

Impacto de la respiración en el cerebro

Impact of breathing on the brain

Resumen: Hasta hace poco, era inimaginable para la gran mayoría de neurocientíficos que la respiración tuviera una influencia directa en las funciones cognitivas superiores. En las últimas décadas se había identificado una sincronización en la actividad neuronal del bulbo olfativo con el ritmo de la respiración. Nada sorprendente ya que la información de los olores nos llega con el aire de la respiración. Sin embargo, en los últimos años se ha demostrado que el ritmo de la respiración (especialmente la nasal) afecta a toda la corteza cerebral, no solo a la corteza olfativa. El cerebro controla la respiración y la forma como respiramos tiene un impacto en regiones que intervienen en el procesamiento cognitivo y en la regulación emocional y conductual.

Abstract: Even so, it was unimaginable for the vast majority of neuroscientists that breathing could have a direct influence on higher cognitive functions. In the last few decades, a synchronization of the neuronal activity of the olfactory bulb with the rhythm of breathing has been identified —nothing surprising, since olfactory information reaches us through the air we breathe. However, in recent years it has been demonstrated that the rhythm of breathing (especially the nasal one) affects the entire cerebral cortex, not just the olfactory cortex. The brain controls breathing and the way we breathe has an impact on regions involved in cognitive processing as well as emotional and behavioral regulation.

Palabras clave: Cerebro. Respiración. Ritmo lento. Respiración nasal.

Keywords: Brain. Breathing. Slow rhythm. Nasal breathing.

Jesús C. Guillén

Miembro de la cátedra de neuroeducación UB-EDU1st



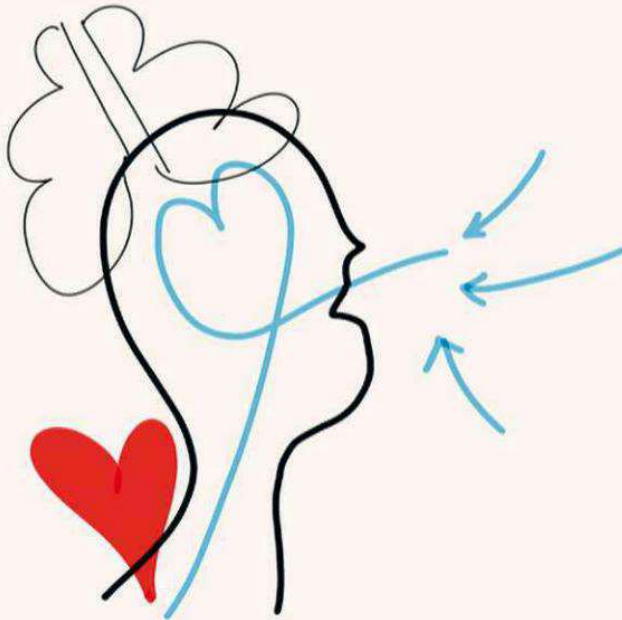
El cerebro respira

La respiración es un proceso vital que tiene la función de absorber oxígeno mediante la inhalación y liberar dióxido de carbono mediante la exhalación, sea a través de las fosas nasales o de la boca. El oxígeno es necesario para la respiración celular y el metabolismo, mientras que el dióxido de carbono es un producto final del metabolismo y debe liberarse mediante la respiración. No obstante, el dióxido de carbono es más que un gas de desecho ya que actúa como catalizador para que

la hemoglobina de los glóbulos rojos libere su carga de oxígeno en las células y los tejidos (efecto Bohr).

Aunque podemos controlar de forma voluntaria la respiración (con todo lo que conlleva a nivel atencional), es un proceso que, afortunadamente, se da de forma inconsciente la mayor parte del tiempo. Dos regiones específicas del cerebro situadas en el tronco encefálico interactúan para que podamos respirar de forma automática. Una de ellas es el núcleo retrotrapezoide, que identifica cuando hay demasiado dióxido de carbono y muy

Tema del mes



«La respiración es necesaria para optimizar el procesamiento de la información en áreas cerebrales que intervienen en conductas dirigidas a objetivos»

poco oxígeno en la sangre, enviando una señal que desencadena la inspiración. Las neuronas de esta región crean sinapsis con neuronas del complejo pre-Bötzinger que es imprescindible en la generación y modulación del ritmo respiratorio (Bochorishvili et al., 2012). El complejo pre-Bötzinger controla la respiración de forma autónoma, lo que hace que el acto de respirar parezca que no requiere esfuerzo. Sin embargo, el control recae en la corteza frontal cuando la respiración es voluntaria.

