

Tomás Ortiz

Neurociencia en la escuela

en la escuela

**HERVAT: investigación
neuroeducativa para la
mejora del aprendizaje**

Prólogo de **José Antonio Marina**

biblioteca
**INNOVACIÓN
EDUCATIVA**



Tomás Ortiz

Neurociencia en la escuela

HERVAT: investigación
neuroeducativa para la
mejora del aprendizaje

Prólogo de **José Antonio Marina**

biblioteca
INNOVACIÓN
EDUCATIVA



*Un niño puede convertirse
en el mejor constructor
de su propio desarrollo cerebral,
aprendiendo a cuidar su cuerpo.
¡Enseñémosle!*

Nota del editor

La llamada neuroeducación es un constructo reciente derivado de una sugerente combinación de sociopedagogía, neuropsicología, neurología, neurobiología y otras neurociencias, todo ello enfocado a la mejora de los procesos cognitivos. Es, por tanto, una ciencia emergente, que nos abre la expectativa de entender cómo aprende el cerebro y la gran esperanza de lograr que la escuela sea un espacio de plena inclusión, donde todas las personas desarrollen al máximo su potencial.

Con esa misma esperanza de mejora de la enseñanza y del aprendizaje, recibimos las propuestas de neurociencia aplicada a la educación. La Biblioteca de Innovación Educativa se interesa por identificar y presentar nuevas propuestas neuroeducativas que puedan generar cambios profundos en la enseñanza y el aprendizaje. Pero lo hace con un sano escepticismo, consciente del estado todavía preliminar del conocimiento del cerebro humano.

En efecto, estamos lejos de conocer cómo aprende el cerebro, y se necesita mucha prudencia ante el anuncio de los nuevos “neuroelixires” de veneno de serpiente, especialmente si prometen cambios rápidos y radicales –recordemos que educar lleva su tiempo– y si existen intereses económicos detrás. En torno a la neurociencia ha surgido una gran industria de entrenamiento cerebral, y es necesario filtrar con rigor las propuestas con base científica de las que sirven a intereses espurios.

La escuela recoge con avidez las novedades, pero no siempre lo hace desde una cultura de búsqueda de evidencias, de modo que no es difícil encontrar en las aulas propuestas catalogadas como neuromitos por investigadores de prestigio. Los estudios muestran que los neuromitos sobre el cerebro y el aprendizaje están muy extendidos en el ámbito educativo. En este sentido, Félix Pardo explica que “es habitual encontrar entre los maestros y profesores adhesiones a propuestas

pedagógicas que confirman sus prejuicios y creencias, sin haber comprobado su validez con sus alumnos.”

Nos parece que esta obra de Tomás Ortiz incorpora la humildad y el escepticismo necesarios para acercarse a la neuroeducación. Frente a la avalancha de propuestas comerciales de entrenamiento cognitivo que llaman a las puertas de la escuela, sin base experimental y con grandes intereses económicos, el método HERVAT aporta un acercamiento pragmático –asumiendo las limitaciones de la experimentación– y una vocación de gratuidad total de las aportaciones.

El programa presentado en este libro es, ante todo, una hipótesis de trabajo que busca evidencias de confirmación o refutación por vía experimental, con el fin de aprovechar los descubrimientos neurocientíficos en el desarrollo de la memoria, la atención y el aprendizaje. En la práctica, se basa en la generación de hábitos saludables que buscan la mejora de los procesos neurofisiológicos y de los estados atencionales. El propio autor explica en las consideraciones finales que su propuesta es solo un primer paso que necesita más investigación: “el afianzamiento del programa neuroeducativo HERVAT en el contexto educativo necesita mucho más tiempo de aplicación y muchas investigaciones para poder dar una respuesta científica lo suficientemente robusta como para poder incluirlo en los sistemas de enseñanza de forma segura y eficaz.”

Sin duda se incluyen en el programa propuestas controvertidas, como la de la hidratación, sobre la que existe una fuerte polémica en la literatura científica. Pero eso no significa que haya una respuesta definitiva; por ejemplo, existen publicaciones indexadas que correlacionan el consumo de agua en niños y la mejora en algunas funciones ejecutivas del cerebro. Lo mismo ocurre con la alimentación, el ejercicio físico o el equilibrio. En ciencia no hay nada definitivo y todo debe someterse a un proceso de falsación. Como sostenía Popper, lo que caracteriza a la ciencia no es la posesión de verdades irrefutables, sino la búsqueda desinteresada e incesante de la verdad.

Tomemos, por tanto, esta sugerente propuesta, con todas las cautelas necesarias, no como un listado de conclusiones cerradas, sino como una hipótesis en proceso de prueba experimental, inspirada en la neurociencia y avalada por la observación en el contexto del aula.

Prólogo

La neurología se ha puesto de moda y han aparecido múltiples usos retóricos del prefijo “neuro”: *neuroeconomía*, *neuromarketing*, *neuropolítica*, *neuroética*, y, por supuesto, *neuroeducación*. Esta última aplicación parece muy razonable. Existe la convicción generalizada de que el mejor conocimiento del cerebro puede mejorar los métodos de enseñanza y de aprendizaje de la misma manera que el conocimiento de la fisiología del ejercicio físico ha aumentado la eficacia de los entrenamientos y el rendimiento de los atletas. Al fin y al cabo, la educación tiene como último objetivo ayudar a cada alumno a cambiar su propio cerebro.

Sin embargo, el interés por la neurociencia del aprendizaje ha dado lugar a una bibliografía amplísima, pero desigual. Como ha escrito Bruer, “los libros sobre la «educación basada en el cerebro» constituyen un género literario que proporciona una mezcla popular de hechos, falsas interpretaciones y especulaciones. No es el buen camino para presentar la ciencia del aprendizaje”¹. Marino Pérez Álvarez, catedrático de la Universidad de Oviedo, se ha quejado de un “cerebrocentrismo” que pretende explicar todo apelando al cerebro, cosa que está más allá de sus posibilidades².

No se trata solo de un género literario. Ha aparecido una floreciente industria del entrenamiento mental (*brain-training industry*) que mueve más de mil millones de dólares en Estados Unidos. Mediante programas informáticos, promete mejorar la inteligencia, aumentar la memoria, resolver problemas de déficit de atención e hiperactividad, prevenir el alzhéimer, mantener la eficiencia cognitiva en la vejez, etc. A pesar del éxito comercial, se han disparado algunas alarmas.

El pasado año, la empresa Lumo Labs, que comercializa el programa Lumosity, aceptó pagar dos millones de dólares como multa a la Federal Trade Commission, que la había acusado de publicidad engañosa, al

prometer más de lo que podía dar. En octubre de 2014, un grupo de 70 científicos de la Universidad Stanford y del Max Planck Institute de Berlín publicaron una carta en la que afirmaban que esos programas no tenían base científica. El tema parecía sentenciado pero, poco después, 120 científicos de diferentes universidades y centros de investigación publicaron otra carta que refutaba la anterior y afirmaba la eficacia del entrenamiento cognitivo. Esta carta la firman expertos muy destacados, como Michael Merzenich, uno de los más notables investigadores en plasticidad cerebral, que es el fundamento de todo aprendizaje³. Esta disparidad de opiniones nos exige ser cautelosos desde el mundo de la educación respecto de esas propuestas milagrosas. La neurociencia nos ofrece sin duda grandes posibilidades, pero necesitamos una colaboración rigurosa entre neurocientíficos y educadores, y no un “corta y pega” con ocasión o sin ella, como se hace frecuentemente.

En ese deseable camino de cooperación se mueve el presente libro, que tiene para mí cuatro atractivos: es riguroso, es optimista, es humilde y es práctico. Es riguroso porque aprovecha información científica de calidad. Es optimista porque la neurología es una ciencia optimista: cada descubrimiento nos revela nuevas posibilidades de la inteligencia humana. Es humilde porque reconoce que, como, dijo hace años Kathleen Madigan, “no podemos ir de la neurociencia al aula porque no sabemos bastante neurociencia”. Y es práctico: “El objetivo mayor de este libro –escribe Ortiz– es lograr que neurocientíficos, padres y educadores se entiendan mejor, tengan unas mismas fuentes de estudio, adopten un mismo vocabulario, compartan metas educativas consideradas deseables por todos y que, particularmente los padres y los maestros, coincidan en un mismo sistema de enseñar y de formar a nuestros niños y adolescentes; en definitiva, contribuir a mejorar nuestros sistemas de enseñanza a la luz de los nuevos conocimientos de la neurociencia”.

Estamos en un momento de confusión pedagógica y carecemos de las herramientas necesarias para resolver los colosales problemas con que nos enfrentamos. Multitud de voces hablan de que los sistemas educativos actuales están agotados, de que tenemos que reinventar, redefinir, visitar, rediseñarlo todo, pero no se pasa de los buenos deseos. Creo que necesitamos una “superciencia” de la educación que aproveche el conocimiento de las restantes ciencias y les ponga deberes.

No digo esto por petulancia profesional, sino porque la educación es la fuerza evolutiva que ha dado lugar a nuestra especie.

Los humanos podemos definirnos como “la especie que educa a sus crías y, al hacerlo, les transmite la experiencia acumulada”. El cerebro creó la cultura que, a su vez, recreó el cerebro. Por eso necesitamos esa “superciencia” que nos permita justificar lo que hay que transmitir y cómo hacerlo. En este momento, ¿quién está en condiciones de decidir lo que nuestros alumnos deben aprender? ¿Los científicos?: no, porque cada uno solo sabe de su ciencia. ¿Los políticos?: tampoco, porque no tienen la formación necesaria. ¿Los sacerdotes?: no, porque solo se dirigen a sus fieles. ¿Los padres?: la tarea les desborda. ¿Los empresarios?: solo conocen la mano de obra que necesitan. Únicamente una superciencia de alto nivel, conocedora del pasado y con planes justificados para el futuro puede encargarse de tan transcendental tarea. Hasta entonces, estaremos dando palos de ciego.

La neurociencia se ha dado cuenta de esa necesidad. Por eso, en el 2006 se constituyó la International Mind, Brain and Education, con la idea de constituir una ciencia no multidisciplinar, sino transdisciplinar, es decir, a un nivel superior, que tratara estos temas. A mi juicio, el intento no ha tenido el éxito esperado porque procedía del campo de la neurociencia, cuando, como dice Geake, “debe ser la ciencia de la educación la que dirija la agenda de la neurociencia educativa”⁴.

La neurociencia debe cumplir unos objetivos educativos concretos. Ayudar a los profesores a: 1. entender el proceso educativo; 2. resolver trastornos del aprendizaje de origen neurológico; 3. mejorar los procesos de aprendizaje y a incrementar las posibilidades de la inteligencia humana, sugiriendo nuevos métodos y validando los elaborados por la pedagogía; y 4. establecer sistemas eficientes de interacción entre cerebro humano y tecnología.

El libro de Tomás Ortiz cumple esos objetivos. Tiene dos partes. La primera es una revisión de los principales temas de neurociencia que deben ser conocidos por los docentes y los padres. En primer lugar, la plasticidad del cerebro, que permite el aprendizaje. Lo que hacemos a través de la educación es transformar el cerebro de nuestros alumnos e hijos. Y esta es una operación extremadamente delicada, que exige conocimiento y responsabilidad.

Otro tema importante es el desarrollo cognitivo. Desde el

nacimiento, el cerebro sigue unas pautas de crecimiento que le permiten ampliar sus competencias. Nos conviene saber si existen períodos críticos, ventanas de oportunidad, en los que resulte más fácil aprender algo determinado. Por ejemplo, la neurociencia nos ha indicado que el cerebro del adolescente sufre un profundo cambio, que altera su anatomía y su funcionamiento, y que hace posible una segunda edad de oro del aprendizaje personal. La influencia de la emoción en el proceso educativo es también estudiada. También nos ha enseñado la complejidad de la atención, una función cognitiva esencial, y la importancia de las “funciones ejecutivas”, encargadas de gestionar todas las operaciones mentales.

Ortiz dedica un capítulo a estudiar la influencia de las nuevas tecnologías en el proceso de aprendizaje. Llama la atención sobre lo que podríamos llamar “higiene cerebral”. Como órgano corporal, necesita estar bien alimentado, oxigenado, irrigado e hidratado. Está suficientemente demostrada la influencia del ejercicio físico en el funcionamiento cognitivo.

En la segunda parte del libro, Ortiz nos presenta un programa para mejorar el aprendizaje, al que llama HERVAT (acrónimo de hidratación, equilibrio, respiración, y control visual, auditivo y táctil). De acuerdo con lo estudiado previamente, su objetivo es preparar el cerebro del alumno para que esté en condiciones de aprender. Esto implica cuidar de su estado físico y fortalecer su atención, que es la llave del aprendizaje.

Tal como lo interpreto, no es un programa para aprender, sino para preparar al cerebro del alumno para que aprenda. Por eso, está diseñado para que los niños lo ejecuten durante cinco minutos antes de cada clase. Las pruebas objetivas, hechas con grupos de control, parece que confirman cambios beneficiosos en el funcionamiento cognitivo. Y, lo que es más importante, en los centros educativos en que se ha implantado, los docentes reconocen una mejoría en el rendimiento de los alumnos.

La neurociencia confirma lo que los docentes sabíamos de manera práctica: que el cerebro del alumno necesita activarse para estar en condiciones de realizar bien su trabajo; da igual que sea concentrarse, pensar, hacer un ejercicio físico o aprender. Antes de comenzar una clase debemos “despertar” el cerebro de nuestros alumnos. En algunos colegios se dedican los primeros minutos de la primera clase a poner al

alumno en “situación de aprendizaje”; el alumno arranca así su jornada con unos breves momentos de reflexión en los que toma conciencia de que el día ha empezado. Justo después, **desarrolla el plan de la jornada**⁵ y sus objetivos.

Eric Jensen, un experto en neurología de la educación, ha organizado unos campamentos de aprendizaje. Lo cuenta así: “El programa SuperCamp incluye estas sugerencias. Cada mañana se comienza con el momento llamado «estar preparados para aprender». Estos rituales incluyen un paseo matutino, tiempo con los miembros del equipo para discutir problemas personales, revisar la enseñanza del día anterior. Tales transiciones permiten al cerebro cambiar al estado químico correcto necesario para aprender”⁶.

El programa HERVAT se mueve en esa misma línea, insistiendo en su justificación neurológica. La hidratación es un factor exclusivamente fisiológico. La respiración es un proceso orgánico, pero cuyo uso consciente tiene gran influencia para superar el estrés o calmar al alumno; de ahí la utilización en la escuela de los métodos de *mindfulness*. Por su parte, el equilibrio y los ejercicios visuales, auditivos y táctiles son ejercicios para favorecer la atención voluntaria⁷. Ortiz insiste mucho en que el aprendizaje de los hábitos se hace por repetición sistemática. Una de las novedades de la neurociencia moderna es su interés por las estructuras neuronales de los hábitos.⁸

Este programa abre una línea de investigación que deberá continuarse; pero lo que más me interesa es que demuestra que neurociencia y educación pueden cooperar y que necesitamos tender puentes entre el laboratorio y el aula.

¹ BRUER, J. Y.: *In search of... brain-based education*, en *The Jossey-Bass Reader on the Brain and Learning*. San Francisco: Wiley, 2008.

² DUHIGG, C.: *El poder de los hábitos*. Barcelona: Urano, 2012.

³ GEAKE, J.: *Position statement on motivation, methodology, and practical implications on educational neuroscience research: MRI studies on the neural correlates of creative intelligence*, en: K. E. Pattern y S.

⁴ JENSEN, E.: *Brain-based learning: the new paradigm of teaching*. Thousand Oaks: Corwin Press (Sage); 2008.

⁵ MARINA, J. A.: *¿Puede usted aumentar su inteligencia?* *El Confidencial*, 4-

4-2017.

⁶ PÉREZ ÁLVAREZ, M.: *El mito del cerebro creador*. Alianza Editorial, Madrid, 2011.

⁷ Una versión primera del programa se denominaba HERA, acrónimo de *hidratación, equilibrio, respiración y atención*. En este último factor se incluía el control visual, auditivo y táctil. Llorente, G., Oca J., Solana, A., Ortiz, T. *Mejora de la atención y de áreas cerebrales asociadas en niños de edad escolar a través de un programa neurocognitivo*, Participación Educativa, pp. 47-60, diciembre 2012.

