

El cerebro del meditador de atención plena: de la prospección a la tarea

The Mindfulness Meditator's Brain: From Prospecting to Task

Recibido: 05/04/2021 | Aceptado: 27/07/2021

MARÍA ANTONIA PELÁEZ LÓPEZ

Estudiante de Medicina. Miembro del Semillero de Innovadores en Salud, ISSEM
PUJ Cali. Facultad de Ciencias de la Salud, Pontificia Universidad Javeriana Cali,
Colombia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9214-8998>

JUAN JOSÉ LOZANO ZULUAGA

Estudiante de Medicina. Miembro del Semillero de Innovadores en Salud, ISSEM
PUJ Cali. Facultad de Ciencias de la Salud, Pontificia Universidad Javeriana Cali,
Colombia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7774-0873>

MARÍA JOSÉ NARVÁEZ ANDRADE

Estudiante de Medicina. Miembro del Semillero de Innovadores en Salud, ISSEM
PUJ Cali. Facultad de Ciencias de la Salud, Pontificia Universidad Javeriana Cali,
Colombia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9156-1422>

LINA VANESSA BECERRA HERNÁNDEZ^a

Médica. Magíster en Ciencias Biomédicas. Doctora en Ciencias Biomédicas con
énfasis en Neurociencias, Facultad de Ciencias de la Salud, Pontificia Universidad
Javeriana, Cali, Colombia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4468-6716>

^aAutora de correspondencia:
linahernandez@javerianacali.edu.co

Cómo citar: Peláez López MA, Lozano Zuluaga JJ, Narváez Andrade MJ, Becerra Hernández LV. El cerebro del meditador de atención plena: de la prospección a la tarea. Univ. Med. 2021;62(4). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.umed62-4.brai>

RESUMEN

La meditación de atención plena es una técnica ampliamente usada en la actualidad, con origen en la cultura budista, que permite desarrollar la habilidad de dirigir la atención sin prejuicios a las experiencias del momento presente, tratando de disminuir el procesamiento autorreferencial narrativo o de experiencias y la prospección en el futuro. Los estudios en el área han demostrado la utilidad de la meditación de atención plena para aumentar el bienestar psicológico y físico en términos generales, pero los mecanismos neurofisiológicos asociadas a estos cambios aún están sin dilucidarse. En la presente revisión se recopila información de estudios que han utilizado neuroimagen y electroencefalograma para valorar los mismos, con énfasis en aquellos estudios que permiten discutir la propuesta de la meditación de atención plena como un estímulo que disminuye el procesamiento de tareas autorreferenciales y favorece los estados de tareas cognitivas y tareas asociativas sensoriales, incluida la interocepción. Estos estudios evidencian cambios estructurales y funcionales en sectores como corteza prefrontal, ínsula, el hipocampo, el giro cingulo, la corteza visual primaria y el estriado, que son discutidos en este artículo a la luz del conocimiento actual.

Palabras clave

meditación de atención plena; autorreferencia; prospección; funciones ejecutivas; procesamiento sensorial; neuroimagen; electroencefalografía.

ABSTRACT

Mindfulness meditation is a technique widely used today, originating in Buddhist culture, which allows developing the ability to direct attention

without prejudice to the experiences of the present moment, trying to reduce narrative or experience self-referential processing and prospecting in the future. Studies in the area have shown the usefulness of mindfulness meditation to increase psychological and physical well-being in general terms, but the neurophysiological mechanisms associated with these changes remain to be elucidated. In this review, information is collected from studies that have used neuroimaging and electroencephalography to assess them, with emphasis on those studies that allow discussing the proposal of mindfulness meditation as a stimulus that decreases the processing of self-referential tasks and favors states of cognitive tasks and sensory associative tasks, including interoception. These studies show structural and functional changes in sectors such as prefrontal cortex, insula, hippocampus, cingulate gyrus, primary visual cortex and striatum, which are discussed in this article in the light of current knowledge.

Keywords

mindfulness meditation; self-referral; prospecting; executive functions; sensory processing; neuroimaging; electroencephalography.

La meditación incluye diversas prácticas de entrenamiento mental cuyo objetivo es mejorar las capacidades psicológicas centrales de un individuo, principalmente en los ejes atencional y emocional (1). Dentro de estas prácticas, se ha descrito la meditación de atención plena o *mindfulness*, como aquella que desarrolla la habilidad de dirigir la atención sin prejuicios a las experiencias del momento presente (2).

Esta práctica tiene orígenes en la cultura budista, y en idioma pali, *mindfulness* traduce *Vipassana bhavana*, que significa “cosechar la conciencia interior” (3). Fue introducida en occidente por Jon Kabat-Zinn, quien comenzó a enseñar *mindfulness* en 1979 en un hospital asociado a la Universidad de Massachusetts. Kabat-Zinn implementó la técnica en un programa para la relajación y la reducción del estrés, y desde entonces se convirtió en un promotor de sus usos médicos y de la investigación científica alrededor de esta (4,5).

Para esta práctica se proponen como ejes fundamentales la atención en el aquí y en el ahora, y el no juzgar los pensamientos que lleguen a nuestra mente: simplemente apreciarlos, aceptarlos y dejarlos fluir. Se plantea

que el objetivo es aumentar la conciencia interior y que esta tenga como fundamento el momento presente, para no permitir que situaciones del pasado o del futuro (autorreferencia o proyección) nos perturben de forma excesiva. Metodológicamente, la meditación de atención plena puede incluir la observación detallada de imágenes, sonidos, sensaciones táctiles y propioceptivas, sensaciones viscerales, así como la atención sobre pensamientos o sentimientos con una disminución de la carga afectiva hacia ellos y sin quedarse totalmente concentrado en ellos, sino en una especie de devenir frecuente de ideas que se dejan pasar (4,6).

Los metanálisis más recientes han demostrado la utilidad de la meditación de atención plena para aumentar el bienestar psicológico y físico en adultos sanos y en entornos específicos, como el lugar de trabajo y los ambientes académicos (7,8,9). Este mismo tipo de estudios confirma la eficacia del *mindfulness* en el contexto terapéutico del cáncer, sobre todo en el tratamiento del cáncer de mama y de algunas enfermedades crónicas no transmisibles como la hipertensión, la diabetes y la artritis reumatoide. Sin embargo, la máxima eficacia del uso de la meditación de atención plena como tratamiento se ha encontrado en la depresión recurrente, lo que ha llevado a que se use como manejo coadyuvante en contextos similares, como dolor crónico y adicción a sustancias (10).

Más de 300 millones de personas en el mundo sufren de depresión, y esta es la principal causa de discapacidad. Esta patología constituye un problema de salud pública en nuestro medio, con consecuencias que pueden llegar a ser devastadoras (suicidio, violencia interpersonal, etc.) y a generar altos costos socioeconómicos (11,12). Esto obliga a la ciencia a buscar métodos más efectivos para su manejo, cuyos cambios puedan ser reportados usando el método y las herramientas científicas, como es el caso de las técnicas meditativas.

La práctica del *mindfulness* ha despertado un gran interés en el campo de la neurociencia, la cual pretende abarcar la relación cuerpo-mente y ampliar la comprensión sobre cómo el estado mental y espiritual de un individuo

afecta directamente el bienestar psicológico y físico (1). El avance tecnológico y su aplicación en investigación ha permitido una exploración de la función cerebral *in vivo* cada vez más detallada a través de técnicas de resonancia magnética cerebral y registro electroencefalográfico, de tal manera que en las últimas dos décadas se han desarrollado numerosos estudios que buscan explicar las bases neurofisiológicas de los beneficios de la meditación de atención plena.