Recientemente, se ha comprobado que otras muchas regiones cerebrales como, por ejemplo, el cerebelo o áreas del sistema límbico, como la amígdala y el hipocampo, pueden afectar al control respiratorio, formando una red cerebral integrada (Krohn et al., 2023).

En una investigación muy citada, se mostraron a los participantes 180 imágenes (medio segundo cada una) durante 15 minutos, en diferentes momentos de la respiración. Tras 20 minutos, se presentaron las mismas imágenes mezcladas con otras 180 que

los participantes no habían visto antes. Los investigadores comprobaron que los que habían inspirado en el momento de memorizar la imagen fueron mejores a la hora de identificar la que ya habían visto, con efectos más pronunciados para la respiración nasal que para la oral, tanto para la codificación de la información como para la recuperación de la misma (Zelano et al., 2016). Según los autores de la investigación, la respiración es necesaria para optimizar el procesamiento de la información en áreas cerebrales que intervienen en conductas dirigidas a objetivos. Esto lo hace promoviendo una sincronización de las oscilaciones neuronales. Para entenderlo hay que recordar cómo funcionan las neuronas.

La respiración sincroniza el cerebro

Como consecuencia de las descargas eléctricas emitidas por las neuronas (oscilaciones neuronales), se generan ritmos neuronales que aparecen en casi todas las funciones cerebrales en distintas frecuencias. Estas ondas cerebrales pueden detectarse mediante electroencefalogramas que se utilizan para monitorizar la actividad cerebral. Se han identificado cinco ondas (de mayor a menor frecuencia): gamma (>30 Hz), beta (13-30 Hz), alfa (8-13 Hz), theta (4-8 Hz) y delta (0,5-4 Hz). Por ejemplo, cuando estás despierto, y tu cerebro está alerta y atento, produce ondas beta que son de alta frecuencia. Este es el ritmo de base del cerebro mientras realiza sus actividades diarias. Sin embargo, en estados de relajación nuestro cerebro pasa a producir ondas alfa. En lo referente a los procesos cognitivos, las ondas gamma (también de alta frecuencia) son muy importantes. Son los ritmos a los que las neuronas del hipocampo emiten descargas durante las tareas de aprendizaje. Pues bien, sabemos que, a menudo, las ondas de menor frecuencia influyen en las ondas de mayor frecuencia modulando la altura de las oscilaciones (Aru et al., 2015). Los neurocientíficos creen que este mecanismo

físico que se conoce como *acoplamiento de amplitud de fase* es importante en el procesamiento de la información a nivel cerebral. Este proceso se da en el hipocampo y es lo que explicaría los resultados del estudio de Zelano y colaboradores mencionado antes. El ritmo lento de la respiración sincroniza la actividad neuronal rítmica en el bulbo olfativo modulando la amplitud de las ondas gamma en áreas de la corteza cerebral, como la corteza olfativa y la corteza sensorial, pero también en el hipocampo, centro gestor de las memorias explícitas y del aprendizaje. Podríamos decir que la respiración genera una actividad neuronal de frecuencia básica que afecta a todo el cerebro y esto explicaría su impacto positivo en el rendimiento cognitivo. Sintetizando, la inspiración se convierte en un marcapasos que coordina las ondas lentas del hipocampo (ondas theta) que, a su vez, modulan las ondas más rápidas (ondas gamma).

De forma similar, en estudios centrados en la percepción visoespacial, se ha observado que la inhalación nasal impulsa un aumento de la actividad cerebral relacionada con la tarea en regiones específicas implicadas (parietooccipitales y frontales) y da como resultado una mejor precisión en el rendimiento en la tarea visoespacial (Perl et al., 2019). En definitiva, los procesos mentales que no tienen vínculo con el olfato también están sincronizados con la inhalación nasal.