⁸ R. CAMPBELL: *Educational neuroscience*, Chichester: Wiley-Blackwell, 2011.

Parte I
Neurociencia
y educación

Capítulo uno

¿Qué aporta la neurociencia a la educación?

Los últimos avances en la neurociencia cognitiva están contribuyendo a entender mejor cómo la estimulación ambiental es capaz de influir en la actividad cerebral, no solo del adulto sino también del niño y del adolescente (Glannon, 2014). Hoy día tenemos clara la importancia de cómo una adecuada estimulación ambiental temprana, reglada, regular, diaria y sistemática con una determinada frecuencia, intensidad, repetición y sincronización de patrones estimulares sencillos induce el crecimiento dendrítico y aumenta el número de conexiones sinápticas entre las ya existentes. Todo ello mejora el desarrollo del cerebro hasta un nivel óptimo. Los alumnos tienen en común motivaciones que pueden abordarse con programas de enriquecimiento adaptados a sus necesidades. Las motivaciones pueden detectarse con claridad en edades tempranas; si no son atendidas, repercutirán negativamente en el desarrollo personal y social, e interferirán de forma significativa desde el primer momento en los aprendizajes escolares, así como en la integración y el equilibrio sociopersonal del alumno.

Las neuronas se regeneran como consecuencia de estimulaciones ambientales para adaptarse mejor al medioambiente. Hay que incorporar la “novedad” o repetición justa para crear los automatismos mínimos necesarios, sincronizados temporalmente, y lograr la generación de nuevas conexiones cerebrales entre distintas áreas corticales, así como para estabilizar procesos neurofuncionales básicos. Con ello se consigue un buen aprendizaje escolar y se promueve el desarrollo cerebral integral.

Por eso, es de vital importancia disponer de una estrategia neuroeducativa para que el alumno aprenda de forma más eficiente. No podemos olvidar que la eficacia de la estimulación ha sido demostrada en una amplia diversidad de estudios; de hecho, se sabe que la actividad

regular, así como un ambiente enriquecido, estimulan el crecimiento de nuevas neuronas y conexiones nerviosas a lo largo de toda la vida, principalmente en el hipocampo (Van Praag y cols., 1999; Gheusi y Rochefort, 2002; Greenwood y Parent, 2002; Goswami, 2016).

La neurociencia aporta trabajos científicos que ayudan no solamente a entender mejor el cerebro del niño y del adolescente, sino a desarrollar programas neuroeducativos que pueden contribuir a mejorar el aprendizaje escolar. Existen trabajos que están permitiendo entender las bases neuronales de la dislexia, del trastorno específico del lenguaje y de alteraciones cognitivas asociadas al aprendizaje escolar (Ylinen y Kujala, 2015; Habib y cols., 2016; Serniclaes y cols., 2015). También se ha comprobado la eficacia de la formación musical y del entrenamiento audiofonológico en mejorar el aprendizaje de idiomas, la lectura y el desarrollo del lenguaje (François y cols., 2015; Fonseca-Mora y cols., 2015; Kraus y cols., 2014). Otro tipo de estudios justifican la danza, la estimulación sensoriomotriz o el reconocimiento somatosensorial como métodos neuropedagógicos para mejorar las funciones cognitivas, emocionales y motoras, así como para resolver diferentes problemas cognitivos, en particular los problemas aritméticos o del aprendizaje lectoescritor (Vidal y cols., 2015; Berteletti y Booth, 2015; Danna y Velay, 2015).

Probablemente uno de los mayores aportes de la neurociencia a la educación sea la importancia que tiene el conocimiento de nuestro cuerpo, de nuestras sensaciones y de nuestra motricidad en la mejora de las funciones cognitivas. De hecho, se sabe que, a medida que la información sobre un objeto es enviada a través de más rutas cerebrales, uno se percata de más y más detalles. La información exterior alcanza la parte del cerebro responsable de planificar los movimientos (conocida como el área premotora), y esta ordena entonces un conjunto de movimientos. El reconocimiento previo del entorno real mejora el recuerdo de patrones aprendidos, y favorece respuestas más acertadas y rápidas. Eso sucede porque durante este análisis el cerebro es bombardeado con mucha información irrelevante que se va eliminando, permitiendo concentrarse en la información relevante.

Cuando vemos un objeto y tratamos de alcanzarlo, diversos programas motores en el cerebro se activan de manera involuntaria. Estos programas compiten entre sí, pero solamente un programa

emerge como vencedor de esa competición y queda listo para entrar en acción. Los otros programas (que darían como resultado movimientos erróneos) son eliminados. El factor clave que ayuda a explicar por qué no todos los movimientos se llevan a cabo con el mismo nivel de precisión es lo que llamamos “ruido”, que se define como la diferencia entre lo que realmente está ocurriendo y lo que percibe el cerebro. Este “ruido” impide una buena toma de decisiones, aumenta los errores de percepción y dificulta la acción. Los resultados demuestran que los errores de percepción tienen un impacto mucho mayor sobre la acción motriz que los errores para controlar los músculos; y la única forma de evitarlos es mediante la repetición motriz y el aprendizaje sensorperceptivo.

En los movimientos de precisión, la ejecución puede ser óptima, y no se añade “ruido” en la planificación y ejecución del movimiento, como consecuencia de una mejora en los *inputs* sensoriales (Lisberger y cols., 2005). También se puede reducir este ruido entrenando a los niños en programas en que tienen que imaginar movimientos sencillos de brazos, muñecas o dedos, sin realizar dichos movimientos (Edelman y cols., 2016). Enseñar a los alumnos a visualizar, con los ojos cerrados, los mismos movimientos de aprendizaje escolar puede contribuir a mejorar no solo su realización (evitando errores y recordando mejor la tarea aprendida), sino también la propia cinética de los movimientos corporales. Por ejemplo, la mejora de la motilidad ocular es muy importante para las tareas escolares asociadas con la lectoescritura. No cabe la menor duda de que la neurociencia está llena de estudios aplicables a la educación. Sin embargo, queda todavía un largo trecho por andar para que estos estudios puedan aplicarse con éxito en el ámbito escolar. En esta línea de pensamiento, el Centro de Investigación e Innovación Educativas (CERI), de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2002) señala:

El aprendizaje basado en el cerebro no es una panacea que resolverá todos los problemas de la educación. No obstante, las investigaciones dirigidas a la comprensión del aprendizaje y desarrolladas desde esta perspectiva pueden indicar ciertas direcciones a los especialistas, a los decisores políticos y a los prácticos de la educación que desearían disponer de una enseñanza y un aprendizaje mejor fundados. Dichas

investigaciones ofrecerán, además, mejores oportunidades a niños, jóvenes y adultos que padecen dificultades de aprendizaje.

Alemania, Japón, Países Bajos, Estados Unidos, Dinamarca o Reino Unido han emprendido iniciativas nacionales que comparten, en lo esencial, ese objetivo general consistente en aproximar el mundo de la neurociencia y el mundo de la educación. Así:

- Alemania puso en marcha en 2004 el Centro para la Transferencia entre Neurociencia y Aprendizaje (ZNL), en el que un equipo multidisciplinar se ocupa del estudio de la dislexia, la actividad física y el aprendizaje, el aprendizaje y las emociones, el aprendizaje y la memoria, la consolidación de la memoria o el aprendizaje y la nutrición.
- Japón, a través del Instituto de Investigación en Ciencia y Tecnología para la Sociedad (JST-RISTEX), está efectuando estudios longitudinales, con un gran potencial científico, sobre temáticas diversas relacionadas con la neurociencia y el aprendizaje. Entre ellas cabe citar la importancia relativa de los factores genéticos y ambientales y de sus interacciones, la especialización cerebral y el aprendizaje de las lenguas, la motivación y la eficacia de los aprendizajes, los mecanismos de desarrollo de la sociabilidad y de las competencias sociales en el niño o de las funciones cerebrales en las personas normales de cierta edad y en los niños con problemas de aprendizaje.
- Países Bajos creó en 2002 el Comité Cerebro y Aprendizaje, destinado a promover un intercambio activo de conocimientos y experiencias entre neurocientíficos, científicos cognitivos, investigadores en ciencias de la educación y educadores.
- Estados Unidos ha puesto en marcha el programa Mente, Cerebro y Educación (MBE) a través de la Escuela de Posgrado en Educación de la Universidad de Harvard. Pretende conectar la investigación científica con la práctica educativa, de un modo semejante a como se conecta la biología con la medicina. Otras universidades e instituciones norteamericanas han iniciado programas semejantes y, sobre esta base, un grupo internacional ha creado en 2004 la Sociedad Internacional para la Mente, el Cerebro y la Educación, y fundado la revista *Mind, Brain and Education*. Se trata, en definitiva, de generar estructuras que permitan a la investigación penetrar en las escuelas y

- a la práctica educativa entrar en los laboratorios de investigación.
- Reino Unido, gracias a la iniciativa de la Universidad de Cambridge, constituye una referencia mundial en neurociencia fundamental y clínica. En 2005 se creó el Centre for Neuroscience in Education. Con el fin de promover su presencia en el mundo educativo y de facilitar la transferencia de conocimientos científicos al ámbito de la práctica docente, se ha hecho depender de la Facultad de Educación. Por otro lado, la interacción entre el centro y los responsables de las políticas educativas, en términos de consultas y asesoramiento, ya se está produciendo.
 - Dinamarca ha puesto en marcha su Learning Lab Denmark (LLD), cuyos trabajos se centran en la neurociencia y el aprendizaje. En particular, se centra en las relaciones entre cerebro, cuerpo y cognición, así como en la formulación de teorías del aprendizaje capaces de integrar los descubrimientos efectuados por la biología evolutiva, la neurociencia y las ciencias cognitivas.
 - España, y más concretamente el Consejo Escolar de la Comunidad de Madrid en su condición de órgano superior de consulta y de participación en materia de enseñanza, puso en marcha en 2008 los coloquios *Pensar el futuro*, cuyos contenidos en su primera edición fueron *Neurociencia y Educación*, con el propósito de contribuir a la mejora de nuestra educación.

Capítulo dos

El reto de la neuropedagogía

La neurociencia está avanzando en los últimos años de forma espectacular en múltiples campos del saber humano, como la psicología, la economía, la bioética o la pedagogía.

El tratar de integrar los conocimientos del cerebro y aplicarlos a la educación constituye un trabajo muy arduo, difícil y de gran complejidad. La educación no es una disciplina que tenga como principal objetivo la investigación. Desde un punto de vista científico, dispone de una limitada capacidad explicativa o predictiva. Desde la neurociencia tampoco disponemos de un conocimiento claro de cómo organiza el cerebro temporalmente las nuevas conexiones y redes neuronales o cómo fortalece parte de las ya existentes en el entorno escolar.

A la vista de lo anterior, las dificultades para entender el proceso neuroeducativo se acentúan mucho más, por lo que la puesta en marcha de programas neuropedagógicos en la práctica diaria de la enseñanza es uno de los retos más importantes a los que se enfrentará la educación en los próximos años. Decía hace más de una década Kathleen Madigan (2001) que “no podemos ir de la neurociencia a la clase porque no sabemos bastante sobre neurociencia”; y, probablemente, porque la falta de investigación en neuroeducación hace que tengamos muchos menos conocimientos sobre el funcionamiento del cerebro en desarrollo en contextos educativos.

A todo esto tenemos que añadir que existe una estructura de la enseñanza, un currículo con contenidos muy definidos, que dificultan enormemente cualquier programa neuropedagógico insertado en la dinámica de aprendizaje escolar. Por otro lado, la gran diversidad entre maestros y educadores, su intenso ritmo de trabajo, así como el excesivo número de alumnos por aula conllevan una dificultad añadida para poder poner en marcha programas neuroeducativos eficaces. No obstante, la neurociencia aporta datos científicos para mejorar el

funcionamiento del cerebro relacionados con habilidades perceptivas, cognitivas, emocionales, creativas y motoras específicas. Y lo hace mediante diseños experimentales que permiten que el cerebro sea consciente de su propia actividad, como en el caso del llamado aprendizaje por retroalimentación (Gruzelier, 2014; Sarkamo y cols., 2008; Bringas y cols., 2015).

Un aspecto importante que la neurociencia puede aportar a la neuroeducación es el de la facilitación de programas que permitan adaptar la experiencia escolar al estado emocional y social de los alumnos, sobre todo en el caso de aquellos cuyas relaciones de interacción social muchas veces generan estados dilatados de estrés a lo largo del curso escolar. Aunque los mecanismos exactos de la plasticidad neuronal subyacente al estrés escolar aún no se comprenden totalmente, parece claro que el estrés puede aumentar la excitación de la amígdala. Ello provoca efectos negativos sobre el hipocampo y la corteza prefrontal, estructuras cerebrales muy importantes para el aprendizaje y la memoria (Davidson y McEwen, 2012).

Por último, no podemos olvidar los posibles problemas e implicaciones bioéticas que pueden plantear las neurotecnologías en la modulación de los circuitos cerebrales, y que requiere un acuerdo de muchas disciplinas humanas así como de todos los agentes implicados en el proceso educativo (Vuilleumier y cols., 2014).

En esta línea de trabajo se presenta el programa neuroeducativo HERVAT. Su objetivo es mejorar el aprendizaje escolar del niño mediante la adquisición de hábitos saludables para el desarrollo cerebral. Los inicios se llevaron a cabo hace varios años en el colegio Liceo Sorolla de Pozuelo de Alarcón, en Madrid (Llorente y cols., 2012). Se trata de un programa de entrenamiento cerebral previo al aprendizaje escolar que permitirá al niño seleccionar, organizar, manejar e integrar mejor los procesos de atención y de discriminación de estímulos ambientales.

El aprendizaje de los niños es mucho más rápido que el de los adultos, lo cual no significa que sea más efectivo. Un adulto con menos información es capaz de dar respuestas mucho más coherentes que el niño o el adolescente. El adulto aprende mediante modelos que ya tiene integrados en amplias redes neuronales cerebrales (el “cómo”). Es capaz de llevar a cabo múltiples decisiones y ejecutar funciones cognitivas a

partir de poca información (el “qué”).

Es cierto que en esta etapa de la vida resulta necesario aprender a leer y a escribir, conocer las matemáticas, las ciencias sociales, etc. También es cierto que existen alteraciones en los procesos de aprendizaje en ciertos niños como consecuencia de cambios cerebrales que habremos de identificar, analizar y reconducir mediante programas específicos y adaptados a cada problema psicopedagógico en sí mismo. En este sentido, determinados descubrimientos de la neurociencia permitirán mejorar enormemente el sistema de enseñanza a fin de lograr un mejor aprendizaje. Por ejemplo, en relación con la lectoescritura, se ha comprobado la importancia de los *inputs* del córtex visual hacia el cerebelo durante la escritura: existe una relación inversa entre la curvatura y la velocidad, es decir, se escribe más deprisa con líneas rectas que con líneas curvas (Grossberg y Paine, 2000).

Tal vez el objetivo más importante de la neurociencia en el campo de la educación sea la posibilidad de modificar las estructuras cerebrales que subyacen a los diferentes procesos de aprendizaje mediante un sistema de enseñanza coherente con el desarrollo del cerebro. Aunque esto mejoraría sustancialmente la eficacia de los procesos de aprendizaje, no sería suficiente para lograr una buena educación. El niño debe ser educado para integrarse en la sociedad en la que le ha tocado vivir, y esto rebasa la capacidad y responsabilidad de la propia escuela y del propio programa neuroeducativo HERVAT.

Conocer cómo el cerebro elabora la información, la aprende, la procesa, la ejecuta y procede a la toma de decisiones será de una gran ayuda para la enseñanza específica de procesos cognitivos y para la educación general del alumno. A pesar de lo dicho, todavía los neurocientíficos están lejos de poder aplicar de forma eficiente los descubrimientos del funcionamiento del cerebro a la práctica de la enseñanza. Entre otras razones, porque aún no se ha conseguido esclarecer las bases neurofisiológicas del propio proceso de aprendizaje, y particularmente en etapas tan complejas como la infancia y la adolescencia, durante las cuales el cerebro se encuentra en pleno desarrollo.

