that is generated in the combustion of vehicles as a particulate material of 2.5-10 microns., Which can be deposited in the brain. It is common knowledge that smaller particles such as PM 2.5 (particles smaller than 2.5 microns) are the most harmful due to their ability to penetrate the respiratory tract. This article points out the need to study magnetite as a pollutant and its influence on the earliest appearance of Alzheimer's disease, EA, in smart phone users. These contaminant particles combined with the magnetic field and microwaves of the smart phone strongly increase the SAR, exceeding the established exposure limits.

## **Resumo**

A poluição ambiental é um problema global, que coloca em risco a saúde da população. Existem leis e tratados, tanto nacionais como internacionais, que visam controlar a emissão de substâncias poluidoras, especialmente em cidades altamente populosas que sofrem com gases poluentes e resíduos do trânsito urbano. Grandes cidades latino-americanas, como Cidade do México, Lima, Santiago do Chile e cidades europeias como Madrid no tempo frio afetou o aparecimento das chamadas boinas poluição, ativando os respectivos protocolos anti-poluição.

Um perigo latente e pouco estudado é a influência da magnetita, que é gerada na combustão de veículos como um material particulado de 2,5-10 microns, que pode ser depositado no cérebro. É de conhecimento comum que partículas menores como o PM 2.5 (partículas menores que 2,5 microns) são as mais danosas devido à sua capacidade de penetrar no trato respiratório. Este artigo aponta a necessidade de estudar a magnetita como poluente e sua influência no aparecimento precoce da doença de Alzheimer, EA, em usuários de telefones inteligentes. Estas partículas poluentes combinadas com o campo magnético e as microondas do smartphone aumentam fortemente a SAR, excedendo os limites de exposição estabelecidos.