Respiración nasal versus bucal

Si existen evidencias de que la inspiración tiene un mayor impacto cognitivo que la exhalación, también se han realizado interesantes investigaciones que demuestran el predominio de la respiración nasal sobre la respiración bucal en la consolidación de los aprendizajes (conversión de memorias a corto plazo en memorias a largo plazo), por ejemplo, la de Arshamian et al. (2018). El experimento consistió en dos sesiones separadas, con una fase de codificación, una de consolidación y una de reconocimiento. En la primera sesión

los participantes tuvieron que memorizar 12 olores, a la que siguió una fase de consolidación de una hora en la que respiraron únicamente por la nariz o por la boca estando en reposo y despiertos. Inmediatamente después de la fase de consolidación, se les presentaron 24 olores de forma aleatoria, entre los que estaban los 12 iniciales. Los investigadores comprobaron que la memoria de reconocimiento de los olores nuevos y los conocidos aumentó significativamente en los participantes que respiraron por la nariz, en comparación con los que respiraron por la boca, durante la consolidación.

En los últimos años se ha comprobado que la respiración coordina en el hipocampo un tipo de ondas agudas de alta frecuencia (*sharp waves ripples*) que se producen principalmente en la transición entre la inspiración y la espiración y son cruciales en la consolidación de las memorias (Brodth et al., 2023). En experimentos con ratones, la influencia de la respiración en la aparición de estas ondas agudas del hipocampo se eliminó cuando se inhibió la actividad del bulbo olfatorio (Liu et al., 2017). Esto explicaría la predominancia de la respiración nasal sobre la bucal. De manera similar a lo que ocurre en el cerebro de los roedores, la selección natural promovió una fuerte conectividad funcional entre el sistema olfativo y el hipocampo de los humanos, en comparación con el resto de sistemas sensoriales. Al respirar por la boca, el bulbo olfativo no se activa y ello perjudica su conexión con el hipocampo (Zhou et al., 2021). Sin olvidar que el proceso de filtrado, humidificación y calentamiento del aire inhalado que se da al respirar por la nariz no se da mediante la respiración bucal. Asimismo, la respiración bucal en la infancia o la adolescencia por problemas en las vías nasales puede desarrollar un paladar más elevado y disminuir el espacio en la base de la nariz, causando menos espacio en la arcada dentaria y alteraciones dentofaciales (Taner y Saglam, 2023).

En consonancia con todas las investigaciones que estamos mencionando, podemos decir que existe una gran evidencia empírica



«La inspiración tiene un mayor impacto cognitivo que la exhalación»

Tema del mes

que sugiere que, más allá del intercambio de gases (función fisiológica principal de la respiración), la respiración influye directamente en la actividad cerebral y en las funciones sensoriales, afectivas y cognitivas (Braenholdt et al., 2023). En lo referente a las cuestiones emocionales, en otro experimento también realizado por el grupo de Zelano se mostró un conjunto de caras a los participantes. Los sujetos tenían que indicar, pulsando un botón lo más rápido posible, si estaba presente una expresión de miedo o sorpresa en el rostro que veían. Las caras temerosas se detectaron más rápidamente durante la inspiración nasal que durante la espiración, pero no durante la respiración oral (Zelano et al., 2016).

El poder de la respiración lenta

Nuestros estados emocionales y cognitivos afectan a la respiración. Pensemos, por ejemplo, cuando estamos estresados, relajados o focalizados, en la resolución de un problema. De forma inversa, la respiración puede tener un impacto emocional y cognitivo, tanto en situaciones cotidianas, como en situaciones más extremas de ansiedad, miedo o pánico, por ejemplo (Ashhad et al., 2023).

La respiración rápida generalmente se asocia con estrés, ansiedad o la sensación de falta de aire (disnea). Caracteriza a los ataques de pánico, aunque el incremento de la frecuencia respiratoria también puede darse en emociones positivas. Por el contrario, la respiración controlada y lenta se utiliza a menudo en la terapia cognitiva conductual y es un componente importante de prácticas cada vez más populares como la meditación o el yoga, que implican un repertorio más amplio de técnicas de control de la respiración junto a otras estrategias (Engelen et al., 2023).