Si consiguiésemos sensibilizar a maestros y educadores sobre la trascendencia que tienen sus enseñanzas en el modelado estructural del cerebro del niño-adolescente y sobre la gran capacidad que tiene el

cerebro para reorganizar redes neuronales, para utilizar diferentes áreas compensatorias de otras hipofuncionantes o para colonizar áreas no diseñadas genéticamente para un determinado proceso (p. ej., los ciegos colonizan áreas occipitales de organización espacial y visión humana mediante el tacto) (Ortiz y cols., 2011), y si consiguiésemos ir de la mano en la organización de programas educativos, podríamos lograr, entre todos, mejorar enormemente el desarrollo y la dinámica cerebral, así como la capacidad de aprendizaje de nuestros niños. En tal caso, habríamos avanzado muchísimo en la educación infanto-juvenil y podríamos dar por bien empleado el esfuerzo que la realización de este programa neuroeducativo ha supuesto.

La neurociencia puede ayudarnos mediante sus aportaciones a diseñar programas de enseñanza específicos de acuerdo con el currículo escolar. También puede aportarnos datos que nos ayuden a entender el proceso de aprendizaje en el cerebro y por qué determinados entornos educativos funcionan y otros no. Estas reflexiones preliminares sobre las limitaciones y las posibilidades de la neurociencia en la mejora de los aprendizajes escolares nos llevan a la conclusión de que, probablemente, el objetivo mayor sea lograr que neurocientíficos, padres y educadores se entiendan mejor, que tengan unas mismas fuentes de estudio, que adopten un mismo vocabulario, que compartan metas educativas consideradas deseables por todos y, particularmente, que los padres y los maestros coincidan en un mismo sistema de enseñanza para formar a nuestros niños y adolescentes. En definitiva, contribuir a mejorar nuestros sistemas de enseñanza a la luz de los nuevos conocimientos de la neurociencia.

La neurociencia todavía no dispone de conocimientos suficientes para poder explicar los distintos parámetros de los que depende un aprendizaje efectivo e influir decisivamente sobre la práctica y sobre el impacto en la enseñanza. Por otro lado, los conocimientos sobre el neurodesarrollo no están todavía maduros o lo suficientemente contrastados como para dar una respuesta clara sobre las claves del aprendizaje en esta etapa de la vida. No obstante, existe en este campo una gran abundancia de estudios y publicaciones que, con la ayuda de padres y educadores (o la interacción con ellos), permitirán construir nuevos modelos neuropedagógicos que hagan posible una mejora sustancial tanto en el desarrollo cerebral del niño como de su capacidad

de aprendizaje y adaptación al medioambiente.

La neurociencia actual, a través de la neurofisiología y la neuroimagen, está investigando los procesos cognitivos que se desarrollan desde las primeras etapas de nuestra vida hasta la adolescencia. Los procesos de aprendizaje son considerados por los neurocientíficos procesos cerebrales mediante los cuales el cerebro reacciona ante un estímulo, lo analiza, lo procesa, lo integra y lo ejecuta.

El continuo cambio cerebral que se produce a lo largo de la vida en su interacción con el medioambiente, sobre la base de la biología y de la experiencia (con especial interés e incidencia en la etapa infantil), determinará la estructura y el funcionamiento cerebrales. El comienzo de la estimulación ambiental, las emociones, las motivaciones o el aprendizaje a través de la acción serán decisivos para un buen desarrollo del cerebro. La estimulación ambiental reglada dará lugar a cambios estructurales específicos que originarán diferentes redes neuronales a la hora de afrontar cualquier proceso cognitivo.

No cabe la menor duda de que los últimos conocimientos y avances científicos sobre el funcionamiento del cerebro en relación con los procesos de aprendizaje y desarrollo durante la niñez y la adolescencia están contribuyendo de forma decisiva a mejorar tanto la enseñanza como el aprendizaje escolar. En este sentido, apunta Francisco Mora (2013) que los conocimientos que tenemos actualmente sobre el cerebro nos ofrecen herramientas que ayudan a los docentes a enseñar más eficientemente, a detectar problemas neurológicos que impiden un buen desarrollo escolar, y a entender mejor la importancia de la curiosidad, la atención, la emoción y la cognición en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Sin embargo, el *quid* de la cuestión radica en formar a profesores en programas neurodidácticos dentro del contexto, la práctica y la enseñanza escolar que sean eficaces, fiables y con capacidad de mejora en el aprendizaje y la educación en edades infantiles y adolescentes. Como afirma José Antonio Marina en el prólogo de este libro, la neurociencia y la educación deberían establecer entre sí una colaboración más estrecha en la que no solo se tendrían que aprovechar los descubrimientos producidos en el ámbito de la neurociencia, sino también demandar a los neurocientíficos la aclaración de ciertos temas de interés educativo para poder conseguir cuatro grandes objetivos:

1. Ayudar a entender el proceso educativo.
2. Ayudar a resolver trastornos del aprendizaje de origen neurológico.
3. Ayudar a mejorar los procesos de aprendizaje y a incrementar las posibilidades de la inteligencia humana, sugiriendo nuevos métodos y validando los elaborados por la pedagogía.
4. Ayudar a establecer sistemas eficientes de interacción entre cerebro humano y tecnología.

Uno de los objetivos más importantes de la neuropedagogía es enseñar a aprender bien al cerebro porque, primero, se pierde mucho tiempo en mejorar de nuevo el aprendizaje y, segundo y más importante, porque lo mal aprendido ocupa mucho espacio en nuestro cerebro. El cerebro ocupa más tiempo en desaprender algo que ha sido elaborado a lo largo del tiempo erróneamente que en aprender bien cosas nuevas.

La neuropedagogía afronta el reto de mejorar el aprendizaje, para lo que se necesita conocer mejor el funcionamiento del cerebro, estudiar e investigar dónde, cuándo y cómo generar más neuronas y conexiones cerebrales y contribuir a un desarrollo integral del cerebro de los niños. Una forma de aprender mal y que no contribuye a generar y fortalecer las conexiones neuronales para poder establecer circuitos cerebrales estables es el aprendizaje mal planificado. Los profesores deben saber que la organización, secuenciación y repetición de los procesos de aprendizaje son básicas para desarrollar y mantener estables los circuitos neuronales, mientras que los estímulos aleatorios sirven para estimular y mantener activo el cerebro (Ortiz, 2010).

Los educadores tienen como misión preparar al alumnado para manejarse en un mundo futuro que todavía desconocemos, dada la velocidad de los cambios sociales, tecnológicos y de interrelación humana. Esto, como mínimo, exige nuevos modelos pedagógicos. La neuroeducación será imprescindible en este nuevo reto social. Como responsables del desarrollo cognitivo de nuestros alumnos, tenemos que crear las condiciones necesarias para que puedan desarrollar su cerebro lo más efectivamente posible dentro y fuera del aula. Los centros educativos deben apoyar a los profesores y padres con los recursos necesarios para adecuar los procesos de enseñanza y aprendizaje a la manera de trabajar del cerebro.

El modelo neuroeducativo que proponemos en este libro parte de

procesos sencillos sensoriomotores para conseguir un buen desarrollo de los procesos cognitivos. En la educación, el proceso de desarrollo cerebral cognitivo va de abajo hacia arriba, del estado estable fisiológico del organismo, de lo sensorial y de lo motor hasta llegar a las funciones más complejas del niño. La estimulación sensorial activa el cerebro y los mecanismos cerebrales que procesan la información y permiten construir autopistas neuronales de aprendizaje. Los sistemas sensoriales contienen información que se utiliza para cada proceso cognitivo.

Los procesos cognitivos forman parte de una serie de redes subcorticocorticales ampliamente distribuidas, interconectadas y solapadas entre sí. Las redes inferiores subcorticales representan los elementos sensorio perceptivos y motores más concretos y básicos de la experiencia personal. Las redes superiores corticales, más amplias, conectadas y distribuidas, representan los procesos más complejos del ser humano.

Por tanto, la experiencia sensoriomotriz, consecuencia de la experiencia e interacción con el mundo interno y externo, va a ser la base para la formación de los procesos cognitivos y de la mejora del aprendizaje escolar. En esta misma línea se pronuncia Fuster (2014) cuando habla de la “memoria de la especie”; se trata, sin duda, de una información adquirida en el curso de la evolución cuya finalidad es adaptarse al mundo en que vivimos.

La estimulación sensorial y motora sistemática activa el cerebro y los mecanismos cerebrales que procesan la información, favoreciendo el aprendizaje y permitiendo construir autopistas neuronales cognitivas estables. El programa neuroeducativo HERVAT trata de conseguir, a través de la estimulación sistemática diaria de patrones estimulares sensoriomotores y multisensoriales muy sencillos, mejorar e integrar los mecanismos subcorticales cerebrales con estructuras corticales complejas responsables de las funciones cognitivas y del aprendizaje escolar.

Capítulo tres

Neuroplasticidad y educación

Hasta casi finales del siglo pasado se pensaba que el cerebro era una estructura rígida, estable, sin apenas capacidad de modificación, por lo que no se planteaba la posibilidad de llevar a cabo estimulaciones externas ambientales para modificarlo. Sin embargo, ahora sabemos que el cerebro de nuestros niños, e incluso el de los adultos, es permeable, modificable, dinámico y con una gran capacidad de plasticidad cerebral.

Este proceso se debe al tipo de estimulación ambiental en el que el niño se desenvuelve. De hecho, diferentes estudios demuestran que niños que viven en ambientes ricos en estimulación externa se desarrollan mucho mejor que aquellos que viven ambientes pobres en estímulos externos. Numerosos estudios justifican la gran capacidad neurofisiológica que tiene el entrenamiento sensorial y cognitivo en la plasticidad cortical y en la mejora del aprendizaje y de la memoria no solamente en niños, sino también en adultos. Sabemos que el cerebro que se estimula en ambientes enriquecidos a lo largo de toda la vida se desarrolla mucho más y mejora diferentes funciones cognitivas, mientras que los ambientes deprimidos conllevan consecuencias desastrosas para el cerebro. Eso dificulta los procesos cognitivos a lo largo de la vida (Colvert y cols., 2008).

Entendemos por neuroplasticidad la capacidad de las células nerviosas para regenerarse anatómica y funcionalmente. Es la consecuencia de estimulaciones ambientales con el fin de conseguir una mejor adaptación funcional al medioambiente. La neuroplasticidad es un proceso mediante el cual las neuronas consiguen aumentar sus conexiones con otras neuronas y hacerlas estables mediante la experiencia, el aprendizaje y la estimulación sensorial y cognitiva (Feldman y Brecht, 2005). Es algo que, con otras palabras, ya intuyó hace más de un siglo Ramón y Cajal (1904) cuando dijo que “(...) la adquisición de nuevas habilidades requiere muchos años de práctica

mental y física. Para entender plenamente este complejo fenómeno se hace necesario admitir, además del refuerzo de vías orgánicas preestablecidas, la formación de vías nuevas por ramificación y crecimiento progresivo de la arborización dendrítica y terminales nerviosas”.

En esta línea de pensamiento, se considera que la plasticidad neuronal solamente se puede llevar a cabo a partir del reforzamiento de las conexiones preexistentes mediante dos procesos: el primero, el reforzamiento de dichas conexiones que sería necesario para el desarrollo del segundo, es decir, la plasticidad cerebral de otras áreas corticales. Los mecanismos básicos de esta plasticidad se dan a nivel de toda la corteza cerebral, por lo que los mapas corticales funcionales pueden cambiar constantemente sobre la base de la experiencia y el aprendizaje.

No obstante, hoy sabemos que además de la plasticidad cerebral se da otro proceso en el cerebro como consecuencia de la estimulación. Es la neurogénesis, que no es ni más ni menos que la capacidad que tiene el cerebro de generar nuevas neuronas. Diferentes estudios demuestran cómo la actividad física puede generar nuevas neuronas, además de estimular el crecimiento de nuevas conexiones nerviosas, principalmente en el hipocampo (Van Praag, 1999; Gheusi, 2002).

El cerebro produce respuestas más complejas cuando los estímulos ambientales son más exigentes y cuenta con una considerable reserva numérica de neuronas para modular tanto la entrada de la información como la complejidad de las respuestas. Esto conlleva el desarrollo paulatino de una intrincada red de circuitos neuronales, que necesitan grandes concentraciones de neuronas para ajustar las nuevas entradas de la información, reajustar sus conexiones sinápticas y almacenar los recuerdos, así como para interpretar y emitir respuestas eficientes ante cualquier estímulo y para generar nuevos aprendizajes.

En los primeros años de vida, el cerebro se encuentra en un proceso madurativo en el que continuamente se establecen nuevas conexiones sinápticas y aumentan sus estructuras. Existen muchas sinapsis que son poco o nada funcionales. Cada neurona establece en su campo dendrítico un número elevado de conexiones sinápticas, conexiones que la relacionan, en variadas escalas de intensidad, con un número elevado de otras neuronas. El “entrenamiento repetitivo” y la atención pueden

mejorar estas sinapsis y hacerlas funcionales. Así se consigue un mayor aprendizaje y una mayor rapidez en el aprendizaje escolar.

Aquellas neuronas que son poco eficientes y no van a ser estimuladas desaparecerán mediante un proceso que se llama *poda neurológica*. Consiste en eliminar conexiones sinápticas que el cerebro entiende que no sirven o son innecesarias. Podríamos decir que el maestro hace en el cerebro del niño lo mismo que el jardinero en el jardín: elige aquellos árboles que considera que van a crecer bien y elimina las malas hierbas que están alrededor, haciendo que el árbol elegido crezca con más vigor. Este proceso lo realizan los padres y los maestros de primera infancia. Son ellos los que eligen las redes del cerebro que van a estimular y que permanecerán a lo largo de toda la vida.

El ejemplo más claro es el del aprendizaje de una lengua. Si los maestros deciden antes de los 7 años que sus alumnos hablen varias lenguas, las neuronas responsables de este proceso se fortalecerán a lo largo de toda la vida. Los niños podrán ser multilingües. Por el contrario, si deciden que solo deben aprender un idioma, estos niños, cuando sean adultos, siempre serán monolingües, aunque puedan aprender otros idiomas a lo largo de su vida.

¿Para qué sirve, pues, la poda neurológica? Sirve para eliminar las sinapsis innecesarias del cerebro, aumentando la capacidad de recepción de los neurotransmisores. Así evita que los potenciales sinápticos puedan llegar a cero o lleguen a ser excesivamente grandes y dominen toda la red de conexiones sinápticas. También permite un cambio mucho más rápido y estable de las conexiones que se van formando en la interacción con el ambiente. Y, por último, mejora el aprendizaje y la estabilidad de las conexiones neuronales.

En el momento de nacer, un bebé tiene en promedio cien mil millones de neuronas, pero pocas conexiones neuronales. Estas se irán multiplicando a medida que el niño crezca, mediante la estimulación ambiental, sensorial, cognitiva y del movimiento. Alrededor de los 4-6 años tendrá un máximo de mil billones de conexiones neuronales, que irán ajustándose en función de las experiencias. Por tanto, esta es una edad crucial para el aprendizaje rápido y espontáneo.

Diversas investigaciones han demostrado que la atención es básica para la creación de nuevas conexiones neuronales y para la formación

de circuitos cerebrales estables y duraderos. En unos estudios llevados a cabo con primates, el grupo de Mezernich (Jenkins y col.,1990; Recanzone y col., 1992) demostró la importancia de la atención en el desarrollo neuronal como consecuencia del aprendizaje diario y sistemático de una tarea llevada a cabo con los dedos. Aplicado a la escuela, esto nos señala la importancia de poder llevar a cabo programas neuropedagógicos que eliminen en su mayor parte los estímulos distractores –el ruido externo– y se centren en tareas concretas durante períodos de tiempo cortos. Son programas especialmente adecuados para aquellos niños que tienen dificultades en la atención o que se distraen mucho en clase (Mahncke, y col. 2006, Spitzer, 2005. Mishra, 2016).

La actividad física también tiene un efecto positivo en el funcionamiento cognitivo, pues modifica la actividad de ciertas áreas cerebrales. El ejercicio físico posee efectos beneficiosos sobre la función cerebral, tales como promover la neuroplasticidad y aumentar el rendimiento del aprendizaje y la memoria. Puede deberse al aumento de la expresión de varios factores neurotróficos de crecimiento neuronal (Gómez-Pinilla y cols., 2001; Colcombe y cols., 2004; Jensen, 2008).