Desde los primeros estudios se han encontrado cambios estructurales y funcionales en el cerebro en meditadores de larga data, lo cual se ha correlacionado con un mayor control sobre sus emociones y se ha manifestado positivamente en el manejo de la ansiedad, así como en el bienestar psicológico general, efecto que se mantiene en el tiempo, aun cuando el individuo ya no se encuentre meditando formalmente (6,13). En los estudios sobre fenómenos meditativos se han visto involucradas las funciones cognitivas superiores del cerebro, como el control de la atención, la cual es una de las características adquiridas y potenciadas mediante esta técnica (14,15). También se ha notificado una mayor interocepción, es decir, una mayor percepción del estado fisiológico interno del cuerpo, que influye en una mayor sensación de bienestar en general (16).

Este artículo tuvo como objetivo llevar a cabo una revisión de tema basada en artículos seleccionados desde el 2005 hasta la fecha, usando bases de datos como Pubmed y SciELO, que permita identificar y describir los cambios estructurales y funcionales en el cerebro de las personas practicantes de la meditación de atención plena o *mindfulness*, y que permita discutir esta visión como una posible causa de cambio en el procesamiento de tareas autorreferenciales y de prospección hacia estados de tareas cognitivas y tareas asociativas sensoriales generales, especiales y viscerales.

¿Cómo el mindfulness moldea el cerebro?

La meditación de atención plena es una práctica que cultiva dos aspectos del procesamiento

mental: la conciencia de los procesos cognitivos, emocionales y somáticos (conciencia del momento presente) y la capacidad de experimentar estos procesos con una actitud no crítica y no reactiva (17). El descubrimiento de los beneficios de la meditación coincide con hallazgos neurocientíficos que muestran que el cerebro adulto todavía puede ser profundamente transformado a través de la experiencia: la ciencia de la neuroplasticidad. Esto ha despertado un gran interés científico por determinar los cambios neurológicos asociados con los procesos meditativos, tanto estructural como funcionalmente. Este artículo aborda algunos de los datos obtenidos con tres herramientas: la resonancia magnética nuclear (RMN), la resonancia magnética funcional (RMf) y el electroencefalograma (EEG).

Para empezar, en el 2005, Lazar et al. (18) publicaron un estudio que utilizó RMN y que relacionó la práctica meditativa de atención plena con cambios en la estructura cerebral. En este estudio se compararon 20 meditadores de atención plena budistas occidentales que incorporaron la práctica a su vida cotidiana: dos participantes eran profesores de meditación de tiempo completo, tres eran profesores de yoga o de meditación de tiempo parcial y el resto meditaba un promedio de una vez al día durante 40 minutos. Estos participantes fueron comparados con 15 personas que nunca habían practicado meditación. Los resultados evidenciaron un mayor grosor de la corteza prefrontal (CPF) en general (dorsolateral, medial y orbital) y de la ínsula derecha en su región anterior en el grupo de los meditadores.

La CPF humana se considera un sector fundamental para la emergencia de las llamadas *funciones mentales superiores*, como atención y aprendizaje, que incluyen las funciones ejecutivas (planificación, toma decisiones, establecimiento de metas, flexibilidad cognitiva, inhibición, etc.). Hay una diferenciación funcional y en conectividad entre las regiones dorsolateral, medial y basal de la corteza prefrontal, en que la primera es la que menor conectividad límbica recibe y la que más se ha asociado con tareas como la memoria operativa, la flexibilidad

cognitiva, la atención y la teoría de la mente; mientras que la CPF medial y basal se han asociado funcionalmente mucho más con la cognición social, el establecimiento de juicios y la toma de decisiones en contextos morales (19).

Los cambios en estos sectores se propusieron inicialmente como aquellos relacionados con la mejoría, en general, de los procesos cognitivos encontrados en los meditadores (14,15). La ínsula, por su parte, es un sector cortical que se ha asociado funcionalmente con la integración de información sensorial, límbica y autonómica, que de forma común se describe como la corteza interoceptiva (20,21). La ínsula cuenta con varias regiones funcionales descritas en diferentes estudios y coherentes con su gradiente citoarquitectónico y con su conectividad. Se destaca la descripción del metanálisis de datos de neuroimagen funcional de Kurth et al. (22), en la cual se encontraron cuatro regiones funcionales distintas dentro de la ínsula. Estos autores describieron la parte anteroinferior de la ínsula como asociada con procesos socioemocionales: la parte anterior-superior con procesos cognitivos, un área sensorial-química en la parte media y una zona sensoriomotora en la parte posterior, con considerable superposición entre áreas funcionales, especialmente en la parte media de la ínsula. Según esto, los cambios documentados en resonancia de meditadores en el sector anteroinferior de la ínsula se correlacionaron inicialmente con la mejoría en atención e introspección y se ha propuesto que influyen en el impacto autonómico que tienen los estados emocionales sobre el cuerpo, porque reducen sus efectos deletéreos.

Por otro lado, en un estudio transversal realizado en el 2013 se analizaron imágenes de RMN de 30 meditadores de larga data y 30 controles. En estas imágenes las formaciones del hipocampo se trazaron manualmente y se calcularon los volúmenes tanto del hipocampo izquierdo como del derecho, de tal manera que para determinar la morfología de la superficie se midió desde el núcleo del hipocampo hasta puntos de la superficie de este. Se concluyó que los volúmenes hipocampales eran mayores de forma significativa en los meditadores que en

los controles de forma bilateral, y esto era más notorio en el hipocampo izquierdo. Además de los volúmenes, las distancias radiales también fueron mayores en los meditadores, con hasta un 15 % de diferencia, lo que mostró una mayor diferencia también en la cabeza del hipocampo izquierdo. Vale la pena anotar que, aunque ambos hipocampos han sido vinculados con la generación de mapas cognitivos que obedecen a una lectura del contexto espacial y social, hay datos que sugieren una asimetría funcional relativa, en la cual el hipocampo izquierdo se ha asociado más fuertemente con los elementos episódicos de la memoria y el derecho con los visuoespaciales. Estos cambios podrían sustentar un efecto positivo de la meditación de atención plena sobre el aprendizaje y, en general, sobre las habilidades cognitivas (23).

Estos no son los únicos estudios que refieren cambios en la ínsula, la CPF y el hipocampo que estén correlacionados con la meditación de atención plena. En un artículo realizado en el 2012 se mencionó que la práctica de la meditación se asoció con cambios en la estructura y el funcionamiento del cerebro, lo cual se evidenció mediante imágenes que mostraron específicamente una mayor concentración de sustancia gris en hipocampo e ínsula anterior derecha (20). Así mismo, usando morfometría basada en vóxeles (MBV), otro estudio detectó una mayor concentración de sustancia gris en el hipocampo derecho en meditadores, en comparación con los controles (24). Un segundo estudio que utilizó MBV investigó imágenes cerebrales de RMN de 20 practicantes de *mindfulness (vipassana)* con práctica media de 8,6 años (2 horas diarias), y se obtuvo como resultado que los meditadores presentaban un mayor volumen de sustancia gris en la región anterior de la ínsula derecha, la cual hemos mencionado que se encuentra involucrada en los procesos de conciencia interoceptiva, reconocimiento de estados fisiológicos asociados a emoción y empatía (23,25).