El principal ejemplo de cómo la respiración afecta a las emociones es la relajación fisiológica y psicológica que se produce cuando el ritmo respiratorio se reduce a 0,1 Hz (6 respiraciones por minuto). Esta es la respiración de ritmo lento que suele llamarse

también *respiración profunda* (Boyadzhieva y Kayhan, 2021). No obstante, no hay que confundir una inspiración profunda con una inspiración grande. Una inspiración profunda es una inspiración suave y silenciosa que viaja al abdomen usando el diafragma, lo que solo será posible si la respiración es nasal. Por el contrario, una inspiración grande suele conllevar una gran bocanada de aire en la que, por lo general, se emplea la parte superior del pecho. Esto resulta en hiperventilación, que genera un desequilibrio en los niveles de oxígeno y dióxido de carbono. Una respiración eficaz requiere la coordinación entre el diafragma, los músculos abdominales y los músculos de la caja torácica (Boulding et al., 2016). Una buena postura facilita esta coordinación. El diafragma juega un papel importante a la hora de controlar la postura, pero también sucede a la inversa: una buena postura mejora la respiración.

La investigación clínica sobre los efectos beneficiosos inducidos por la respiración a ritmo lento se ha ampliado mucho en los últimos años. La respiración a una frecuencia de seis respiraciones por minuto optimiza la oxigenación y estimula los receptores de presión arterial, en comparación con la respiración espontánea a 15 respiraciones por minuto (Balban et al., 2023). La frecuencia normal en un adulto suele oscilar entre las 12 y las 20 respiraciones por minuto. Junto a esto, se han identificado mejoras en el funcionamiento cardiovascular, las funciones ejecutivas o el manejo del estrés (Sevoz-Couche y Laborde, 2022). Sin embargo, los mecanismos subyacentes a estos efectos son múltiples y complejos. Aunque parece que el nervio vago, principal componente del sistema nervioso parasimpático, juega un papel importante.

La frecuencia cardíaca está estrechamente relacionada con el sistema respiratorio: cuando inspiramos, el corazón se acelera; cuando espiramos, se ralentiza. Esta desaceleración de los latidos cardíacos se efectúa por medio del nervio vago, que se encuentra estimulado por el abdomen al espirar. De hecho, todas



«Nuestros estados emocionales y cognitivos afectan a la respiración»



las técnicas de relajación se basan en este acoplamiento cardiorrespiratorio: cuando desaceleramos voluntariamente la respiración, es decir, cuando esta se torna profunda y abdominal, estimulamos el nervio vago, lo que finalmente ralentiza el corazón (Maric *et al.*, 2020). Parece que existe una interacción a tres bandas entre el sistema respiratorio, el sistema cardiovascular y el funcionamiento cognitivo.

Para acabar este apartado, mencionar que se acaba de publicar un metaanálisis en el que se sintetizan los resultados de 31 estudios que investigaron el efecto de la respiración a ritmo lento sobre diferentes funciones cardiovasculares y emociones. Según los autores del estudio, la respiración a un ritmo lento ha demostrado tener efectos fiables en la inducción de mejoras a corto plazo en la reducción de la presión arterial sistólica, el aumento de la variabilidad de la frecuencia cardíaca y la disminución de la frecuencia cardíaca y un efecto modesto en la reducción de

las emociones negativas, aunque su eficacia a largo plazo en la mejora de las funciones cardiovasculares aún está por determinar (Shao *et al.*, 2024). Los científicos suelen ser prudentes.

Entrenamiento de la respiración: más allá del mindfulness

Los ejercicios voluntarios de respiración controlada han surgido como herramientas potenciales para combatir el estrés y generar bienestar. El control de la respiración es un componente básico en la práctica del mindfulness, sin embargo, existen matices diferenciadores entre los dos tipos de prácticas. La respiración controlada influye directamente en la frecuencia respiratoria, lo que puede causar efectos relajantes fisiológicos y psicológicos inmediatos al aumentar el tono vagal durante la espiración lenta. Si bien mediante el mindfulness se pueden obtener beneficios similares (Wielgosz *et al.* 2016),



«Existe una interacción a tres bandas entre el sistema respiratorio, el sistema cardiovascular y el funcionamiento cognitivo»

Tema del mes

no es su objetivo principal. En el mindfulness se presta atención a la respiración con el fin de aumentar la conciencia del momento presente. Es decir, existen efectos asociados a componentes cognitivos no respiratorios como la atención focalizada o la imaginación mental.