A la vista de estos datos, podemos concluir que la actividad regular estimula el crecimiento de nuevas células nerviosas y aumenta el número de conexiones sinápticas entre las ya existentes. Para conseguir esta plasticidad neuronal, necesitamos estimular de forma consistente al niño en tareas que tengan interés y requieran atención, que sean repetitivas en el tiempo, pero no estereotipadas, que se den a lo largo del tiempo y que tengan un *feedback* positivo.

Independientemente de lo que hagan los padres, no podemos olvidar que el bebé tiene unos mecanismos genéticos establecidos que favorecen desarrollos puntuales cerebrales óptimos. Esos mecanismos van a favorecer de forma natural la curiosidad por el entorno. Sin embargo, los estímulos y la experiencia deben ser adaptados a las exigencias progresivas en el desarrollo de su cerebro. Es aquí donde los padres deben implicarse de forma activa de tal forma que, si el bebé se encuentra un ambiente adecuadamente enriquecido y progresivamente adaptado a sus necesidades de crecimiento neurofuncional, probablemente su desarrollo cerebral será mucho mejor que el del niño con un ambiente pobre en estímulos, sin una dirección y organización

de los estímulos ambientales adaptados a su propio desarrollo cerebral.

¿Por qué es clave conocer la importancia de la plasticidad cerebral?

Porque los mayores cambios neuronales se producen en la infancia, sobre todo en los primeros años de la vida del niño. Es por esto por lo que el conocimiento de esos procesos es básico para que los padres y educadores entiendan la importancia de la educación, de la atención y de la estimulación adecuada en el desarrollo del cerebro. La pasividad de educadores y padres es un error que contribuirá a una pobreza en el desarrollo cerebral. Tendrá repercusiones negativas en el futuro cognitivo, profesional y social del niño. La manera como los padres crían a sus hijos modula la plasticidad cerebral. El cuidado recibido en la infancia es básico como papel protector para la salud mental y los procesos cognitivos.

Las demostraciones de afecto de los padres con sus hijos, a través de contactos sensoriales (táctiles, auditivos, visuales e incluso olfativos) estimulan la producción de oxitocina y de opioides endógenos, que facilitan los fenómenos de plasticidad cerebral y permitirán al niño afrontar mejor el estrés, le brindarán protección frente a las enfermedades mentales, le facilitarán los procesos cognitivos y el aprendizaje escolar. La falta de afectividad por parte de padres o cuidadores, así como los períodos prolongados de separación de estos, conllevará también una disminución de la hormona de crecimiento. Esa alteración está relacionada con la baja producción de factores neurotróficos y de crecimiento neuronal o NGF –de *nerve growth factor*–, responsables de los cambios en la citoarquitectura y el crecimiento de las células del hipocampo, a su vez, responsables de procesos cognitivos tan importantes como la memoria. Por último, la carencia afectiva también repercute en diferentes procesos neuronales, como la poda neuronal, la apoptosis⁹ y la hiperactividad del eje hipotálamo-hipofisiario. Esto se asocia a una mayor vulnerabilidad al estrés, a la disminución de la respuesta inmunitaria y a la presentación de cuadros de ansiedad y depresión.

Las muestras de afecto de los padres son eficaces protectores que estimulan la empatía y el compromiso en la edad adulta; son valores

que nos permiten esperar mejores comportamientos sociales de nuestros hijos. Tener con el bebé una relación activa en la que se mezclen estimulaciones sensoriales auditivas (p. ej., cantándole canciones), visuales (p. ej., mostrándole muchos objetos de colores), iniciándole a la actividad de movimientos (p. ej., haciéndole palmas e iniciándolo en este juego), táctiles (p. ej., acariciándolo), etc., aportan al niño una fuente de estímulos cuya función más importante es llevar a cabo un buen desarrollo cerebral, así como una buena adaptabilidad al medio.

Si los padres son capaces de establecer una buena relación afectiva y una estimulación adecuada mediante los recursos ambientales que tienen a su alrededor (auditivos, visuales, táctiles, de movimientos, espaciales, afectivos, emocionales, etc.), mantendrán un buen desarrollo cerebral; evitarán consecuencias neurobiológicas negativas para el cerebro en formación del bebé que repercutirían en el futuro desarrollo cognitivo, mental y emocional de su hijo; y atajarán posibles problemas mentales infantiles, como el trastorno por déficit de atención (TDA), estados de ansiedad, impulsividad, etc. Las capacidades cognitivas y emocionales del futuro niño van a depender de los procesos subyacentes interactivos con el medioambiente en la primera infancia; y van a estar mediadas por un sistema motivacional y emocional jerárquicamente organizado, capaz de crear un desarrollo neuronal armónico del bebé.

Podemos decir que el cerebro cambia dinámicamente las diferentes áreas corticales dependiendo de la interacción con el medioambiente; los niños pueden crear nuevas conexiones según la estimulación recibida; los efectos neurofuncionales son específicos en función de dicha estimulación ambiental; y son los padres y los maestros de primera infancia los responsables de la conformación del cerebro a partir de la selección de los estímulos que los bebés y niños pequeños van a recibir en esta etapa de su vida.

⁹ La apoptosis es una forma de muerte celular programada, o "suicidio celular". Es diferente de la necrosis, en la cual las células mueren debido a una lesión.

Capítulo cuatro

Neurodesarrollo y educación

El neurodesarrollo cognitivo es un proceso lento que se prolonga durante varias décadas y no tiene un paralelismo exacto con el neurodesarrollo biológico. De hecho, a los dos años el niño ha alcanzado el 80% del tamaño del cerebro adulto, y a los cinco años ya no hay aumentos significativos. Sin embargo, sus funciones cognitivas están lejos de esos porcentajes de crecimiento cerebral. Por otro lado, el neurodesarrollo se lleva a cabo por ciclos (no es lineal), y de forma heterocrónica (distintas regiones maduran en distintos momentos temporales). En los primeros años de vida se va a dar un mayor número de posibilidades de los períodos críticos (más orientados a procesos sensoriales, simples primitivos, etc.), dado el desarrollo masivo de la arborización neuronal.

El gran desarrollo neuronal de determinadas áreas cerebrales permitirá de forma natural acceder a los procesos estimulares asociados a dichas áreas y podrá justificar un mejor aprendizaje posterior. Para ello, los períodos críticos tendrán una gran relevancia. Ignorar este gran proceso neurobiológico, que permitirá un cableado cerebral más estable y dirigido a futuros procesos complejos, sería desconocer el proceso de desarrollo neurobiológico. En los períodos críticos, el cerebro debidamente desarrollado está esperando que le llegue el estímulo adecuado para ponerse en marcha, y llevar a cabo el cableado que justificará la red neuronal responsable de dicha estimulación. Las características del medio ambiente y la propia capacidad motivacional o emocional de cada niño, fijarían el tiempo propicio para dicho aprendizaje (Pena, 2003, Kisilisky, 2004).

El desarrollo cognitivo dependerá de la interacción con el medio a partir de la estimulación diferencial de la corteza parietal (asociada con procesos espaciales), del córtex temporal (implicado en el lenguaje) o de la corteza prefrontal (relacionada con el control atencional y memoria de trabajo, así como con las funciones más complejas del ser humano).

En este sentido, y a modo de ejemplo, podemos decir que el circuito del control atencional (corteza prefrontal - cíngulo anterior - corteza parietal) para tareas de inferencia, por ejemplo, identificar una palabra como “rojo” que está escrita en amarillo, se completaría alrededor de los 18-22 años (Adleman y cols., 2002). El giro frontal medio, inferior y superior, relacionado con las tareas de inhibición de la respuesta, se completa en la adolescencia (Tamm y cols., 2002), mientras que el circuito de control de la memoria de trabajo (frontoparietal) tiene su mayor desarrollo hasta los 8 años, pero no se completa hasta la edad adulta (Olesen y cols., 2004).

El desarrollo cognitivo comienza cuando el niño va realizando un equilibrio interno entre la acomodación y el medio que lo rodea, y la asimilación de esta misma realidad a sus estructuras biológicas. Para que el bebé comprenda lo que ocurre a su alrededor, debe utilizar su cuerpo, sus sentidos y su intelecto. Así forma conexiones neuronales que le permitirán entender la causa y el efecto de las cosas. Para coger su juguete, por ejemplo, debe poder verlo, recordar que le gusta, estirarse para alcanzarlo y finalmente cogerlo. Las habilidades mentales del bebé aumentan con la estimulación diaria. Por eso, la participación del padre y de la madre es fundamental en todo momento, sobre todo cuando el cerebro crece de forma abrupta desde el primer al tercer año de vida. Si un niño tiene diversas clases de experiencias y estas se presentan en forma repetitiva, se fortalecen las conexiones cerebrales; de ellas dependerá la manera de pensar, sentir y aprender en el futuro.

Durante los cinco primeros meses, el niño lleva a cabo movimientos generalizados, y desarrolla los sentidos de la visión, el tacto y la audición de manera sorprendente. Los niños discriminan mejor los sonidos y estímulos visuales y táctiles que llaman su atención, y van controlando los movimientos, descubren sus manos y cómo manejarlas. Hacia el quinto y el sexto mes, el niño empieza a reaccionar a las relaciones entre causa y efecto, por lo que se puede empezar a prepararlo lentamente para el pensamiento abstracto, es decir, para reaccionar de distinta manera a ciertas características de los objetos, dependiendo, por ejemplo, de si son grandes o pequeños, redondos o cuadrados, etc. A partir de aquí, el proceso de relación causa-efecto y la elaboración del pensamiento y del razonamiento cobran especial interés en el desarrollo neurobiológico del niño.

A partir de este momento, a los niños les gustan los juegos que les permiten descubrir por su cuenta las causas de los resultados que obtienen. Tales juegos son también los más apropiados para mantenerlos activos y para poner en marcha los procesos cognitivos fundamentales. Para el niño es importante que su acción tenga un resultado inmediato, ya que así se hará obvia la relación entre causa y efecto. Solo hacia el final del primer año será capaz de apreciar la relación entre acción y reacción, cuando esta última llega un poco retrasada. Se interesa por nuevos descubrimientos. Ya no busca un objeto donde no haya observado que alguien lo ocultó. Busca alternativas en la resolución de problemas (ensayo-error). Comienza, pues, con los procesos mentales complejos, como razonamiento, pensamiento o resolución de problemas: procesos cognitivos que le permiten pensar acerca de los hechos y anticiparse a sus consecuencias sin recurrir a la acción.

Tanto el razonamiento como el pensamiento lógico y la resolución de problemas están asociados principalmente al área prefrontal. El área prefrontal se sitúa en la parte más anterior del lóbulo frontal, inmediatamente por delante de las áreas premotoras. Es el área cortical que recibe más proyecciones del núcleo dorsomediano del tálamo. Esta parte más anterior del córtex frontal está implicada (mediante sus múltiples conexiones corticocorticales y corticosubcorticales) en la mayoría de las funciones más complejas del ser humano, que van desde el campo afectivo-emotivo y ético-moral hasta su esfera más compleja, como la lógica, el razonamiento, la conciencia o la creatividad. También pasa por diferentes procesos cognitivos, tales como atención, memoria, aprendizaje o lenguaje, hasta llegar a los procesos más complejos, como pueden ser la capacidad de previsión del futuro, creatividad, ética, conciencia, percepción del espacio y del tiempo, etc.

En otras palabras, estas áreas llevarían a cabo el control y la integración entre lo racional, lo instintivo, lo afectivo y lo motivacional de la conducta humana. La habilidad para resolver problemas es aquella capacidad cognitiva necesaria para controlar los diferentes estímulos novedosos que llegan al cerebro, proporcionando significado para conseguir una respuesta unitaria al problema y adaptada al medio. Esto exige por parte del cerebro integrar patrones neurofuncionales establecidos con nuevos patrones que deben ser integrados en una

respuesta cerebral unitaria. La habilidad para resolver problemas requiere la modulación y el control de las rutinas cognitivas fundamentales, aunque dicha habilidad comience con un planteamiento novedoso y no habitual en la conducta diaria, que requiera poner en marcha habilidades cognitivas específicas.

La habilidad para el razonamiento y la resolución de problemas se compone de las siguientes capacidades: atención (focal, sostenida, selectiva), formación de conceptos abstractos, formulación de estrategias (generación de estrategias simples, anticipación), flexibilidad y evaluación de la respuesta. Más recientemente, todos estos procesos se han dado en llamar *funciones ejecutivas*. Las funciones ejecutivas están compuestas de varios elementos o actividades, tales como anticipación, selección de una meta, planificación, y ejecución de la actividad, reconocimiento y regulación de la propia ejecución, y uso de *feedback*. Sin embargo, esta forma atomizada de analizar un proceso tan complejo no se puede entender si no se tiene en cuenta la participación de variables intermedias y procesos sensoriomotores subcorticales adquiridos a lo largo de la infancia.

A medida que avanzamos en la ejecución de funciones complejas, se necesita una mayor integración, organización y armonía de todo nuestro organismo, de tal forma que nuestro estado corporal, nuestra sensoriomotricidad, nuestras percepciones, nuestras emociones e incluso nuestros sentimientos son los que van a guiar el razonamiento y la toma de decisiones. En este sentido, la educación, por parte de padres y profesores, que repose sobre un buen equilibrio entre las emociones y los sentimientos, un buen desarrollo de los sistemas sensoriales y el razonamiento será clave para un mejor aprendizaje. Sabemos que si un niño se encuentra en un ambiente física, intelectual y emocionalmente adecuado, obtendrá una motivación más efectiva, y su capacidad de resolución de problemas será mucha más rápida, eficiente y precisa.

En la maduración del córtex prefrontal es muy importante tener en cuenta los conocimientos sobre la comprensión y ejecución verbales de palabras y frases complejas, así como de contenidos lingüísticos cuyos procesos gramaticales y sintácticos sean diferentes a los aprendidos en el colegio. Se trata de evitar el uso de contenidos aislados y descontextualizados, sin la mediación de los procesos de análisis, asociación, interpretación y organización del lenguaje propios de la

maduración del córtex prefrontal. En este sentido, la estimulación de todos los procesos neurofuncionales, incluidos los subcorticales (implicados en la comprensión y ejecución del lenguaje), serán de suma importancia en la maduración de esta área cerebral.

Otro grupo de actividades que deberían potenciarse son las que exigen al niño centrar su atención y aumentar su capacidad de memoria de trabajo, esa memoria que necesitamos mientras realizamos un proceso cognitivo; sobre todo, aquellas que requieren una gran flexibilidad mental, es decir, la capacidad para poder cambiar de un proceso cognitivo a otro sin merma de ninguno de los dos y en el menor tiempo posible.

La atención es un recurso especialmente difícil de gestionar, porque debe competir con una gran diversidad de estímulos. Uno de ellos es la televisión. Sabemos que la visión humana y la televisión funcionan de manera bastante similar a nivel cerebral. Comparten el uso de realidad virtual, de codificación por redundancia temporal y tres canales computacionales: el color, la forma y el movimiento (Smythies y d'Oreye de Lantremange, 2016). Pero existe una gran diferencia entre la televisión y la visión humana, que puede afectar a los procesos de aprendizaje escolar. Se trata del sistema de exposición: mientras que las imágenes en la televisión se codifican a frecuencias superiores a 33 Hz (lo habitual en monitores de ordenador y pantallas televisivas son 60Hz, 120 Hz, 240Hz o más), la visión humana utiliza una frecuencia mucho más baja –en torno a 10 Hz– para la codificación de las imágenes.

Las investigaciones de Nortmann muestran que cuando las imágenes individuales se presentan a 33 Hz (unas 30 milésimas de segundo por imagen), las neuronas representan la imagen completa. Pero a 10 Hz (unos 100 milisegundos por imagen), las neuronas representan solo los elementos que son nuevos o que han desaparecido, es decir, las diferencias de imagen (Nortmann y col., 2013). Por tanto, en la televisión la codificación viene determinada por las imágenes expuestas, mientras que en la visión humana la codificación viene determinada por la diferencia de orientación entre imágenes consecutivas. De modo que podemos decir que existen efectos cerebrales producidos por la televisión, por sus diferencias con la visión humana. El niño percibe la realidad en torno a 10 ciclos por segundo, mientras que la televisión emite a una frecuencia varias veces superior.