En otro estudio que se realizó en el 2020 se escaneó a un grupo de 38 jóvenes en las edades de 16,48 años \pm 1,29 años, antes de participar en un entrenamiento de meditación de

12 semanas y después de este. Posteriormente, con MBV se evaluaron los cambios en el volumen de la sustancia gris y los sujetos mostraron una disminución significativa de este volumen en la ínsula posterior izquierda (implicada en tareas sensoriomotoras) y, en menor medida, en el tálamo izquierdo (centro de relevo de información hacia la corteza cerebral) y el putamen izquierdo (vinculado al control de funciones sensorio-motoras corticales) después del entrenamiento de meditación. No hubo cambios significativos en los sujetos control. Este estudio concluyó que la meditación afecta regiones asociadas con la conciencia física y emocional en los adolescentes, sin tener clara la repercusión funcional directa de estos cambios. Estos resultados son diferentes a los obtenidos con los estudios morfométricos que mencionamos previamente de adultos, en los cuales la práctica meditativa se asoció con aumentos estructurales (figura 1), lo cual puede asociarse con las diferencias entre el cerebro adolescente y el cerebro de un adulto, pues para el primero se ha descrito *per se* una tendencia a aumentos relativos de volumen en algunos sectores (23,25).

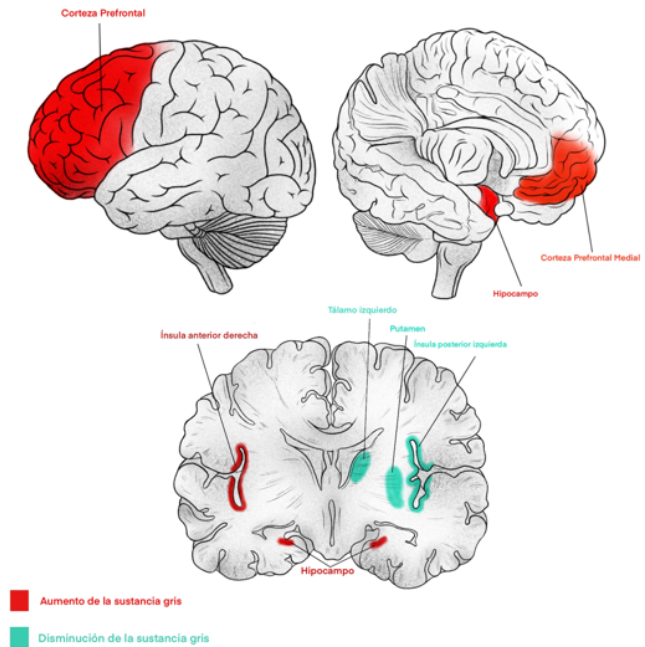


Figura 1. Hallazgos de cambios estructurales y volumétricos en personas meditadoras. Cambios morfológicos en regiones cerebrales de meditadores estudiados a través de neuroimagen estructural (resonancia magnética nuclear y morfometría basada en vóxeles). Las regiones en rojo corresponden a sectores cerebrales de meditadores adultos, donde se evidenció un incremento del volumen en comparación con los no meditadores. Las regiones en verde corresponden a sectores cerebrales de meditadores adolescentes, en los cuales se encontró una disminución del volumen posterior a una intervención de 12 semanas de meditación, comparado con sus propios cerebros antes de esta.

La imagen funcional del cerebro del meditador: menos “rumiación” y más “acción”

Los cambios descritos con resonancia estructural permitieron sugerir la influencia de la meditación de atención plena en los sectores descritos clásicamente como sustratos anatómicos de tareas cognitivas (CPF e hipocampo), y de tareas interoceptivas, emocionales y sensoriales (la ínsula). Sin embargo, la concepción actual de las funciones cerebrales las considera productos emergentes de una actividad coordinada entre diferentes sectores que se conectan tanto estructural como funcionalmente a través de redes dinámicas y flexibles.

La RMf es una herramienta que ha permitido relacionar áreas cerebrales con funciones específicas y vincular áreas que, aunque anatómicamente están separadas, funcionalmente están conectadas a través de

las redes que permiten la integración de la información (26). La RMf ha permitido identificar, en meditadores de atención plena, cambios en la actividad de sectores cerebrales, como la CPF dorsolateral y medial anterior, la región anterior y la región posterior del giro cíngulo, la ínsula, el hipocampo, la corteza visual y el cuerpo estriado (13).

Estos cambios han sido contextualizados de una forma más específica según los paradigmas funcionales a los que se someten los sujetos de estudio y permiten un mayor análisis. Por ejemplo, hay dos formas estandarizadas (paradigmas que se usan en investigación) del entrenamiento en meditación de atención plena o *mindfulness*: la primera es la reducción del estrés basada en la atención y la segunda es la terapia cognitiva basada en la atención plena (27,28). La primera ha demostrado eficacia clínica como tratamiento coadyuvante para el control y la reducción de síntomas de ansiedad, depresión, dolor y otros asociados a estrés (28,29,30,31,32). Se ha reportado en estudios de RMf que este método aumenta la activación neuronal en la ínsula, la CPF en general y la región anterior del giro del cíngulo (33,34,35). Ya habíamos mencionado que la corteza insular se relaciona con funciones como la conciencia de la experiencia interoceptiva, y se asume que el incremento de su actividad durante la práctica meditativa se vincula con mayor conciencia del momento presente. Por ejemplo, un estudio del 2007 demostró que intervenciones como los ejercicios de respiración utilizados en *mindfulness* disminuyeron la reactividad a los estímulos negativos, lo cual se correlacionó inversamente con la mayor activación de la ínsula (36). En general, todos estos resultados sugieren un papel de la ínsula en la no reactividad ante las experiencias internas, al disminuir las respuestas emocionales automáticas. Esto complementa los datos reportados sobre aumento del volumen insular en meditadores y refuerza la idea de la entrada en conciencia sensorial tanto general como especial y visceral como elemento clave en los procesos meditativos del *mindfulness*.

Por otro lado, la terapia cognitivo-conductual basada en la atención plena es una adaptación

de la reducción del estrés basada en la atención que se creó como una propuesta para prevenir la depresión recurrente. Su objetivo es permitir al practicante el reconocimiento de patrones de pensamientos devaluadores sobre sí mismo y el desarrollo de autoconciencia u observación de esos pensamientos y emociones asociadas. La propuesta es generar la capacidad de identificación de estos como ideas automáticas que son temporales y que no corresponden a hechos reales o constructos inmodificables, con el fin de fomentar la autocompasión (37,38). En el 2018, Huang et al. (39) publicaron los resultados de un estudio en el cual evaluaron a veintitrés participantes que estaban en proceso de duelo, con el fin de evidenciar el efecto de la terapia cognitiva basada en la atención plena sobre la regulación de las emociones y las funciones ejecutivas tras una intervención de ocho semanas. Después de esta se evidenció una disminución significativa del dolor, la ansiedad, la depresión y la dificultad para regular las emociones. El entrenamiento de la atención plena no solo benefició la regulación de las emociones, sino que también redujo las interferencias emocionales sobre las funciones cognitivas, probablemente al disminuir la actividad de la llamada *red neuronal por defecto* (RND), como explicaremos más adelante. Así mismo, se encontró un reclutamiento significativo de la red de atención dorsal, la cual abarca la circunvolución frontal medial y la circunvolución parietal superior, y se encarga del procesamiento de estímulos percibidos, que permiten seleccionar así los estímulos más relevantes.