En un interesante estudio dirigido por el famoso neurocientífico de la Universidad de Stanford Andrew Huberman, se quiso comparar el impacto de tres ejercicios diarios distintos de respiración, de cinco minutos de duración, con un periodo equivalente de mindfulness durante un mes (Balban *et al.*, 2023). Los investigadores plantearon la hipótesis de que la modulación directa del estado fisiológico proporcionado por la respiración controlada podría producir una relajación mental y física más potente y aguda, en comparación con

la práctica del mindfulness, que implica una observación más pasiva de la respiración.

Los tres ejercicios de respiración utilizados por los participantes fueron los siguientes (todos los patrones respiratorios se repiten durante cinco minutos):

1. Suspiros fisiológicos (o cíclicos), que enfatizan las exhalaciones prolongadas. Se inhala lentamente por la nariz y, una vez que los pulmones se expanden, se inhala una vez más para llenarlos al máximo. Luego se exhala lentamente todo el aire por la boca (o por la nariz).
2. Respiración de caja, en la que hay inhalación, retención de la respiración, exhalación y nueva retención que duran lo mismo (por ejemplo, inhalar 4 s, contener 4 s, exhalar 4 s, contener 4 s). El tiempo



en segundos de cada fase se determinó por una prueba de tolerancia al CO₂ que los participantes realizaron previamente.

3. Hiperventilación cíclica con retención, que se caracteriza por inhalaciones más largas por la nariz y exhalaciones más cortas por la boca. Después de 30 respiraciones, se exhala todo el aire por la boca y se retiene la respiración 15 segundos con los pulmones vacíos. Es un ciclo que habrá que repetir dos veces más.

El análisis estadístico demostró que el entrenamiento de la respiración, especialmente el suspiro cíclico centrado en la exhalación, produjo mayor mejora en el estado de ánimo

y en la reducción de la frecuencia respiratoria, en comparación con la práctica del mindfulness. Si bien es cierto que tanto los ejercicios de respiración controlada como la práctica del mindfulness muestran beneficios similares, parecen ser mayores en el suspiro fisiológico que se diferencia de los otros ejercicios, básicamente, en la exhalación prolongada y en la doble inhalación que aumenta la profundidad de la misma. Según los autores de la investigación los suspiros fisiológicos diarios de cinco minutos prometen ser un ejercicio eficaz para controlar el estrés. Su corta duración y sus rápidos beneficios hacen que este tipo de entrenamiento sea fácil de aplicar y sostenible en el tiempo. ●