Esta diferencia perceptiva hace que la televisión –y algunas pantallas– facilite la introducción de imágenes en el cerebro del niño a más velocidad de lo que puede gestionar, por lo que queda relegado el proceso natural de percepción e integración de escenas visuales. Este proceso neurofisiológico afecta directamente a los procesos de atención, memoria, aprendizaje e imaginación del niño.

Aunque el cerebro funciona siempre como un todo, un aspecto diferencial en la educación de los niños es fomentar más la resolución de problemas vinculados con el hemisferio derecho (más intuitivo, novedoso, menos normativo) que los relacionados con el izquierdo (más racional, secuencia, repetitivo). Otro aspecto diferencial es fomentar la cognición perceptiva más que la descriptiva, es decir desarrollar destrezas de comparación, agrupación, contraste y reflexión semántica de cómo se ha producido el proceso, más que de la elaboración descriptiva de los detalles del mismo. Asimismo, saber utilizar el conocimiento como guía o mejora de las conductas propias tanto a nivel individual como social o profesional, más que utilizarlo como acumulación de datos.

De todas las actividades expuestas no cabe la menor duda de que en esta etapa (y, por qué no, a lo largo de toda nuestra vida) el juego es una forma de desarrollar nuestro pensamiento, razonamiento y creatividad. Al mismo tiempo, nos posibilita una mejor y mayor integración social y adaptación emocional. Santiago Ramón y Cajal ya en 1923 decía: “Siempre he creído que los juegos de los niños son preparación absolutamente necesaria para la vida; merced a ellos, el cerebro infantil apresura su evolución, recibiendo, según los temas preferidos y las diversiones ejercitadas, cierto sello específico moral e intelectual del que dependerá en gran parte el porvenir”.

El juego es una proyección de la vida interior hacia el mundo, en contraste con el aprendizaje, mediante el cual interiorizamos el mundo externo y lo hacemos parte de nosotros mismos. En el juego, nosotros transformamos el mundo de acuerdo con nuestros deseos. El juego es una actividad sumamente importante para el crecimiento neurobiológico, social, emocional y cognitivo. En un estudio llevado a cabo con primates se comprobó, cuando se los comparaba con los que estaban completamente aislados, que aquellos que jugaban veinte minutos diarios conservaban su capacidad intelectual y su sociabilidad.

En este mismo sentido, en otro estudio llevado a cabo con niños se comprobó que aquellos que jugaban un rato antes de hacer una actividad cognitiva determinada realizaban mejor dicha tarea y resolvían el problema mejor que los que no habían jugado antes. Los niños que habían jugado antes de la tarea, además, consiguieron un mayor índice de aciertos, utilizaron mejor las sugerencias que se les proponían, mostraron mucha menos tendencia a abandonar el ejercicio comenzado cuando tropezaban con algún obstáculo, iban directamente a lo más simple y fueron los que menos hipótesis complicadas imaginaban.

Por último, también se comprobó que la presencia de un adulto era un elemento que favorecía una concentración prolongada y una elaboración compleja. En este sentido, la presencia de padres y maestros en los juegos de los niños es básica para cualquier proceso de aprendizaje eficiente, para la mejora de los procesos de pensamiento y razonamiento complejos, para la creatividad, para la socialización y adaptación emocional del niño y, sobre todo, para la adquisición del lenguaje. De hecho, el lenguaje temprano se aprende de forma lúdica interactuando con los padres.

La adolescencia es una etapa compleja en los procesos de maduración cerebral, debido a la disminución de la sustancia gris y al gran aumento de la sustancia blanca, como consecuencia de la mielinización. Diferentes estudios con neuroimagen apoyan la idea de que dichos procesos se dan también después de la adolescencia, coincidiendo con el desarrollo de procesos cognitivos complejos. Se ha comprobado que el volumen de la sustancia gris se incrementa mucho en la etapa infantil, tiene el mayor pico de incremento al inicio de la adolescencia y a partir de esta edad empieza a decrecer paulatinamente, mientras que el de sustancia blanca aumenta. Por tanto, la maduración cerebral paulatina está asociada con la citada evolución de la sustancia blanca: comienza con la maduración de las áreas somatosensoriales primarias en los tres primeros años de vida, y así hasta llegar a una maduración de áreas multisensoriales responsables de los procesos cognitivos y de aprendizaje escolar después de la adolescencia (Sowell y cols., 2004; Giedd y cols., 2004; Gogtay y cols., 2004).

Estudios llevados a cabo mediante electroencefalografía (EEG) nos permiten observar cambios intermitentes a lo largo de la etapa infantil,

con diferencias regionales importantes. Un estudio sueco ha identificado crecimientos intermitentes de las conexiones nerviosas (desde la infancia hasta la niñez), basados en el aumento de peso del cerebro y del tamaño del cráneo y en los cambios en la actividad eléctrica de la corteza cerebral. Estos crecimientos coinciden con el rendimiento elevado de los niños en los test de inteligencia y con una transformación importante en la corteza cognitiva. En el estudio sueco se medía el EEG de individuos en estado basal de alerta de 1 a 21 años. El primer crecimiento de conexiones nerviosas ocurrió alrededor de los 2 años, un período en el que prospera la representación y el lenguaje; los siguientes tres aumentos, a los 9, 12 y 15 años, probablemente reflejen el refinamiento abstracto; y otra aceleración, a los 18 o 20 años, señala la capacidad para el pensamiento reflexivo (Fischer y Rose, 1995).

El conocimiento de estos procesos del neurodesarrollo es básico para elaborar programas educativos y para orientar a los educadores en la mejora cuantitativa y cualitativa del desarrollo cerebral.

Un primer proceso de gran armonización en el desarrollo global de cerebro se lleva a cabo en los primeros años, debido a la gran cantidad de interacciones corticocorticales y subcorticocorticales, tanto de las áreas anteriores (lóbulos frontales) como de las áreas asociativas temporoparietooccipitales: la integración de estas áreas va a permitir un gran desarrollo de conocimientos y destrezas escolares. Esta podría ser la etapa más importante de la educación por su incidencia en los procesos de destrezas escolares posteriores. Es la época donde mayor impacto tienen todos los procesos, aprendizajes y adaptaciones escolares, una etapa en la cual la educación perfilará el futuro de los niños. No se puede dejar de lado las motivaciones y las emociones, dada la importancia que tienen en el desarrollo, aprendizaje y perfeccionamiento de las destrezas académicas.

En una segunda etapa, que comienza alrededor de los 6-7 años, los niños pasan de una actitud egocéntrica a desarrollar la relación con los iguales, de tal forma que, a medida que aumenta el mundo social del niño, aumenta la intensidad y complejidad de las emociones. La empatía y la capacidad para expresar las propias emociones, favorece la resolución de conflictos, las conductas prosociales, la tolerancia, el respeto, la solidaridad... No se ha de olvidar que en esta etapa se dan las mejores circunstancias para el aprendizaje de procesos y valores

escolares, sociales, culturales y morales.

Esta es una etapa en la que los períodos sensibles a los conocimientos culturales, propios de la enseñanza escolar, se encuentran muy desarrollados, por lo que la enseñanza en la escuela debe ser precisa, novedosa, ordenada, sistemática y, sobre todo, organizada en el tiempo para que el cerebro esté en condiciones de generar estados neuronales estables capaces de mantener dicha información. En ella, la estimulación ambiental, la repetición y la selección de conocimientos será básica para el futuro desarrollo cognitivo de los niños. A modo de ejemplo, en el caso del lenguaje es la etapa en la que más destrezas lingüísticas se adquieren, de tal forma que un niño con 7 años puede contar ya con un lenguaje tan complejo, gramatical y sintácticamente, como el de un adulto. A esta edad también se adquieren las destrezas de la lectura y de la escritura.

Por último, existe una tercera etapa, asociada con la adolescencia, en la que se da un gran desarrollo neurohormonal que afecta a diferentes áreas cerebrales, sobre todo a las prefrontales y cerebelosas, responsables del aprendizaje y de la adaptabilidad motriz. Un aspecto muy interesante, descubierto recientemente mediante neuroimagen, es que el desarrollo neuronal no acaba en la niñez, sino que se extiende hasta mucho después de la adolescencia. Se refleja tanto en la sustancia gris como en la sustancia blanca, siendo esta la que presenta un mayor desarrollo en esta etapa de la vida. Ello es consecuencia de la mielinización, que proporciona una gran capacidad para establecer conexiones entre áreas cerebrales distantes, lo que contribuirá a un gran desarrollo y perfeccionamiento, no solamente de las funciones cognitivas, sino también de la adaptabilidad social, ética y moral.

El desarrollo masivo de la glándula pineal conllevará una alteración del ritmo de sueño. Es algo que debería tenerse en cuenta, sobre todo, debido a los cambios hormonales de la pubertad, lo que hace que el inicio del sueño se retrase (probablemente como consecuencia de una acumulación de oleamida, sustancia que tiene un efecto retardador sobre dicho inicio). Por este motivo, los padres lidian con sus hijos adolescentes para que se vayan pronto a la cama. La cuestión está en si lo que se debería hacer es levantarlos una hora más tarde, y comenzar las clases también más tarde, lo que permitiría una mejor adaptabilidad escolar, tan importante en el aprendizaje y la memoria.

En esta etapa se produce una gran poda neurológica¹⁰ de la sustancia gris de muchas conexiones de diferentes cortezas cerebrales. Ello sucede mientras existe un gran incremento de la mielinización, es decir, de la sustancia blanca, lo que da lugar a una mayor velocidad de la comunicación entre las diferentes regiones cerebrales (Sowel, 2001).

Los maestros tienen que conocer muy bien las características neurobiológicas de este proceso porque condiciona la educación, la forma de transmitir información, así como el mismo proceso de adquirir conocimientos y los tiempos de aprendizaje de estos. A modo de ejemplo, condiciona en gran parte la maduración del córtex prefrontal, el cual permitirá a los adolescentes, por un lado, acceder a las funciones más complejas del ser humano (razonamiento, lógica, funciones ejecutivas, atención, etc.) y, por otro, regular la conducta emocional asociada a las situaciones sociales.

El córtex prefrontal es una de las últimas regiones cerebrales en completar su desarrollo, debido a que la maduración cerebral sigue un modelo jerárquico que tiene como último eslabón las áreas de asociación. En dicha región, el volumen de la sustancia gris alcanza su pico máximo alrededor de los 12 años, y a partir de ese momento empieza a disminuir hasta estabilizarse en la edad adulta, mientras que el volumen de la sustancia blanca aumenta linealmente de los 4 a los 13 años, aunque su proceso de mielinización no se completa hasta la edad adulta.

Teniendo en cuenta todos estos procesos madurativos del córtex prefrontal, y sabiendo que este mantiene un importante número de conexiones recíprocas con estructuras subcorticales y con otras regiones corticales, formando parte de circuitos frontoestriatales, frontotalámicos, frontolímbicos y frontoparietales, entre otros (Petrides, 2002), la capacidad de activación de aquel tiene una incidencia importante en gran cantidad de procesos de aprendizaje en la última etapa de la enseñanza escolar obligatoria.

Otro aspecto importante que se ha de tener en cuenta en esta etapa es el de las diferencias en el desarrollo madurativo entre la pubertad y la adolescencia. Mientras que en la pubertad se da un enlentecimiento de la proliferación de sinapsis, en la adolescencia el desarrollo es espectacular. Es probable que el exceso de sinapsis en la pubertad no esté bien resuelto mediante la poda neurológica de las no válidas, y que

sea la adolescencia la etapa en la que dicha poda se lleve a cabo más ordenadamente, en función de la enseñanza recibida, de la mejor adaptabilidad social, sexual y emocional. Ello dará lugar a una mejora de redes especializadas más concretas y específicas y a una mejor organización cerebral.

¿Por qué es fundamental ser conscientes de la importancia del neurodesarrollo cognitivo?

Un punto importante en el proceso de desarrollo de nuestro cerebro en la primera infancia es el hecho de que se lleva a cabo por ciclos y no de forma lineal. Las capacidades cognitivas y emocionales están lejos de seguir el mismo proceso del desarrollo cerebral, puesto que el desarrollo cognitivo dependerá, en gran medida, de la interacción del cerebro con el medio.

Los padres y maestros tienen que ser conscientes de la importancia del proceso de neurodesarrollo cíclico. Los ciclos neurobiológicos y los psicológicos son muy difíciles de precisar conjuntamente, porque se pueden justificar determinados comportamientos infantiles que a veces preocupan a los padres, como pueden ser determinadas conductas regresivas que observan en los dos primeros años de vida de sus hijos. En este sentido, pueden ver cómo sus hijos manifiestan cambios profundos en los procesos de interacción emocional, a partir de los dos meses de vida del bebé, o en los procesos cognitivos, a partir de los dos años. Esto se debe a lo que se ha venido en llamar *períodos críticos del neurodesarrollo*.

Los primeros meses de vida de un bebé son vitales para lograr el máximo desarrollo cerebral. Por este motivo, es importante que los padres sepan que para lograr este objetivo es necesario que presten atención a una buena nutrición e hidratación, así como a una variada gama de estimulaciones ambientales con especial atención a las caricias y la estimulación táctil. En esta etapa de la vida se produce una variedad de procesos de crecimiento neuronal a gran velocidad, lo que da lugar a una importante maduración cerebral en poco tiempo.

En estos períodos críticos se produce un desarrollo masivo y rápido de las neuronas y de sus conexiones. Eso permite una gran capacidad de interacción con el medioambiente y para aprender y recuperar

información de forma acelerada y sin gran esfuerzo. La coexistencia temporal de períodos de desarrollo continuo y gradual, y de momentos de discontinuidad en el mismo, permitirá un gran desarrollo de comportamientos y procesos cognitivos y emocionales que los padres detectan de forma súbita en la vida diaria de sus hijos. Esta discontinuidad que se produce de forma rápida puede dar lugar a comportamientos difíciles de prever. Muchos padres los interpretan como regresivos –cuando ven que a sus hijos llorar, irritarse, estar inquietos con una mayor facilidad, perder las rutinas adquiridas, encontrarse emocionalmente más inestables, demandar más atención, etc.– aunque realmente son comportamientos adaptativos.

Los tres primeros años de vida serán claves en la estimulación y definición de los períodos críticos. La familia va a ser el lugar más importante de estimulación del niño. En este primer período se dan los grandes desarrollos de conexiones sinápticas entre áreas corticales cercanas. Ello permite una gran capacidad de absorción de información de forma indiscriminada. Por este motivo, no se aconseja una hiperestimulación en dicho período. Es más aconsejable una estimulación ordenada de la información, con contenidos novedosos y con tiempos de descanso para asimilarla.

Este es un período en el que se da una importante maduración de las estructuras subcorticales, límbicas y vestibulares, vías somatosensoriales, áreas cerebelosas y áreas primarias corticales. Eso permite una gran posibilidad de interacción con el medioambiente, así como una especie de impulso natural constante de hacer cosas, que va a permitir al niño una motivación suficiente para interaccionar constantemente con el ambiente, una buena capacidad de observación, y una gran comunicación no verbal y emocional propia de estos primeros años de vida.

Durante su primer año, el niño va a ser capaz de captar el entorno, discriminar estímulos prelingüísticos y manejar muy bien la comunicación no verbal y emocional con sonrisas, demostraciones de afecto, miradas de asombro, múltiples respuestas faciales, etc. En el segundo año, con el desarrollo progresivo de las áreas corticales secundarias y de asociación, es cuando iniciará un progresivo aumento de su capacidad de aprendizaje de conductas cada vez más complejas y cuándo comenzará el desarrollo del lenguaje verbal, lo que contribuirá a

una mayor y mejor comunicación social. Por último, en el tercer año existe ya un mayor desarrollo cortical con la implicación de áreas corticales asociativas terciarias, que van a especializar el cerebro principalmente en el lenguaje hablado, con una gran capacidad gramática y sintáctica del lenguaje.