En relación con el enfoque atencional, la meditación de atención plena incluye técnicas como la meditación de atención enfocada, en la cual se dirige la atención hacia objetos específicos, y la meditación de monitoreo abierto, que, como su nombre lo señala, monitorea de forma amplia la experiencia actual, al evitar juicios de valor (40). Hay evidencia de que estas dos técnicas reducen la actividad de sectores corticales que hacen parte de la llamada RND, un conjunto de estructuras que inicialmente se describieron como aquellas más activas en los

estados mentales de no tarea o “reposo” y menos activas durante cualquier estado de tarea, por lo cual recibieron este nombre (41).

A medida que se avanza en la exploración de las redes neuronales, se ha demostrado que las estructuras que pertenecen a la RND aumentan su actividad durante la recuperación de la memoria episódica o autobiográfica, la navegación espacial desde una perspectiva de primera persona o la prospección en el futuro, es decir, cuando hay actividad introspectiva que incluye pensamientos, sentimientos, recuerdos y ensoñaciones durante la vigilia (42). Así mismo, se ha encontrado que la RND aumenta su actividad de forma contundente cuando los sujetos se someten a tareas de toma de perspectiva que evalúan el desempeño en la teoría de la mente (43).

Lo anterior amplía la comprensión funcional de la RND, respecto de la cual varios autores han comenzado a sugerir como un núcleo fundamental del procesamiento de información social en nuestro cerebro (44). Estudios con RMf han demostrado que —particularmente, la meditación de atención enfocada— reduce la actividad en la CPF medial y en la región posterior del giro cíngulo/precúneo, ejes centrales de la RND, lo cual permite sugerir que esta técnica facilita el paso desde “rumiación” o repaso de información social hacia los estados de tarea.

En ese sentido, bajo el entrenamiento con meditación de atención enfocada, se ha visto un aumento en la actividad de las regiones cerebrales involucradas en otras redes neuronales funcionales, más asociadas con estados de tarea, como el campo ocular frontal del área 8 (red de atención dorsal), la corteza visual primaria (red visual), la CPF dorsolateral (red frontoparietal o ejecutiva central) y la región anterior de la ínsula (red de saliencia/atencional ventral). Es de particular interés el hecho de que, en la técnica de atención enfocada, cuando los meditadores reconocen que entran en divagación mental (en una especie de metacognición), se activan la ínsula anterior, la región anterior del giro del cíngulo, la CPF dorsolateral y el núcleo caudado;

mientras que disminuye la actividad de la CPF ventromedial (45).

Las dos primeras regiones —ínsula anterior y región anterior del giro del cíngulo— pertenecen a la llamada *red de saliencia*, que se activa cuando pasamos de estados de no tarea a estados de tarea, a través del reconocimiento de estímulos salientes o destacados en el contexto. Adicionalmente, esta red ha sido ampliamente reconocida como el correlato neural de los procesos empáticos, que implican la capacidad de emparejarse o simular neuralmente las experiencias afectivas y dolorosas de otros (46). Las otras dos estructuras, la CPF dorsolateral y el núcleo caudado, participan en estados de tarea plena.

Kral et al. (47) evidenciaron el papel de la meditación de atención plena en el fortalecimiento de las conexiones entre la amígdala y la CPF ventromedial. Esta conectividad, descrita como mediada por el fascículo uncinado, se ha relacionado funcionalmente con la regulación automática de las emociones y el control de la reactividad a estímulos afectivos. En este estudio también se evidenció cómo los meditadores de largo plazo tenían menor reactividad emocional que los novatos y cómo los cambios descritos en conectividad se daban solo en los primeros. Además, los meditadores experimentados tuvieron una regulación más automática de la reactividad a los estímulos afectivos e hicieron que el reclutamiento de la CPF ventromedial fuera menos necesario, lo cual es coherente con los hallazgos ya mencionados, de disminución de activación de esta última con la técnica de atención enfocada. Adicionalmente, durante la meditación de atención enfocada, se ha observado una mayor conectividad funcional entre el putamen rostroventral izquierdo con la corteza visual, y esta coactivación se presenta cuando hay un cambio de atención de un pensamiento interno a un objeto externo, lo que se asocia con la atención enfocada intencionalmente de esta técnica (45).

En el caso de la técnica de meditación de monitoreo abierto, se ha indicado que reduce la

actividad de la RND, al igual que la atención enfocada; pero parece involucrarse más con los circuitos de memoria, al disminuir la actividad del hipocampo y de la corteza retrosplenial, muy conectados con las estructuras mencionadas de la RND y relacionados funcionalmente con la autorreferencia en sus aspectos episódicos y visuoespaciales (48). En relación con estas tareas, en el 2007, Farb et al. (49) consideraron dos formas de autorreferencia: la extendida o narrativa, que abarca vivencias, recuerdos del pasado e intenciones del futuro, y la autorreferencia momentánea o experiencial, que se realiza al centrarse en el presente. Los autores utilizaron RMN para estudiar las redes neuronales que se correlacionan con cada una de estas formas y determinar si la práctica de *mindfulness* podría incrementar la capacidad para desligarse de la tendencia a la autorreferencia extendida y objetivar cuáles son los sectores o redes neuronales que asocian funcionalmente con la autorreferencia momentánea. El diseño experimental incluyó tres grupos: un grupo control de no meditadores y sin expectativa de meditación, un grupo que llevaba ocho semanas meditando y un grupo que se encontraba a la espera de iniciar un entrenamiento. El segundo y tercer grupos fueron entrenados para asumir dos maneras de focalizarse en sí mismos: el foco extendido o narrativo, que se centra en la elaboración de eventos pasados o futuros, y así reducir la atención hacia sucesos sensoriales del presente, y el foco experiencial, llamado de esta manera debido a que se trata de inhibir la elaboración de pensamientos y atender más a los eventos sensoriales actuales. Los resultados obtenidos mostraron que al usar el foco narrativo, se redujo la activación de la CPF medial (que mencionamos como eje de la RND) para el grupo que recibió entrenamiento, pero no para los otros dos grupos. La utilización del foco experiencial o momentáneo no generó cambios en el grupo control, mostró reducción focal de CPF medial en el grupo expectante y evidenció aún mayor reducción en su actividad en el grupo entrenado, asociado adicionalmente a un incremento en CPF dorsolateral y lóbulo parietal inferior (red frontoparietal/ejecutiva

central), ínsula (red de saliencia) y corteza somatosensorial secundaria, todas del hemisferio derecho (14,15). Al contrario de la técnica de atención enfocada, la meditación de monitoreo abierto reduce la conectividad entre el estriado ventral y la corteza visual, lo cual es coherente con la intención de cada técnica.