Para saber más



- Arshamian, A. et al. (2018). Respiration modulates olfactory memory consolidation in humans. *Journal of Neuroscience*, 38(48), 10286-10294.
- Aru, J. et al. (2015). Untangling cross-frequency coupling in neuroscience. *Current Opinion in Neurobiology*, 31, 51-61.
- Ashhad, S. et al. (2022). Breathing rhythm and pattern and their influence on emotion. *Annual Review of Neuroscience*, 45(1), 223-247.
- Balban, M. Y. et al. (2023). Brief structured respiration practices enhance mood and reduce physiological arousal. *Cell Reports Medicine*, 4(1).
- Bochorishvili, G. et al. (2012). Pre-Bötzinger complex receives glutamatergic innervation from galaninergic and other retrotrapezoid nucleus neurons. *Journal of Comparative Neurology*, 520(5), 1047-1061.
- Boulding, R. et al. (2016). Dysfunctional breathing: a review of the literature and proposal for classification. *European Respiratory Review*, 25(141), 287-294.
- Boyadzhieva, A., y Kayhan, E. (2021). Keeping the breath in mind: Respiration, neural oscillations, and the free energy principle. *Frontiers in Neuroscience*, 15, 647579.
- Brændholt, M. et al. (2023). Breathing in waves: Understanding respiratory-brain coupling as a gradient of predictive oscillations. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 152, 105262.
- Brodt, S. et al. (2023). Sleep—A brain-state serving systems memory consolidation. *Neuron*, 111(7), 1050-1075.
- Engelen, T., Solcà, M., y Tallon-Baudry, C. (2023). Interoceptive rhythms in the brain. *Nature Neuroscience*, 26(10), 1670-1684.
- Krohn, F. et al. (2023). The integrated brain network that controls respiration. *Elife*, 12, e83654.
- Liu, Y., McAfee, S. S., y Heck, D. H. (2017). Hippocampal sharp-wave ripples in awake mice are entrained by respiration. *Scientific Reports*, 7(1), 1-9.
- Maric, V., Ramanathan, D., y Mishra, J. (2020). Respiratory regulation & interactions with neuro-cognitive circuitry. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 112, 95-106.
- Perl, O. et al. (2019). Human non-olfactory cognition phase-locked with inhalation. *Nature Human Behaviour*, 3(5), 501-512.
- Sevoz-Couche, C., y Laborde, S. (2022). Heart rate variability and slow-paced breathing: when coherence meets resonance. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 135, 104576.
- Shao, R., Man, I. S., y Lee, T. M. (2024). The Effect of Slow-Paced Breathing on Cardiovascular and Emotion Functions: A Meta-Analysis and Systematic Review. *Mindfulness*, 15(1), 1-18.
- Taner, T., y Saglam-Aydinatay, B. (2023). Physiologic and dentofacial effects of mouth breathing compared to nasal breathing. En *Nasal physiology and pathophysiology of nasal disorders* (pp. 559-580). Cham: Springer International Publishing.
- Wielgosz, J. et al. (2016). Long-term mindfulness training is associated with reliable differences in resting respiration rate. *Scientific Reports*, 6(1), 27533.
- Zelano, C. et al. (2016). Nasal respiration entrains human limbic oscillations and modulates cognitive function. *Journal of Neuroscience*, 36(49), 12448-12467.
- Zhou, G. et al. (2021). Human hippocampal connectivity is stronger in olfaction than other sensory systems. *Progress in neurobiology*, 201, 102027.

Tema del mes

Trabajando las dimensiones cognitiva y emocional en la escuela a través de mindfulness

Addressing the cognitive and emotional dimensions in schools through mindfulness

Resumen: La salud emocional y el desarrollo cognitivo de los estudiantes constituye un reto central del sistema educativo, en paralelo con el fomento de competencias y contenidos. De entre diversas propuestas, contamos con numerosos programas que, para niños y adolescentes, se vienen diseñando e implementado para tal fin, destacando las iniciativas basadas en mindfulness, una práctica actualmente secularizada y con un significativo respaldo científico.

Abstract: The emotional well-being and cognitive development of students represent core challenges for contemporary education systems, alongside the promotion of curricular competencies and content. Among the various proposed approaches, there are numerous programs that have been designed and implemented for children and adolescents with this objective in mind, particularly highlighting initiatives based on mindfulness—a practice that has been secularized and has significant scientific backing.

Palabras clave: Bienestar emocional. Intervención Educativa. Mindfulness. Neurociencia. Rendimiento académico.

Keywords: Emotional well-being. Educational intervention. Mindfulness. Neuroscience. Academic performance.

Prof. Dr. Carlos Valiente Barroso

Universidad Villanueva
(Madrid)

Universidad Europea Miguel de Cervantes
(Valladolid)

Instituto Clínico y de Investigación Interdisciplinar en Neurociencias
(Santander)



Introducción

Nuestro cerebro constituye la base sobre la cual se sostiene toda experiencia humana, estando dinamizado por 86 mil millones de neuronas, células de la glía y trillones de conexiones. Con él, las personas sentimos, pensamos y actuamos, incluyendo,

no solo el registro veraz de la realidad empírica, sino también todo aquello que puede ser proyectado, soñado o temido como evento meramente anticipado o imaginado. Dentro del elenco de capacidades que implica nuestro entramado neurofuncional, destaca la capacidad de aprendizaje, la cual, no solo conlleva procesos mnésicos y estrategias cogniti-