Tal vez lo más importante en esta etapa es el *tempo* de estimulación y asimilación de la información medioambiental. En este sentido, la estimulación ambiental temprana, integrada y organizada en un mundo rico en estímulos novedosos (sin pretender especializar el cerebro en un tipo determinado de conducta, habilidad o destreza), será el mejor proceso en estos primeros años de vida.

Los sistemas de organización motores, el tiempo de elaboración de los procesos completos (desde la estimulación hasta la respuesta), las tareas del aprendizaje dentro de ambientes dinámicos, alegres, divertidos, lúdicos, de colores, etc., serán los adecuados para el desarrollo cerebral de esta etapa de aprendizaje preescolar. La información en esta etapa debe ser clara y concisa; y debe prevalecer un ambiente lleno de movimientos, colores, riqueza estimular novedosa, participación, juegos, música y conductas cercanas a las actividades de la vida diaria.

Un entorno emocional, social y familiar estable será básico para un buen desarrollo cerebral del niño. Los padres deben prestar especial atención a la educación emocional, puesto que, en esta etapa de desarrollo, los aspectos emocionales juegan un papel esencial para la vida, y constituyen la base o condición necesaria para el progreso del niño. El niño es capaz de reconocer emociones positivas y negativas, y la repercusión que tienen. Alrededor de los 3 años, son conscientes de la elección de las personas y las emociones que genera esa relación. Por eso deciden con quién jugar, a quién besar, acariciar, abrazar, etc.

A partir de los tres años y hasta los siete años se dan períodos sensibles en el desarrollo cerebral que estarán más relacionados con la empatía e interacción social y emocional con los iguales, los intereses sociales y el aprendizaje escolar. Los períodos sensibles están más orientados a los procesos complejos. Se dan a lo largo de toda la vida con una mayor incidencia en la etapa infantil. Resultan de una gran importancia en el proceso de aprendizaje durante toda la etapa escolar. En estos períodos se favorecerían principalmente las conexiones entre

distintas áreas, y la posibilidad de integrar mejor los procesos cognitivos complejos. Es una etapa de desarrollo individual de gran curiosidad y de búsqueda de experiencias nuevas. Esto es bueno para el desarrollo del cerebro, cuya máxima actividad se produce cuando accedemos a nuevos estímulos. No obstante, se precisa desarrollar procesos de repetición y de memorización de los mismos. La repetición de determinados contenidos es básica en esta etapa de la vida, porque disminuye la activación y mejora el redimiento cerebral. De hecho, el cerebro se activa con gran velocidad y amplitud en los procesos nuevos y disminuye en los repetitivos. Pero, en cambio, con la repetición aumenta la capacidad de memorización y de recuerdo.

En cuanto a la adolescencia, los padres y maestros tienen que saber que en esta etapa los tiempos de descanso, la reflexión, el autocontrol, el desarrollo de funciones ejecutivas y el aprendizaje procedimental serán de gran importancia para la elaboración de la información y para lograr que la poda neuronal de las sinapsis no utilizadas tenga un resultado eficaz en el plano educacional. Es la etapa en la que un buen desarrollo cerebral afianzará de forma permanente los procesos cognitivos.

No cabe la menor duda de que es la etapa más conflictiva a nivel escolar. El desarrollo madurativo que comporta la misma colisiona frecuentemente con la lógica propia del aprendizaje escolar. Dicho en otros términos, sabemos que en la adolescencia existe un importante aumento de la sustancia blanca, que tiene la capacidad de conexionar muchas áreas cerebrales, lo que da lugar también a una considerable inquietud conductual que se traduce en la adquisición de comportamientos nuevos, incluidos los emocionales, los sociales y los relacionados con el sexo. El desarrollo neurohormonal y cerebral del adolescente lo mueve a observar, investigar y experimentar nuevas situaciones. Le cuesta mucho llevar a cabo los procesos reglados, sistemáticos, repetitivos, propios del aprendizaje escolar.

La labor por parte del profesor resulta muy ardua en esta etapa porque, por un lado, tiene que desarrollar programas de enseñanza muy novedosos, cambiantes, motivadores; y, por otro, ha de mantener una disciplina de aprendizaje estable, sistemática, repetitiva, a fin de consolidar los conocimientos. Es una etapa en la que el profesor ha de estimular la atención dividida o la habilidad para realizar diferentes

tareas a la vez, la capacidad de planear futuras consecuencias de cada acción, de inhibir conductas erróneas, de tomar decisiones adecuadas. Todos estos procesos están relacionados con la actividad del córtex prefrontal. Para llevarlos a cabo se necesita tiempo de reflexión y un profundo análisis de la información.

¹⁰ La poda sináptica es un proceso que tiene lugar en el cerebro y que consiste en la eliminación de conexiones sinápticas entre neuronas. También se conoce como *poda neuronal* o *poda de axones*.

Capítulo cinco

Neurodesarrollo emocional

Una de las funciones más importantes de padres y maestros es desarrollar adecuadamente el aprendizaje emocional de sus hijos. Un buen desarrollo de las emociones generará los pilares básicos para un adecuado desarrollo cerebral y una satisfactoria adaptación social. Cuando nacemos, no lo hacemos con un repertorio emocional completo, sino más bien todo lo contrario. Es necesario que los procesos de maduración y aprendizaje lleven a cabo el desarrollo de las capacidades previas y necesarias que permitan que las emociones vayan aflorando. Durante las primeras semanas de vida no aparecen verdaderas reacciones emocionales, aun cuando puedan aparecer gestos que nos hagan interpretar erróneamente su existencia. Los recién nacidos solo son capaces de expresar dolor físico, malestar, incomodidad, etc. El aprendizaje, la imitación de las personas mayores y la identificación empática son las claves en el desarrollo madurativo de las emociones.

Durante los tres primeros meses de vida, los procesos madurativos y de aprendizaje ya permiten la aparición de las emociones primarias: sorpresa o interés, alegría, repugnancia, tristeza, ira y miedo. Entre los 2 años y medio y los 3, el niño toma conciencia de su identidad personal, es decir, de que es un ser diferente y diferenciado del entorno. A partir de ese momento puede empezar a tener emociones sobre sí mismo como la envidia, la empatía o el azoramiento. Posteriormente, cuando aprende e interioriza las normas de comportamiento social, sus emociones pueden referirse a sus propios actos, sintiendo orgullo, vergüenza o culpabilidad.

Schachter y Singer (1962) sugieren que las emociones parten de la apreciación cognitiva de un acontecimiento y de las respuestas corporales, es decir, la persona nota los cambios fisiológicos, observa lo ocurrido en su entorno y da un nombre a lo que siente según ambas observaciones. En esta línea de pensamiento, Nummenmaa y col. (2014) descubren que las emociones están representadas en el sistema

somatosensorial como mapas somatotópicos categóricos y universales. La percepción de estos cambios corporales provocados por la emoción puede jugar un papel clave en la generación de emociones conscientemente sentidas. En la misma línea, queremos insertar nuestra propuesta de aumentar los estados emocionales positivos estables durante el mayor tiempo posible. En la medida en que nuestro cuerpo se encuentre mejor y durante más tiempo los estímulos externos emocionales, y reciba durante más tiempo estímulos emocionales agradables, su estado emocional positivo permanecerá estable durante más tiempo a lo largo del día escolar.

Los estudios provenientes de la neurociencia demuestran que tanto las estructuras subcorticales como las corticales están relacionadas con la conducta emocional. Se ponen en marcha primero los circuitos subcorticales, principalmente la amígdala, y después los corticales, principalmente el lóbulo orbitofrontal. La importancia de este doble proceso dentro del contexto escolar es que la amígdala, considerada como una estructura esencial para el procesamiento emocional, recibe las señales sensoriales. Esas señales, determinantes en los procesos emocionales, proceden de todas las áreas cerebrales de asociación sensorial, dotando de un significado afectivo a todas las entradas estimulares al cerebro, mediante las conexiones entre el tálamo y la corteza orbitofrontal.

Por este motivo, es fundamental entender la importancia que tiene la forma en que se transmite la información en clase (tono e intensidad de los estímulos sensoriales), incluida la manera de intervenir del maestro, quien debe conocer este proceso neurobiológico somatosensorial integrado con el proceso cognitivo. De hecho, el orden temporal en el que tiene lugar la activación de cada una de estas proyecciones es diferente, sugiriéndose que puesto que la vía tálamo-amigdalina es más corta y se activa antes que la tálamo-cortical, las características estimulares más simples activarían previamente los circuitos emocionales amigdalinos, que se integran con los circuitos corticales dotándolos del componente emocional (LeDoux, 1989, 1993).

Por otro lado, existen varias hipótesis que inciden en la importancia de la corteza cerebral en el reconocimiento de las emociones y en su posible especialización hemisférica. Muchas investigaciones consideran que el hemisferio derecho es el que más se activa durante el

reconocimiento de las emociones. En este sentido, Dimberg y Petterson (2000) encontraron mayor actividad facial de los músculos del cigomático mayor de la hemicara izquierda, mientras los sujetos observaban imágenes de expresiones faciales emocionales de felicidad.

Otras investigaciones llevadas a cabo mediante neuroimagen funcional comprobaron que, cuando se le presentan a un sujeto imágenes agradables, se produce una mayor activación de áreas corticales frontales y temporal izquierdas, mientras que, cuando procesan imágenes desagradables, la mayor activación se produce en áreas frontales inferiores del hemisferio derecho. Otros justifican dicha asimetría diferenciando las funciones de ambos hemisferios de tal forma que el hemisferio derecho estaría implicado en la generación del sistema de alerta (arousal) provocado por estímulos emocionales, mientras que el hemisferio izquierdo se asociaría con procesos de control emocional (Zoccolotti y cols., 1993). No obstante lo dicho, muchos trabajos científicos demuestran que las emociones se representan bilateralmente en nuestro cerebro, aunque justifican que es el hemisferio derecho el que procesa predominantemente las emociones negativas, mientras que el izquierdo se encargaría de las emociones positivas (Silberman y Weingartner, 1986).

En el contexto socioescolar, es probable que la sonrisa sea uno de los estímulos más potentes para generar emociones positivas en el niño. En esta línea, Guillaume Duchenne (1990) realizó una serie de estudios sobre las expresiones faciales y su fisiología, y pudo constatar que hay un tipo de sonrisa que es espontánea y natural. En ella se ponen en funcionamiento los músculos cigomáticos situados en las mejillas, que hace que se eleven las comisuras de los labios, y el músculo orbicular, que se activa al sonreír, responsable de la elevación de las mejillas y de que aparezcan pequeñas arrugas alrededor de los ojos. Ese tipo de sonrisa es el denominado 'sonrisa de Duchenne', en honor a este médico investigador.

La sonrisa social (la sonrisa sin componente emocional), no utiliza apenas el cigomático mayor, ni el orbicular. Los estudios de Ekman, y cols (1980, 1990) demuestran que las diferencias no son solo a nivel muscular, sino que las áreas cerebrales implicadas son diferentes, en función de la implicación o no de la emoción en la sonrisa. También se han evidenciado diferencias en el procesamiento de caras y, en

particular, de las expresiones emocionales.

Los estudios realizados por diferentes autores ponen de manifiesto la influencia del estado emocional en la percepción. Esto nos lleva a pensar que, si se parte de un estado emocional positivo, la tendencia es percibir las cosas como positivas, ya sean positivas o neutras. En definitiva, el estado emocional en que se encuentra una persona lo condiciona no solamente la percepción de los estímulos que recibe, sino también el estado emocional en el que se encuentra. Tanto es así que cuando los sujetos con humor negativo ven simultáneamente caras ambiguas, tienden a juzgar las expresiones faciales ambiguas como tristes (Bouhuys y cols., 1995; Niedenthal, 2007; Yaple y cols., 2016). También existen estudios que sugieren que la percepción puede ser influida por el estado emocional de una manera descendente (*top-down*) mediante la percepción de caras (Baumgartner y cols., 2006; Li y cols., 2009; Jeong y cols., 2011; Müller y cols., 2012). A la vista de este tipo de estudios podemos deducir la importancia que puede tener en el estado emocional positivo la percepción de caras sonrientes, principalmente de la sonrisa de Duchenne..

Admitiendo que todos los comportamientos humanos, incluidos los más complejos, como los cognitivos, el pensamiento y la memoria, se asocian con emociones, es innegable que las emociones influyen de forma notable en el proceso educativo. Tenemos que admitir que las emociones positivas tienen una enorme importancia en el desarrollo tanto de conocimientos como de motivaciones y actitudes hacia el aprendizaje escolar.

Mantener estados emocionales positivos a través de la sonrisa de Duchenne puede favorecer la adquisición de aprendizajes nuevos de forma más globalizada, con una mayor rapidez y con más estabilidad de redes neuronales. Cuando se presentan estímulos verbales en el hemisferio visual izquierdo, se activa más el hemisferio derecho, se cometen menos errores y se acierta más que cuando se presentan los estímulos en el hemisferio visual derecho, donde se activa más el hemisferio izquierdo (Head y cols., 2013).

Siguiendo el hilo de nuestro discurso de ir de los procesos inferiores a los superiores, de procesos sensorio-perceptivos a cognitivos, de mantener estimulaciones sistemáticas, cortas, simples, concretas y específicas a lo largo del día y todos los días para preparar nuestro

cerebro cognitivo, lo mejor que podríamos hacer es mantener al alumno el mayor tiempo posible en estados de emociones positivas, para lo que la sonrisa de Duchenne puede ser una gran ayuda. De hecho, la sonrisa materna se considera el primer sistema de desarrollo emocional positivo de nuestra vida evolutiva. Diferentes investigaciones han concluido que la sonrisa es un proceso natural y social facilitador de las emociones positivas.

¿Qué tenemos que saber acerca de las emociones?

Uno de aspectos más importantes en el desarrollo de las emociones es que los padres conozcan cómo son las emociones de los bebés. Las emociones se pueden detectar, desde el mismo momento en que surgen, mediante la observación de la expresión facial y, posteriormente, mediante otros síntomas conductuales: los niños pueden no mostrar sus reacciones emocionales en forma directa, pero lo harán indirectamente mediante la inquietud, las fantasías, el llanto, la dificultad en la respiración, etc.

Por ejemplo, antes de los 6 meses responden al miedo llorando. A partir de esta edad, aparece el miedo sin llanto: intentan huir, esconder la cabeza o se tapan los ojos para no ver lo que les produce miedo, buscan a su cuidador para que los proteja y los tranquilice, o recrean una situación que los calme, como chuparse el dedo. Una vez que contienen el llanto, se tranquilizan. Los padres deben saber que los neonatos tienen emociones de gran intensidad ante cualquier situación que los sorprenda, por muy nimia que sea.

Con la edad y el aprendizaje, estas emociones van poco a poco adaptándose y disminuyendo de intensidad, por lo que los padres y maestros tienen que conocer el momento en el que el niño consigue controlar sus emociones a lo largo de la niñez. Los niños que tardan mucho en controlar las emociones tienen una gran inmadurez emocional; eso exige un cuidado especial para mejorar dicho comportamiento. A partir de los seis meses, la reacción emocional debería ir moldeándose paulatinamente con el aprendizaje. Hay que prestar atención no solo a lo que dice, sino a todo el cuerpo, escuchar información indirecta en el tono de voz de un niño, y buscar pistas en su cara.

Los avances realizados en el campo de la neurociencia nos permiten afirmar que durante el principal período de desarrollo cerebral, hasta la década de los veinte años, las influencias ambientales actúan de forma intensa sobre el cerebro en crecimiento, moldeando los circuitos sociales y emocionales. Los niños que están bien nutridos y que han aprendido a calmarse cuando están enfadados, parece que desarrollan circuitos cerebrales más potentes para manejar las emociones, el estrés y la angustia. Aquellos niños que no han alcanzado este aprendizaje, serán más propensos a dejarse llevar por impulsos agresivos y a tener problemas para calmarse cuando están enfadados.

Los estudios demuestran que los niños que son “emocionalmente inteligentes” tienen mayor probabilidad de sentirse seguros de sí mismos, muestran menos problemas de comportamiento, gozan de mejor estado de salud, mejoran en la escuela, consiguen llevarse mejor con los amigos y, además, resisten más y mejor los conflictos familiares.