Dados estos hallazgos y considerando que el estriado se conecta con otras regiones cerebrales formando redes córtico-estriatales que permiten mejorar el control de la atención, la memoria, el autocontrol, las emociones y la autoconciencia, se ha relacionado la técnica de monitoreo abierto con la disminución de atención enfocada y el desapego de la memoria autobiográfica, los cuales son considerados importantes para asumir una actitud no crítica y no reactiva (14,45). Esta técnica se ha utilizado también como terapia para el abuso de drogas, pues se propone que al disminuir la actividad del estriado ventral y la corteza retrosplenial, que se asocian con recompensa, motivación y extracción de claves contextuales asociadas con el consumo, podrían modular los síntomas y los episodios de recaída (50,51). Como hemos descrito, tanto la técnica de atención enfocada como la de monitoreo abierto disminuyen la actividad de la RND, pero mientras la primera favorece un foco atencional, la segunda disminuye el enfoque atencional tanto a lo espacial como a lo episódico.

En general, los estudios de meditación de atención plena evidencian la RND como el conjunto de estructuras asociadas con el estado de divagación mental, cuya actividad disminuye cuando el meditador detecta que se encuentra en ese estado, a través de la activación de la red de saliencia/atencional ventral, y a otras redes neuronales funcionales como participantes en los estados meditativos de forma dependiente de la técnica: visual, somatosensorial y red frontoparietal/ejecutiva central (figura 2).

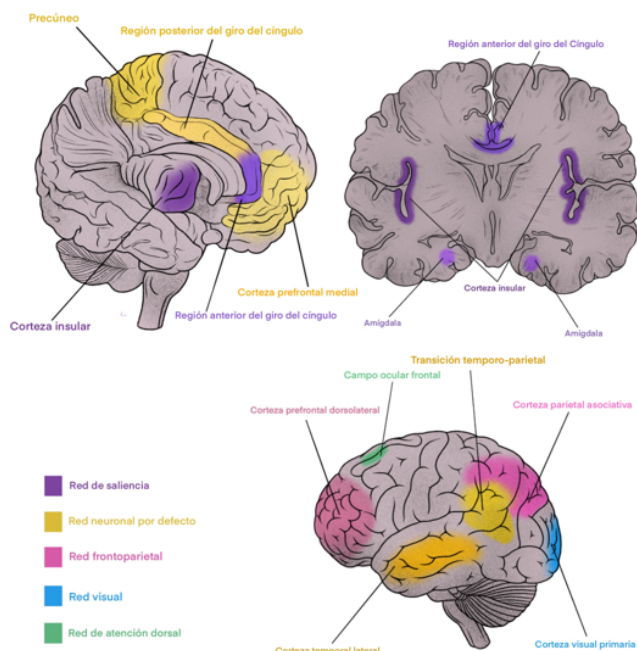


Figura 2. Redes neuronales con cambios en su actividad secundarios a meditación de atención plena. En la imagen se resaltan con colores de forma exclusiva las regiones que han mostrado cambios funcionales en los estudios de resonancia magnética funcional y se especifica a qué red pertenece cada región. Los elementos de la red neuronal por defecto (en amarillo) presentan disminución funcional en meditadores en todos los estudios; mientras que el resto de los elementos, pertenecientes a las otras redes, evidencian incremento de su actividad en meditadores. Ello apoya la premisa de salida de estados de prospección y entrada a estados de tarea de forma secundaria a la meditación de atención plena.

¿Aporta el trazado electroencefalográfico del mindfulness a esta perspectiva?

Con respecto a los estudios que valoran los cambios en el registro electroencefalográfico secundarios a la meditación de atención plena, hay cambios en dos ondas del EEG que destacan sobre el resto en la mayoría de los estudios: las oscilaciones alfa y theta tienden a potenciarse cuando un individuo realiza meditación de atención plena respecto a cuando está relajado con los ojos cerrados. Añadido lo anterior, un incremento en la sincronización de la onda alfa se ha visto consistentemente anclado a la meditación, independiente de la técnica o el nivel de experticia del practicante (52). Las ondas alfa (8 a 13 Hz) se caracterizan por su reactividad, pues disminuyen cuando se inicia la tarea sensorial propia de la región cortical

que la genera, ya sea visual, somatosensorial o auditiva, por lo cual se cree que cumplen un papel importante en la regulación de estas tareas. Están vinculadas a procesos cognitivos superiores, como la memoria operativa y la atención (53, 54). Por su parte, las ondas theta (4 a 7,5 Hz) predominan en el hipocampo y estructuras límbicas adyacentes, involucradas en la codificación y recuperación de memoria episódica y espacial, y se observan cuando la persona está en fases 1 y 2 del sueño no-REM. También han sido descritas en otras estructuras, como la corteza frontal, en estados de tarea cognitiva (53,55).

Una revisión sistemática de la literatura, publicada en 2015 por Lomas et al. (56), y que incluyó 56 artículos que evaluaban los cambios del EEG durante el *mindfulness*, reportó que, de los 18 estudios enfocados en la onda alfa, 12 evidenciaban una amplitud mayor de dicha oscilación. Los cambios relacionados con la onda alfa fueron asociados por los autores con un aumento de la atención hacia el interior o conciencia de sí mismo, así como con mejoras en la resolución de tareas que involucran imaginación y memoria (52,57). Otro estudio tuvo resultados similares a los ya presentados: midió la actividad alfa en individuos practicantes de la técnica meditativa *mindfulness* cuando se les pedía que realizaran tareas que implicaran el uso de la memoria de trabajo y lo compararon con personas que no realizan la meditación. Este estudio concluyó que hay un potenciamiento de la onda alfa en la CPF, en las zonas precentral y poscentral (en la región de localización somatotópica del brazo) del meditador, y esto se vio asociado con una mejor capacidad resolutive de tareas que requieran el uso de la memoria de trabajo (58).

Por otro lado, la banda theta también tiene evidencias de cambios interesantes. En la revisión de Lomas et al. (56), 14 de los 19 estudios hechos en torno a esta oscilación concluyeron que la amplitud de onda era mayor durante la práctica. Se sugirió que esto se podría correlacionar con el mejoramiento de las funciones ejecutivas, como la reorientación de la atención, el procesamiento de información y la memoria episódica (59). Otro

estudio concluyó que la onda theta se manifiesta mayormente en la parte frontal cuando la persona ha alcanzado estados meditativos profundos; mientras que la onda alfa está presente al comienzo de la meditación, en estados de relajación y calma (60).

Un aspecto relevante es que la onda theta está asociada con la preservación del estado meditativo, pues se ha descrito que esta oscilación es más potente en meditadores experimentados en comparación con los novatos, y se sugiere que entre más experiencia se tenga como meditador de atención plena, más tiempo se podrá conservar un estado meditativo profundo y, así mismo, habrá una onda theta prevalente en el trazado (55,60-62).

La presencia de oscilaciones theta en la zona frontal se puede correlacionar con los resultados de los estudios de neuroimagen y las revisiones sistemáticas de la literatura, que evidencian que la CPF dorsolateral y la región anterior del giro del cíngulo tienen un aumento en su actividad en los practicantes de la meditación de atención plena (60,63-65). Un estudio publicado en el 2019 mostró una correlación importante entre la técnica meditativa de atención plena y las oscilaciones theta durante la recuperación de la memoria episódica. Se describió un incremento en la potencia de dicha onda, principalmente en los lóbulos cerebrales frontal derecho y parietal izquierdo (66). Otro estudio encontró que practicantes experimentados de la técnica meditativa tenían mejores resultados a la hora de resolver conflictos, lo cual se asoció con los hallazgos del EEG que tuvieron también con reportes de mayor oscilación theta en la corteza frontal (67). Los datos anteriores pueden también relacionarse con la actividad frontal incrementada que se ha observado en los estudios funcionales y con los cambios volumétricos en los mismos sectores, que de nuevo nos lleva a vincular el *mindfulness* y los estados de tarea, en este caso de tipo ejecutivo.

De forma particular, a una cohorte de enfermeras se les entrenó durante ocho semanas en la técnica de reducción del estrés basada en la atención. El objetivo era medir cómo la meditación de atención plena mejoraba la

atención sostenida, y si existían cambios en el EEG que fueran correlacionables. Este estudio reportó que las participantes lograron tener una mayor atención sostenida, sobre todo para estímulos provenientes del interior, además de que lograron inhibir distractores externos de manera acertada, y se describió un aumento generalizado en la oscilación alfa en el trazado (68).

Así mismo, y respecto a la atención, en el 2017 se publicaron los resultados de un estudio con 34 pacientes entre los 11 y los 17 años que padecían de trastorno de déficit de atención e hiperactividad, población en la cual se ha reportado mayor actividad de la onda theta y menor actividad de la banda beta, así como un índice theta/beta mucho mayor en comparación con individuos sanos de la misma edad (69). A estos individuos se les introdujo en un programa de *mindfulness* llamado Integra Mindfulness Martial Arts. Se encontró una mejoría posintervención en tareas que implican el uso de la atención sostenida, y añadido a eso, un menor índice theta/beta en el EEG, por lo cual se sugirió que esta terapia podría ser efectiva en pacientes con este trastorno (70). Aunque hay evidencia clara que demuestra los grandes beneficios de la meditación *mindfulness* y su asociación con las ondas alfa y theta, queda faltando un largo camino para lograr dilucidar de manera más objetiva las bases fisiológicas detrás de estos resultados.

Conclusiones

Hay un creciente interés científico en torno a cuáles son las modificaciones neurológicas tanto funcionales como estructurales que sustentan los cambios positivos que experimenta el individuo durante y de manera posterior a practicar meditación de atención plena. Esto se evidencia en las curvas de número de publicaciones por año presentes en buscadores como Pubmed, donde a partir de 2010 hay una pendiente positiva.

Los hallazgos actuales registran cambios estructurales y funcionales importantes en el sistema nervioso central en practicantes de

la técnica meditativa *mindfulness*, comparados con personas no practicantes. Muchos de estos cambios se relacionan con la disminución de la actividad de las estructuras que sustentan tareas prospectivas o de autorreferencia, y con un aumento en la actividad de las estructuras que facilitan la saliencia y el paso a estados de tareas visuales, somatosensoriales o ejecutivas. Estos cambios se han correlacionado, adicionalmente, con el mejoramiento de procesos como la interocepción, la regulación emocional, la atención, la memoria y el control cognitivo.

Estos hallazgos, en conjunto, permiten resumir los posibles cambios inducidos por el *mindfulness*, en términos de temporalidad y espacialidad, así: inicialmente un aumento de la actividad de saliencia o reconocimiento de estímulos sensoriales de cualquier dominio (con evidencia principalmente de lo visual y lo interoceptivo) para un paso posterior a estados de tarea plena, principalmente funciones ejecutivas. La prevalencia de oscilaciones alfa y theta en el EEG durante la meditación de atención plena, a la luz de los estudios actuales, respalda los cambios observados estructural y funcionalmente con otras técnicas y puede extrapolarse también a los beneficios observados en las pruebas neuropsicológicas.

Se hacen necesarios estudios que cuenten cada vez con mayor poder estadístico, aleatorizados y controlados, que alimenten los hallazgos ya existentes alrededor de los efectos de la técnica de meditación de atención plena sobre el sistema nervioso y sus principios emergentes. Sin embargo, la evidencia con la que se cuenta hasta el momento muestra un buen grado de consistencia entre los diferentes estudios, lo que ha permitido un análisis funcional adecuado, que deja ver el exceso de autorreferencia narrativa como un factor que disminuye con esta práctica, para dar paso a actividades sostenidas en sectores de tarea. A la luz de ello, la meditación de atención plena puede considerarse en el campo clínico como una terapia adyuvante en el campo neuropsiquiátrico y como un promotor de la salud mental, en términos generales.

Limitaciones

El presente artículo no pretende revisar de forma sistemática la evidencia alrededor de los cambios neurológicos globales estructurales y funcionales relacionados con el *mindfulness*, y se centra en la discusión, por interés de los autores, de los hallazgos en ambos campos que permiten discutir el paso de los estados de divagación mental a estados de tarea favorecidos por este tipo de meditación.

Financiamiento

No existió financiamiento.

Conflicto de intereses

Los autores del artículo hacen constar que no existe de manera directa o indirecta, ningún tipo de conflicto de intereses que pueda poner en peligro la validez de lo comunicado.

Agradecimientos

Agradecimientos especiales para María José Pachón, diseñadora de comunicación visual, y a Sara Pachón Peláez, artista visual, por la realización de las figuras 1 y 2.

Referencias

1. Ospina MB, Bond K, Karkhaneh M, Tjosvold L, Vandermeer B, Liang Y, et al. Meditation practices for health: state of the research. *Evid Rep Technol Assess.* 2007 Jun;(155):1-263.
2. Baer RA. Mindfulness training as a clinical intervention: a conceptual and empirical review. *Clin Psychol Sci Practice.* 2003;10:125-43.
3. Van Gordon W, Shonin E, Griffiths MD, Singh NN. There is only one mindfulness: why science and