El conocimiento de las emociones de un niño es el fundamento para una relación sana. Los padres y los cuidadores que conocen las emociones de los niños están en una posición mucho mejor para ofrecer su ayuda en los momentos difíciles, esto es, cuando aparece en ellos la cólera, la tristeza y la frustración. Y también están en mejor posición para disfrutar junto a ellos los momentos maravillosos de alegría, felicidad y risas. El sentido empático de padres, maestros y cuidadores es el fundamento esencial en el proceso de dirigir el desarrollo emocional del niño.

Para poder tener una buena relación emocional con los hijos, los padres deben saber que las emociones de estos en el principio de la vida son muy intensas y frecuentes, pero también transitorias, por lo que han de prestar mucha atención para educarlas en los momentos en que se producen. En caso contrario, desaparecerán, y el proceso de su interiorización por parte del niño será muy diferente de si son orientadas por los padres.

Es una etapa en la que es importante la adaptación, y el aprendizaje emocional, a la vida diaria, de tal modo que la conformación cerebral de los circuitos responsables de las emociones sea ordenado y siempre orientado a una mejor administración de estas. Los bebés generalmente las manifiestan de forma muy directa mediante la inquietud, el nerviosismo, las fantasías, el llanto, las dificultades para comunicarse,

el aislamiento, etc., por lo que los padres deben estar muy atentos a este tipo de reacciones.

Los padres y maestros deben saber que en esta etapa de la vida los niños desarrollan tres potentes sistemas de aprendizaje emocional:

- 1. Aprendizaje por ensayo y error.** Gracias a él aprenden a expresar sus emociones por medio de tanteos, desarrollando y repitiendo aquellas conductas que les proporcionan la mayor satisfacción hasta conseguir una familiarización con el proceso. Esto conllevaría al final la aparición de un modelo estructurado y bien conexionado cerebralmente. Este proceso activa sobre todo la corteza promotora y la corteza frontal inferior izquierdas.
- 2. Aprendizaje por imitación.** Es el que más utilizan; observan las cosas que provocan ciertas emociones a otros, y reaccionan con emociones similares y con métodos de expresiones similares a las de los padres. El aprendizaje por imitación es el más común y más temprano en el desarrollo cerebral, el que utilizan los bebés como mecanismo de conocimiento de su entorno y el típico de la socialización humana. Se lleva a cabo mediante las neuronas en espejo, que curiosamente se encuentran en la corteza promotora. Este aprendizaje crea un modelo que consume mucha más glucosa en el hemisferio derecho, responsable de los estímulos novedosos. Sin embargo, una vez que el modelo está bien conexionado cerebralmente, es el hemisferio izquierdo el que lo pone en marcha.
- 3. Aprendizaje por asociación visual.** Permite al niño llevar a cabo un proceso paulatino de identificación de situaciones emocionales que, al principio, no provocan reacciones emocionales, pero que van adquiriéndose poco a poco mediante los procesos de asociación. El área del cerebro más implicada en este proceso de aprendizaje es la corteza parietal derecha, relacionada con el procesamiento de estímulos espaciales. Este aprendizaje conlleva una forma implícita de aprender una serie de procesos de forma no voluntaria o inconsciente. No requiere un recuerdo voluntario o deliberado. Se asocia al aprendizaje de habilidades perceptivomotoras y de procedimientos, y se organiza en la corteza cingular, ganglios basales, cerebelo, amígdala y corteza promotora, áreas cerebrales necesarias e implicadas en la adaptación de nuestras emociones.

Desde el nacimiento existe un proceso de interacción madre-niño

llamado por algunos la *etapa del apego*. Genera un vínculo afectivo entre madre e hijo que será básico en el desarrollo futuro de las emociones del niño. Este vínculo se desarrolla a partir de las necesidades primarias del niño, como el hambre, y se desarrolla mediante la interacción con la madre con su hijo a partir de la visión del rostro, las caricias, la voz y todo tipo de interacción con él. Esta primera etapa emocional es básica en la relación de afecto y apego, puesto que tendrá, además, una función importante en los procesos adaptativos emocionales, imitativos y de comunicación social del niño.

Se considera que un buen establecimiento del apego entre progenitores e hijo en los primeros meses (y, obviamente, en los primeros años) de vida del niño es un factor decisivo en el desarrollo y adaptación de las emociones a lo largo de la vida. Esta seguridad y adaptabilidad emocional de los primeros meses conseguirá que en sus futuras relaciones emocionales y en su propia experiencia emocional el niño se adapte con mayor eficacia en la interacción con los demás y, sobre todo, comprenda y solucione mejor sus propios conflictos emocionales.

La mayoría de los investigadores del desarrollo de los procesos emocionales tempranos de la interacción entre el niño y los progenitores exponen que el vínculo de apego se lleva a cabo en cuatro grandes fases a lo largo de los primeros años de vida. La primera, que consiste en la orientación y las señales sin discriminación de la figura materna, se desarrolla desde el nacimiento hasta las 12 semanas, cuando el bebé reacciona tanto a los rostros como a las voces humanas, pero sin capacidad de reconocimiento. La segunda fase se produce entre los 2 y los 6 meses; las señales van dirigidas hacia una o más figuras ya identificadas, y las respuestas del bebé interactúan con los padres en forma de sonrisa o imitación. En la tercera fase, entre los 7 y los 24 meses, el niño busca la proximidad con los padres: podríamos decir que es la fase del apego propiamente dicha. Por último, a partir de los 2 años comienza la cuarta fase, en la que el niño inicia el proceso de asociación social de las emociones.

En esta fase de apego, las diferentes situaciones en su interacción con los padres motivarán distintos estados de apego, que serán básicos en la conformación de su propia experiencia emocional y estarán determinados por el grado de seguridad emocional que el niño tenga en

los padres. Este primer proceso de apego dará lugar a una relación de seguridad social del niño: podrá interactuar de forma normalizada demostrando alegría y tranquilidad cuando llegan los padres; sin embargo, cuando el apego es inseguro, en los niños se genera ansiedad (p. ej., cuando los padres no están), y tampoco se sienten tranquilos cuando llegan. Incluso, en algunos casos, los bebés manifiestan una notable ansiedad cuando los padres están presentes.

Los padres tienen que saber que los factores que afectan a la formación y desarrollo del vínculo de apego con su hijo vienen determinados, principalmente, por su respuesta ante los estímulos emocionales del bebé. El modo y la forma con la que los padres responden a las necesidades emocionales de sus hijos son la base del posterior desarrollo y adaptación emocional de los niños. Las relaciones emocionales marcadas por la buena contestación (la intensidad y la calidad) de los padres a las reacciones emocionales del niño determinarán la seguridad y firmeza del vínculo de apego y, consecuentemente, las relaciones entre el niño y ellos. Esto condicionará el vínculo afectivo y comportamental del niño. Los niños que consiguen un apego seguro antes de los dos años son niños que en el colegio se han manifestado más empáticos, más sociales, más competentes y con muchos más amigos que los que han desarrollado un apego inseguro.

No obstante, los padres también tienen que saber que no todas las expresiones emocionales aparecen en el nacimiento. Las emociones se van desarrollando en el primer año de la vida, cuando el niño adquiere una mayor capacidad en lo que se refiere a de la motilidad de la cara, la boca y, en general, la coordinación de los músculos del rostro, lo que le permite poder expresar mejor sus emociones.

Según esta perspectiva, el bebé en un principio utiliza el llanto y la relajación muscular propia de un estado de tranquilidad para demostrar satisfacción, irritabilidad o llamada de atención. Hacia el tercer mes despliega muchas más emociones, relacionadas con su interacción social, y más llamativas desde la expresión facial como puede ser la sonrisa. En este sentido, aparecerá también la tristeza cuando comprueba la desaparición o falta de interacción de los padres: utiliza el llanto para llamar la atención y para poder suplir sus necesidades básicas. También en esta etapa, el bebé es capaz de demostrar los

primeros síntomas de indignación o enfado.

Entre los 4 y 6 años, los niños comienzan a entender la importancia de sus relaciones emocionales con los demás. En este sentido, la memoria y los recuerdos serán básicos en la conformación de sus sentimientos y emociones; comprenderán que las emociones de los otros niños pueden ser causa de las suyas propias y que pueden interactuar con ellas. Es una etapa en la que desarrollan los procesos cognitivos asociados con sus propias emociones, lo que los lleva a entender cómo sus propias creencias, intenciones o deseos pueden interactuar con las emociones de los otros; también comprenderán la diferencia entre emociones reales y emociones aparentes, y aprenderán igualmente a valorar la utilidad de fingir emociones para conseguir objetivos en su interacción social.

Es una etapa en la que entenderán y comprenderán que los demás pueden sentir diversas emociones ante un mismo acontecimiento, en función de estados emocionales personales e internos de cada uno. Aprenderán a controlar la expresión de sus emociones en la interacción con los demás, y a valorar dicho control como un mecanismo importante para poder establecer relaciones emocionales satisfactorias. Se darán cuenta de que, para conseguir determinados objetivos sociales, es necesario controlar sus propias emociones.

Por último, al final de esta etapa, los niños aprenderán, a través del lenguaje, a comprender y a regular mucho mejor sus emociones, tanto en el ámbito individual como en su interacción social; a partir de la verbalización de estas, controlarán mejor sus relaciones sociales; ajustarán, comprenderán y regularán mejor su experiencia emocional y afectiva; y, por último, desarrollarán mejor los procesos cognitivos asociados con la experiencia emocional, lo que hoy día ha sido identificado como la “inteligencia emocional”.

No cabe la menor duda de que a lo largo de nuestra vida las experiencias emocionales son parte evidente de la conformación de nuestra personalidad y de que a lo largo de ella vamos configurando y desarrollando formas de relacionarnos con los demás que dependerán, principalmente, del mundo social, familiar y emocional en el cual nos vamos a desenvolver. Sin embargo, todo apunta a que nuestro comportamiento emocional va a depender en gran medida de cómo se haya desarrollado el vínculo afectivo en los dos primeros años de vida

del niño. Por este motivo, los padres deben tener sumo cuidado en sus primeras relaciones con el bebé; han de procurar entender la importancia que tiene dicha relación para el futuro del niño, y la necesidad que tiene de conseguir un vínculo de apego seguro y estable en los dos primeros años de vida.

El equilibrio emocional es un factor básico para lograr un buen aprendizaje. Un ambiente emocionalmente estable tanto en casa como en el colegio será decisivo en la mejora de las capacidades cognitivas de los niños. No olvidemos que las emociones son fundamentales para el aprendizaje y para la toma de decisiones. Probablemente, la mayoría de decisiones que se adoptan a lo largo del día vengan determinadas por las emociones. Por tanto, es imprescindible crear en los niños valores suficientemente estables, consistentes y prioritarios que faciliten el aprendizaje y estimulen la adquisición de nuevos conocimientos. Ello permitirá una mejor integración entre las emociones y la toma de decisiones acertadas durante la jornada escolar. Las emociones equilibradas no solamente permiten tomar más rápidamente cualquier decisión, sino que, además, entrañan mayor calidad y menos errores que si dichas decisiones fuesen llevadas a cabo únicamente mediante procesos lógicos.

El conocimiento de los intereses del alumno por parte del profesor le permitirá desarrollar una mayor y mejor capacidad de comunicación, de motivación y de generar más curiosidad en aquel. Es, pues, de la máxima importancia que el maestro sea capaz de generar un buen ambiente: la comunicación no verbal manifestada a través del tono, las expresiones, los movimientos, las sonrisas, etc., es fundamental para mantener el interés en clase.

El ambiente familiar debería aportar la misma riqueza que el medio escolar propiciando la música, la lectura o un ambiente de estudio, restringiendo la televisión, etc. Los padres deberían mantener conversaciones con los hijos sobre diferentes temas estudiados durante el día en la escuela. El efecto emocional de los padres es de suma importancia para el niño. La familia debería ser una continuación de la escuela, aunque de una forma relajada, amigable, optimista: integrada, en suma, en el contexto familiar.

Las imágenes afectan al estado emocional del organismo, de tal forma que imágenes aversivas activan la ínsula anterior, implicada en el

control de la actividad autónoma, los ritmos cardíaco y respiratorio, el pulso, etc. Para mejorar el estado de ánimo, antes de cada clase convendría estimular a los niños con imágenes positivas, agradables, a ser posible sobre la materia que se va a explicar.

Visualizar escenas violentas no solo afecta al cuerpo, al sistema inmunitario y al sistema hormonal, sino también al cerebro emocional. Por ejemplo, cómo reaccionan los alumnos el lunes cuando su equipo ha ganado frente a los alumnos del equipo que ha perdido. Se debe evitar que los niños vean en casa programas de televisión con escenas violentas, puesto que la imitación de actitudes, valores, comportamientos y conductas es fácil de adquirir. En el hogar se debería mantener un ambiente de estimulación positiva mediante programas especiales adaptados a los niños, programas que favorezcan la imaginación, las actitudes constructivas y un estado emocional positivo.

Expresar emociones, tanto en casa como en el colegio, produce una mayor armonía cerebro-cuerpo, mientras que reprimirlas conlleva una gran disarmonía psicológica y de adaptación social. Una buena forma de disminuir estados emocionales fuertes consiste en procurar un equilibrio biológico adecuado, con una buena hidratación, alimentación, ejercicio físico, deporte y, en general, mediante actividades que impliquen movimiento, así como la percepción de imágenes positivas a lo largo del día.

Capítulo seis

Importancia del sueño en la neuroeducación

Queremos dejar constancia desde el principio de la importancia que tiene el sueño en la neuroplasticidad cerebral al mantener determinadas sinapsis, eliminar otras y reforzar ciertas conexiones entre áreas corticales, y sobre todo, en los procesos cognitivos, principalmente en la consolidación de la memoria. Recientes trabajos proveen evidencia de la relación entre determinados estados de oscilaciones de baja frecuencia cerebral del sueño para consolidar la memoria, la atención y el aprendizaje, además de la restauración neuronal, la reorganización funcional de los circuitos neuronales, el fortalecimiento de conexiones neuronales existentes y la formación de nuevas sinapsis (Huber y cols., 2004; Paller y cols., 2004; Rauchs y cols., 2004; Marshall y cols., 2006; Born y cols., 2006; Ji y cols., 2007; Yoo y cols., 2007).

El ciclo sueño-vigilia permite una capacidad diferencial en la actividad neuronal que sugiere la existencia de dos cerebros: uno está activo en la vigilia y permite una adecuada interacción del sujeto con su ambiente (para adaptarnos, para ser creativos y productivos, para reproducirnos o para buscar alimento); y, cuando este cerebro reduce su actividad, hay otro que se despierta, y es al que responsabilizamos de la actividad de dormir.

A pesar de que muchos detalles de los mecanismos de acción de este cerebro ejecutor del sueño se conocen con razonable precisión, aún no sabemos qué persigue, cuál es su fin, su función, etc. Pero ya se sabe que durante el sueño REM¹¹ se observa una gran actividad en el tálamo, la corteza occipital, el lóbulo orbitofrontal y el sistema límbico (amígdala, hipocampo y circunvolución del cíngulo). Son estructuras cerebrales asociadas con procesos de memoria emocional y aprendizaje, lo que explica que la privación de sueño durante muchas horas dé lugar a un gran déficit en la memoria, la atención y el aprendizaje (Montes-

Rodríguez y cols., 2006; Takeuchi y cols., 2014).

El sueño tiene especial importancia en la etapa adolescente, en la que existe una alteración importante de los ritmos circadianos de sueño-vigilia, y donde aparecen alteraciones en el sueño con gran disminución del sueño no REM¹² y, consecuentemente, de las ondas lentas (delta y theta), asociadas con el proceso de maduración, tan importante en la adolescencia (Campbell y cols., 2009).

Si los niños o adolescentes no duermen bien, pasan varias cosas que dificultan su aprendizaje escolar. Se alteran funciones cognitivas indispensables para la interacción del alumno con el entorno escolar como consecuencia de la mala restauración del cerebro y, por tanto, de la disminución de las conexiones neuronales asociadas con las sinapsis generadas durante el día. Ello llevaría a una falta de mantenimiento de conexiones conseguidas durante el aprendizaje diurno y, sobre todo, como dicen algunos autores, a deshacerse de la “basura” cerebral acumulada durante el día.