- Buddhism need to work together. *Mindfulness*. 2014;6:49-56.
4. Kabat-Zinn J. Some reflections on the origins of MBSR, skillful means, and the trouble with maps. *Dangdai Fojiao*. 2011;12:281-306.
 5. Kabat-Zinn J. Full catastrophe living: using the wisdom of your body and mind to face stress, pain, and illness. New York: Bantam Dell; 1990.
 6. Ricard M, Lutz A, Davidson RJ. Mind of the meditator. *Sci Am*. 2014 Nov;311(5):38-45.
 7. Khoury B, Sharma M, Rush SE, Fournier C. Mindfulness-based stress reduction for healthy individuals: a meta-analysis. *J Psychosom Res*. 2015;78:519-28. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2015.03.009>
 8. Vonderlin R, Biermann M, Bohus M, Lyssenko L. Mindfulness-based programs in the workplace: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Mindfulness*. 2020;11:1579-98. <https://doi.org/10.1007/s12671-020-01328-3>
 9. Dawson AF, Brown WW, Anderson J, Datta B, Donald JN, Hong K, et al. Mindfulness-based interventions for university students: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Appl Psychol Health Well Being*. 2020;12:384-410. <https://doi.org/10.1111/aphw.12188>
 10. Garcia-Campayo J, López del Hoyo Y, Navarro-Gil M. Contemplative sciences: A future beyond mindfulness. *World J Psychiatr*. 2021;11(4):87-93.
 11. Organización Mundial de la Salud. Día Mundial de la Salud Mental 2017: la salud mental en el lugar de trabajo [internet]. 2017 [citado 2020 nov 24]. Disponible en: https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=13739:world-mental-health-day-2017&Itemid=42091&lang=es
 12. Prieto Rodríguez A. Salud mental: situación y tendencias. *Rev Salud Pública*. 2002;4(1):74-88.
 13. Dipti M, Raj K, Chandra S, Rashmi M, Ravindra M. Brain plasticity and neurophysiological correlates of meditation in long-term meditators: a 18fluorodeoxyglucose positron emission tomography study based on an innovative methodology. *JACM Rev*. 2019;25:1172-82.
 14. Hölzel BK, Ott U, Hempel H, et al. Differential engagement of anterior cingulate and adjacent medial frontal cortex in adept meditators and non-meditators. *Neurosci Lett*. 2007 Jun 21;421(1):16-21. PMID: 17548160.
 15. Tang Y-Y, Hölzel BK, Posner MI. The neuroscience of mindfulness meditation. *Nat Rev Neurosci*. 2015;16(4):213-25. <https://doi.org/10.1038/nrn3916>
 16. Sharp PB, Sutton BP, Paul EJ, Sherepa N, Hillman CH, Cohen NJ, et al. Mindfulness training induces structural connectome changes in insula networks. *Sci Rep*. 2018 May 21;8(1):7929. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26268-w>
 17. Young KS, van der Velden AM, Craske MG, Pallesen KJ, Fjorback L, Roepstorff A, Parsons CE. The impact of mindfulness-based interventions on brain activity: A systematic review of functional magnetic resonance imaging studies. *Neurosci Biobehav Rev*. 2018 Jan; 84:424-433. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.08.003>
 18. Lazar SW, Kerr CE, Wasserman RH, Gray JR, Greve DN, Treadway MT, et al. Meditation experience is associated with increased cortical thickness. *Neuroreport*. 2005;16(17):1893-7. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000186598.66243.19>

19. Fuster JM. The prefrontal cortex of the primate: a synopsis. *Psychobiology*. 2000;28:125-31.
20. Sarmiento-Bolaños MJ, Gómez-Acosta A. Mindfulness a proposed of application in neuropsychological rehabilitation. *Av Psicol Latinoam*. 2013;31(1):140-55.
21. Sanagua N. Cortex insular y su rol putativo en la configuración de trastornos alimenticios. *Rev Chil Neuropsicol*. 2007;2(1):1-7.
22. Kurth F, Zilles K, Fox PT, Laird AR, Eickhoff SB. A link between the systems: functional differentiation and integration within the human insula revealed by metaanalysis. *Brain Struct Funct*. 2010;214:519-34.
23. Hölzel BK, Ott U, Gard T, Hempel H, Weygandt M, Morgen K, Vaitl D. Investigation of mindfulness meditation practitioners with voxel-based morphometry. *Soc Cogn Affect Neurosci*. 2008 Mar;3(1):55-61. <https://doi.org/10.1093/scan/nsm038>
24. Luders E, Thompson PM, Kurth F, Hong JY, Phillips OR, Wang Y, et al. Global and regional alterations of hippocampal anatomy in long-term meditation practitioners. *Hum Brain Mapp*. 2013 Dec;34(12):3369-75. <http://doi.org/10.1002/hbm.22153>
25. Torres-Pascual C. Meditación para el desarrollo de la conciencia interoceptiva en la presencia del dolor de la fibromialgia. *Med Nat*. 2015;9(2):88-92.
26. Baerentsen KB, Stødkilde-Jørgensen H, Sommerlund B, Hartmann T, Damsgaard-Madsen J, Fosnaes M, Green AC. An investigation of brain processes supporting meditation. *Cogn Process*. 2010 Feb;11(1):57-84. <https://doi.org/10.1007/s10339-009-0342-3>
27. Beckmann CF, DeLuca M, Devlin JT, Smith SM. Investigations into resting-state connectivity using independent component analysis. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2005 May 29;360(1457):1001-13.
28. Grossman P, Niemann L, Schmidt S, Walach H. Mindfulness-based stress reduction and health benefits. A meta-analysis. *J Psychosom Res*. 2004 Jul;57(1):35-43.
29. Teasdale JD, Segal ZV, Williams JM, Ridgeway VA, Soulsby JM, Lau MA. Prevention of relapse/recurrence in major depression by mindfulness-based cognitive therapy. *J Consult Clin Psychol*. 2000 Aug;68(4):615-23. PMID: 10965637.
30. Roemer L, Orsillo SM, Salters-Pedneault K. Efficacy of an acceptance-based behavior therapy for generalized anxiety disorder: evaluation in a randomized controlled trial. *J Consult Clin Psychol*. 2008 Dec;76(6):1083-9. PMID: 19045976.
31. Hofmann SG, Sawyer AT, Witt AA, Oh D. The effect of mindfulness-based therapy on anxiety and depression: A meta-analytic review. *J Consult Clin Psychol*. 2010 Apr;78(2):169-83. PMID: 20350028.
32. Bohlmeijer E, Prenger R, Taal E, Cuijpers P. The effects of mindfulness-based stress reduction therapy on mental health of adults with a chronic medical disease: a meta-analysis. *J Psychosom Res*. 2010 Jun;68(6):539-44. PMID: 20488270.
33. Khoury B, Sharma M, Rush SE, Fournier C. Mindfulness-based stress reduction for healthy individuals: A meta-analysis. *J Psychosom Res*. 2015 Jun;78(6):519-28. PMID: 25818837.
34. Lutz A, Brefczynski-Lewis J, Johnstone T, Davidson RJ. Regulation of the neural circuitry of emotion

- by compassion meditation: effects of meditative expertise. *PLoS One*. 2008 Mar 26;3(3):e1897. PMID: 18365029;PMCID: PMC2267490.
35. Tomasino B, Fabbro F. Increases in the right dorsolateral prefrontal cortex and decreases the rostral prefrontal cortex activation after-8 weeks of focused attention based mindfulness meditation. *Brain Cogn*. 2016 Feb;102:46-54. PMID: 26720411.
36. Hölzel BK, Ott U, Hempel H, Hackl A, Wolf K, Stark R, Vaitl D. Differential engagement of anterior cingulate and adjacent medial frontal cortex in adept meditators and non-meditators. *Neurosci Lett*. 2007 Jun 21;421(1):16-21. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2007.04.074>
37. Paul NA, Stanton SJ, Greeson JM, Smoski MJ, Wang L. Psychological and neural mechanisms of trait mindfulness in reducing depression vulnerability. *Soc Cogn Affect Neurosci*. 2013 Jan;8(1):56-64. PMID: 22717383;PMCID: PMC3541493.
38. Kuyken W, Watkins E, Holden E, White K, Taylor RS, Byford S, et al. How does mindfulness-based cognitive therapy work? *Behav Res Ther*. 2010 Nov;48(11):1105-12. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2010.08.003>
39. Huang FY, Hsu AL, Hsu LM, Tsai JS, Huang CM, Chao YP, et al. Mindfulness Improves Emotion Regulation and Executive Control on Bereaved Individuals: An fMRI Study. *Front Hum Neurosci*. 2019 Jan 28;12:541. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00541>
40. Lutz A, Slagter HA, Dunne JD, Davidson RJ. Attention regulation and monitoring in meditation. *Trends Cogn Sci*. 2008 Apr;12(4):163-9. PMID: 18329323.
41. Gusnard DA, Raichle ME, Raichle ME. Searching for a baseline: functional imaging and the resting human brain. *Nat Rev Neurosci*. 2001 Oct;2(10):685-94. PMID: 11584306.
42. Spreng RN, Mar RA, Kim AS. The common neural basis of autobiographical memory, prospection, navigation, theory of mind, and the default mode: a quantitative meta-analysis. *J Cogn Neurosci*. 2009 Mar;21(3):489-510. PMID: 18510452.
43. Gallagher HL, Frith CD. Functional imaging of 'theory of mind'. *Trends Cogn Sci*. 2003 Feb;7(2):77-83. PMID: 12584026.
44. Schilbach LEickhoff SB, Rotarska-Jagiela A, Fink GR, Voegeley K. Minds at rest? Social cognition as the default mode of cognizing and its putative relationship to the "default system" of the brain. *Conscious Cogn*. 2008 Jun;17(2):457-67. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.03.013>
45. Fujino M, Ueda Y, Mizuhara H, Saiki J, Nomura M. Open monitoring meditation reduces the involvement of brain regions related to memory function. *Sci Rep*. 2018 Jul 2;8(1):9968. PMID: 29967435.
46. Decety J. To what extent is the experience of empathy mediated by shared neural circuits? *Emotion Rev*. 2010;2(3):204-7. <https://doi.org/10.1177/1754073910361981>
47. Kral TRA, Schuyler BS, Mumford JA, Rosenkranz MA, Lutz A, Davidson RJ. Impact of short- and long-term mindfulness meditation training on amygdala reactivity to emotional stimuli. *Neuroimage*. 2018 Nov 1;181:301-313. PMID: 29990584.
48. Taylor VA, Grant J, Daneault V, Scavone G, Breton E, Roffe-Vidal S, Courtemanche J, Lavarenne AS, Beauregard M. Impact of mindfulness

- on the neural responses to emotional pictures in experienced and beginner meditators. *Neuroimage*. 2011 Aug 15; 57(4):1524-33.
49. Farb NAS, Segal ZV, Mayberg H, Bean J, McKeon D, Fatima Z, et al. Attending to the present: mindfulness meditation reveals distinct neural modes of self-reference. *Soc Cogn Affect Neurosci*. 2007;2(4):313-22. <https://doi.org/10.1093/scan/nsm030>
50. Camchong J, Macdonald AW 3rd, Mueller BA, Nelson B, Specker S, Slaymaker V, et al. Changes in resting functional connectivity during abstinence in stimulant use disorder: a preliminary comparison of relapsers and abstainers. *Drug Alcohol Depend*. 2014 Jun 1;139:145-51. PMID: 24745476.
51. Ding W-N, Sun J-H, Sun Y-W, Zhou Y, Li L, Xu JR, Du YS. Altered default network resting-state functional connectivity in adolescents with internet gaming addiction. *PLoS ONE*. 2013;8(3):e59902. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059902>
52. Fell J, Axmacher N, Haupt S. From alpha to gamma: electrophysiological correlates of meditation-related states of consciousness. *Med Hypotheses*. 2010;75(2):218-24.
53. Herrmann CS, Strüber D, Helfrich RF, Engel AK. EEG oscillations: from correlation to causality. *Int J Psychophysiol*. 2016 May;103:12-21. PMID: 25659527.
54. Hanslmayr S, Gross J, Klimesch W, Shapiro KL. The role of α oscillations in temporal attention. *Brain Res Rev*. 2011 Jun 24;67(1-2):331-43. PMID: 21592583.
55. Kilavik BE, Zaepffel M, Brovelli A, MacKay WA, Riehle A. The ups and downs of β oscillations in sensorimotor cortex. *Exp Neurol*. 2013 Jul;245:15-26. PMID: 23022918.
56. Lomas T, Ivtzan I, Fu CH. A systematic review of the neurophysiology of mindfulness on EEG oscillations. *Neurosci Biobehav Rev*. 2015 Oct;57:401-10. PMID: 26441373.
57. Vago DR, Silbersweig DA. Self-awareness, self-regulation, and self-transcendence (S-ART): a framework for understanding the neurobiological mechanisms of mindfulness. *Front Hum Neurosci*. 2012 Oct 25;6:296. PMID: 23112770.
58. Jaiswal S, Tsai SY, Juan CH, Muggleton NG, Liang WK. Low delta and high alpha power are associated with better conflict control and working memory in high mindfulness, low anxiety individuals. *Soc Cogn Affect Neurosci*. 2019 Aug 7;14(6):645-55. PMID: 31119291.
59. Dietl T, Dirlich G, Vogl L, Lechner C, Strian F. Orienting response and frontal midline theta activity: a somatosensory spectral perturbation study. *Clin Neurophysiol*. 1999 Jul;110(7):1204-9. PMID: 10423186.
60. Tang YY, Tang R, Rothbart MK, Posner MI. Frontal theta activity and white matter plasticity following mindfulness meditation. *Curr Opin Psychol*. 2019 Aug;28:294-7. PMID: 31082635.
61. Arita H. Anterior prefrontal cortex and serotonergic system activation during Zen meditation practice induces negative mood improvement and increased alpha band in EEG. *Rinsho Shinkeigaku*. 2012;52(11):1279-80. Japanese. PMID: 23196590.
62. Ahani A, Wahbeh H, Nezamfar H, Miller M, Erdogmus D, Oken B. Quantitative change of EEG and respiration signals during mindfulness

meditation. *J Neuroeng Rehabil.* 2014 May 14;11:87. PMID: 24939519.

63. Cahn BR, Polich J. Meditation states and traits: EEG, ERP, and neuroimaging studies. *Psychol Bull.* 2006 Mar;132(2):180-211. PMID: 16536641.

64. Tang YY. The neuroscience of mindfulness meditation: how the body and mind work together to change our behavior? Springer Nature; 2017.

65. Fan Y, Tang YY, Tang R, Posner MI. Time course of conflict processing modulated by brief meditation training. *Front Psychol.* 2015 Jul 3;6:911. PMID: 26191022.

66. Nyhus E, Engel WA, Pitfield TD, Vakkur IMW. increases in theta oscillatory activity during episodic memory retrieval following mindfulness meditation training. *Front Hum Neurosci.* 2019 Sep 4;13:311. PMID: 31551738.

67. Jo HG, Malinowski P, Schmidt S. Frontal theta dynamics during response conflict in long-term mindfulness meditators. *Front Hum Neurosci.* 2017 Jun 7;11:299. PMID: 28638334.

68. Wong KF, Teng J, Chee MWL, Doshi K, Lim J. Positive effects of mindfulness-based training on energy maintenance and the EEG correlates of sustained attention in a cohort of nurses. *Front Hum Neurosci.* 2018 Mar 1;12:80. PMID: 29545746.

69. Arns M, Conners CK, Kraemer HC. A decade of EEG Theta/beta ratio research in adhd: a meta-analysis. *J Atten Disord.* 2013 Jul;17(5):374-83. PMID: 23086616.

70. Sibalís A, Milligan K, Pun C, McKeough T, Schmidt LA, Segalowitz SJ. An EEG investigation of the attention-related impact of mindfulness training in youth with ADHD: outcomes and methodological

considerations. *J Atten Disord.* 2019 May;23(7):733-743. <https://doi.org/10.1177/1087054717719535>