Es interesante lo que proponen algunos especialistas: consideran que durante el sueño no REM se incrementan las ondas lentas y las áreas cerebrales asociadas con el aprendizaje diurno. Por ejemplo, una tarea visuomotora diurna que activa áreas parietales provoca un incremento de ondas lentas en la actividad de la corteza parietal durante el sueño (Huber y cols., 2004). Si no dormimos, nuestras habilidades cognitivas se verán alteradas al día siguiente: esto es, el mal funcionamiento del cerebro es el coste de la ausencia de descanso nocturno.

Lo que parece resultar de un período de sueño es la formación de la organización neuronal adecuada para ganarle la delantera al medio, con las sinapsis necesarias para que el sujeto pueda desplegar estrategias que prevean, por así decirlo, el futuro garantizando su supervivencia. El cerebro inconsciente del sueño es una pieza clave que afecta a los procesos cognitivos que emprende el cerebro consciente de la vigilia. El sueño permite establecer y mantener las sinapsis necesarias para que el sujeto pueda desplegar estrategias de futuro, garantizando su supervivencia. En otras palabras, el sueño hace que no seamos los mismos a la mañana siguiente sino, por el contrario, diferentes y más aptos para la vida.

Estudios realizados con sujetos adultos han comprobado la importancia que tiene la falta de sueño en el aumento de enfermedades

infecciosas, en la disminución de la inmunidad, en los problemas cardiovasculares, endocrinos, y, sobre todo, en la capacidad cognitiva, relaciones sociales, emocionales y en la productividad en el trabajo. Otros estudios realizados en personas privadas de sueño afirman que estas exhiben un déficit moderado en la ejecución de pruebas que evalúan tareas cognitivas como memoria, atención y aprendizaje. Además, hay una drástica disminución en el tiempo de reacción para realizar las tareas (Drummond y col, 200, 2001, Chee, 2004). La eficiencia para resolver estas tareas se recupera con el simple hecho de dormir.

Dormir permite la estabilización de las conexiones neuronales adquiridas durante la vigilia mediante el aprendizaje, hecho que sucede durante el sueño REM, donde el patrón de actividad eléctrica de células del hipocampo resulta similar al patrón de actividad que se ha llevado a cabo durante el aprendizaje en vigilia (Louie y Wilson, 2001). Eso nos lleva a pensar que las actividades cognitivas realizadas durante la vigilia se reflejan en su actividad cerebral durante el sueño (Krueger y cols., 1995; Tononi y Cirelli, 2003). En este contexto, suponemos que, al dormir, el cerebro reprocessa la información obtenida en la vigilia, tal vez para consolidarla o para categorizarla. Ello implicaría el fortalecimiento de sinapsis existentes y la activación de sinapsis silentes, e incluso la neoformación de sinapsis. El resultado global sería un cerebro despierto, más apto para lidiar con las demandas del medio, por la adecuada organización de sus circuitos neuronales, puesto que el fin último del sueño es el funcionamiento óptimo del cerebro.

Por último, hay que decir que las necesidades del sueño se modifican a lo largo de la vida, son individuales y dependen de muchos factores. Deberíamos dormir de forma regular un determinado número de horas. Una buena higiene sobre el sueño requiere acostumar a los niños a dormir un número de horas suficiente, que según Domínguez y Domínguez (2007) oscilarían entre nueve y once horas en la etapa escolar, en función de la edad del niño.

¿Qué tenemos que saber acerca del sueño?

La falta de sueño tiene, por tanto, efectos negativos en la salud física y, sobre todo, en la mental: afecta directamente al aprendizaje, toda vez que conlleva problemas de memoria, falta de energía, falta de

concentración, cambios de humor, mayor riesgo de accidentes, bajo rendimiento escolar y problemas en las relaciones personales.

El mayor cambio cuantitativo en el sueño con ondas lentas se produce a lo largo de la adolescencia, disminuyendo alrededor del 40 % durante la segunda década de la vida. Quizá ello suceda paralelamente a la pérdida de densidad sináptica cortical. El sueño con ondas lentas es máximo en los niños. Disminuye marcadamente con la edad y es cualitativamente distinto del de los adultos.

Existen varias teorías sobre la importancia del sueño en las funciones cognitivas. Por un lado, diferentes investigadores consideran que durante el sueño se da un proceso de incorporación de los estímulos previos al sueño con una continuidad temática de los contenidos; otros piensan que existe un proceso activo de consolidación de la memoria y de reelaboración de las experiencias, y no de simple reproducción; y aun otros postulan que la función principal del sueño REM es olvidar lo innecesario.

Requiere especial atención el control del sueño en la adolescencia, cuando los cambios hormonales van a afectar directamente al ritmo de aquel. En la etapa adolescente, su inicio se retrasa, debido en parte a los cambios bioquímicos que experimenta y en parte a la oleamida, sustancia química que condiciona el sueño y que se altera en la pubertad. Este retraso conlleva no pocas discusiones, sobre todo en familias donde hay hermanos de distintas edades.

Sería de interés hacer un estudio sobre el inicio y el contenido de las primeras clases en etapas adolescentes. Se podría cambiar la organización de la enseñanza de tal forma que las primeras clases fuesen sencillas, sin gran cantidad de contenidos, fáciles de llevar a cabo. Y hacerlo a partir de las diez de la mañana, hora a la cual el reloj biológico de los adolescentes permite una mayor vigilancia y facilita el aprendizaje de materias más difíciles y complejas. Dejar dormir una hora más por la mañana a los adolescentes y empezar el colegio una hora más tarde, tendría resultados positivos en el aprendizaje, aunque podría suscitar otro tipo de problemas sociales, familiares y, probablemente, de organización escolar.

De todo lo expuesto se deduce que, si los niños durmiesen las horas necesarias, siguiendo una pauta regular de acostarse y levantarse, probablemente los resultados tanto en la actitud como en el aprendizaje

mejorarían de forma considerable. Algunos consejos prácticos podrían ayudar a los niños a dormir mejor, como, por ejemplo, no tomar alimentos con mucho condimento o grasas, puesto que pueden producir pesadez de estómago y despertar al niño por la noche. Por otro lado, irse a dormir con hambre o muy saciado puede también dificultar el sueño. Algunos hábitos, como el de tomar leche caliente con miel antes de acostarse, parecen favorecer el sueño. No se deben tomar muchos líquidos antes de acostarse, pues hacen que la persona tenga que levantarse para ir al baño, lo que interrumpe el ciclo normal de sueño.

El ejercicio moderado, sobre todo por la tarde, ayuda a conciliar el sueño más rápidamente y a obtener un sueño más profundo. Un baño con agua tibia antes de acostarse ayuda a dormirse más rápido. Los padres deben establecer para sus hijos como rutina una hora de irse a dormir y una hora de levantarse. No conviene dejarles ver la televisión ni manejar pantallas electrónicas con retroiluminación antes de acostarse, ya que se sospecha que pueden producir dificultades para conciliar el sueño.

En cuanto a la habitación, es aconsejable que esté totalmente a oscuras durante el sueño, puesto que nuestro reloj biológico funciona con la luz y la oscuridad. Hay que evitar los ruidos alrededor de la habitación, incluido el sonido de la radio, la música, etc. El silencio es la mejor ayuda para el inicio del sueño. La temperatura de la habitación debe estar alrededor de los 22 °C, ni mucho calor ni mucho frío. Dormir en una buena cama es básico para conseguir un sueño reparador. Una buena forma de llegar a una rutina con los niños es seguir una guía diaria que controla: hora de acostarse, tiempo necesario para dormir, número de despertares, hora de levantarse, duración total del sueño y calidad del sueño.

¹¹ La fase REM (del inglés *rapid eye movements*) o de ondas rápidas es la quinta etapa del sueño, comienza aproximadamente 90 minutos después que nos dormimos y se caracteriza por el movimiento acelerado de los ojos y se repite cinco veces a lo largo de la noche, siendo el 20%-25% del sueño total en el adulto, y de alrededor del 80% en el niño.

¹² El sueño no REM o de ondas lentas es la tercera fase del sueño sin movimientos oculares rápidos.

Capítulo siete

Importancia de la nutrición en la neuroeducación

La educación es un proceso complejo multicausal y multifactorial, en el que los factores socioeconómicos, socioculturales, familiares y de enseñanza son fundamentales. Entre todos estos factores, no podemos olvidar la importancia de la nutrición en el niño, tanto en la calidad de la comida como en contenido de proteínas, oligoelementos, vitaminas, etc. No obstante, todavía no podemos sacar conclusiones lo suficientemente robustas para defender sin fisuras la importancia de la nutrición en los procesos cerebrales.

En esta línea de pensamiento, numerosos estudios han evaluado los efectos positivos de los suplementos de micronutrientes en el crecimiento y el desarrollo cognitivo de los bebés, niños pequeños y preescolares, sobre todo si se toman en el desayuno, para disminuir la fatiga y mejorar el aprendizaje escolar.

El tema de la desnutrición infantil es un grave problema en la población mundial. De hecho, se estima que, como consecuencia de la desnutrición, más de 200 millones de niños en todo el mundo no logran alcanzar un desarrollo cognitivo aceptable (Khor y Misra, 2012). La desnutrición en los primeros años de vida tiene efectos desastrosos en los procesos cognitivos y en el aprendizaje posterior (Waber y cols., 2014), así como en una disminución del desarrollo de la corteza cerebral (Noble y cols., 2015).

Numerosos estudios han evaluado los efectos de los suplementos de micronutrientes en el crecimiento y el desarrollo cognitivo de los bebés, los niños pequeños y los preescolares (Khor y Misra, 2012; Portillo-Reyes y cols., 2014), sobre todo, el efecto del desayuno en relación con el nivel de nutrientes necesarios para un buen desarrollo cognitivo (Wesnes y cols., 2012; Young y Benton, 2015). Sin embargo, no podemos extraer todavía conclusiones sólidas para defender la importancia de la

nutrición en los procesos cognitivos (Edefonti y cols., 2014), por lo que se necesitan muchos más estudios científicos que demuestren esta relación.

No obstante, los beneficios de una buena alimentación se traducen en un mejor rendimiento del cerebro, el cual tendría muchas dificultades para realizar sus funciones si, desde un principio, no recibiera los nutrientes necesarios que aporta una dieta equilibrada. La buena alimentación y un estilo de vida sano inciden de forma positiva sobre el cerebro, afectando a toda una serie de procesos moleculares y celulares asociados al metabolismo energético y a la plasticidad sináptica, que son fundamentales para la transmisión y procesamiento de la información (Gómez-Pinilla y Tyagi, 2013).

Un alto consumo en lácteos con poca grasa, verduras, frutas, cereales, pescados, aceite de oliva propios de la dieta mediterránea, así como de ácidos grasos de tipo omega-3 (Montgomery y cols., 2013), de forma regular y bien distribuidos a lo largo del día, podrían contribuir a mejorar los procesos neurofuncionales. Durante las tareas académicas, hay que evitar niveles bajos de glucosa, que tanto perjudican el aprendizaje y el rendimiento cognitivo (Ortiz, 2010).

Se han identificado varios componentes dietéticos que tienen efectos sobre las capacidades cognitivas, aunque no todos sean aptos para niños. En particular, los polifenoles ejercen su acción neuroprotectora a través del potencial para proteger las neuronas contra la lesión inducida por las neurotoxinas y suprimir la neuroinflamación, así como para promover la memoria, el aprendizaje y la función cognitiva. Los polifenoles que encontramos en los frutos rojos, el vino tinto o el chocolate negro mejoran aspectos neuronales de las funciones sinápticas debido a su efecto antioxidante.

Los flavonoles forman parte de la familia de flavonoides, que se encuentran en diversas frutas, cacao, vino, té y frijoles. Varios estudios han demostrado que una mayor ingesta de flavonoides en los alimentos puede estar asociada con una mejor evolución cognitiva (Meeusen, 2014).

Si bien es verdad que deberíamos educar a los niños para repartir la ingesta de nutrientes a lo largo del día, un buen desayuno es de suma importancia para el rendimiento escolar. En diferentes estudios se ha comprobado que los niños que desayunan cereales, frutas y productos

lácteos mejoran enormemente su rendimiento escolar y la capacidad cognitiva. La calidad de los nutrientes del desayuno (en términos de variedad de grupos de alimentos y energía adecuadas) está asociada a un mejor rendimiento escolar (Wesness y cols., 2003; Rampersaud y cols., 2005, Taras y cols., 2005; Adolphus y cols., 2013, 2015).

Existe una excelente revisión, llevada a cabo por Geok Lin Khor y Snigdha Misra (2012), sobre la importancia de los micronutrientes en la salud y en los procesos cognitivos en etapas escolares. Este trabajo aporta datos que determinan que los tipos más comunes de la deficiencia de micronutrientes son los déficits de hierro, vitamina A, yodo, vitaminas del grupo B y zinc. Destacan las interacciones entre deficiencias de micronutrientes y las funciones cognitivas, y la importancia de la aportación de micronutrientes en la dieta de los escolares. Los ácidos grasos omega-3 han sido asociados recientemente a procesos cognitivos tales como memoria, atención y concentración, comprensión lectora y vocabulario (Portillo-Reyes y cols., 2014).

En el caso de nuestros escolares, el desayuno es especialmente importante para la disminución de la fatiga durante la mañana, el mantenimiento de los procesos atencionales, la mejora del aprendizaje y el rendimiento escolar.

¿Qué tenemos que saber acerca de la nutrición infantil?

Cada día se le está dando más importancia a los programas de nutrición en las etapas tempranas de la vida, con el fin de mejorar el desarrollo corporal e intelectual. En este sentido, los padres deben tener cuidado de vigilar tanto la nutrición como la hidratación de sus hijos desde el nacimiento. Numerosos estudios científicos alertan de que los efectos de la desnutrición en la primera infancia (de 0 a 7 años) pueden ser duraderos, e impedir un buen desarrollo conductual y cognitivo a lo largo de la vida escolar, incluso posteriormente. Si el niño está bien alimentado durante los primeros años de vida, puede tener un efecto profundo en su salud, así como en sus funciones cognitivas, emocionales y psicosociales. Esto afecta sobre todo a la atención, la memoria, la capacidad para aprender y al rendimiento escolar.

Existen evidencias científicas que sugieren que cuanto más temprano empiece el niño a beneficiarse de una dieta equilibrada, mejor

será su desarrollo cognitivo y conductual, y su desarrollo físico y motor. Algunos investigadores justifican una mejora en las habilidades y relaciones sociales, y otros van más allá, pues consideran que puede afectar directamente a la inteligencia. Los estudios recientes sobre nutrición y cognición demuestran que la capacidad de aprendizaje, el lenguaje, la atención, la memoria, las funciones ejecutivas, el rendimiento cognitivo y hasta los estados de ánimo están ligados al consumo de ciertas sustancias contenidas en alimentos específicos.

La nutrición materna en el período prenatal y la del bebé en los primeros siete años de la vida es clave para el desarrollo de todo el organismo. En la infancia, la nutrición tiene una gran relevancia, entre otras razones, porque es una etapa de desarrollo de las membranas y de la mielina de nuestras neuronas. Los alimentos ricos en proteínas (carnes magras, pescados, mariscos, legumbres, lácteos con poca grasa) serán de gran importancia en esta etapa de la vida.

Un aspecto relevante en la nutrición de los niños es que mantengan siempre un nivel de glucosa estable durante el día y, sobre todo, durante el aprendizaje escolar, donde el esfuerzo del cerebro es más importante. Los niveles bajos de glucosa afectan directamente al aprendizaje y al rendimiento cognitivo. La importancia de vigilar la glucosa viene determinada porque el cerebro no puede reservar hidratos de carbono, de modo que, si queremos un buen rendimiento cerebral, dicha sustancia debe ser suministrada constantemente por vía sanguínea. Existen muchos alimentos que pueden ayudar a mantener la glucemia estable, tales como miel, panes integrales, legumbres, cereales, frutas (fructosa), verduras o leche (lactosa). Son las condiciones óptimas para el aprendizaje.

Otro elemento importante en la nutrición del cerebro son los aminoácidos, entre los que cabe destacar el ácido aspártico (fundamental para las conexiones sinápticas cerebrales y, por tanto, para el aprendizaje), muy presente en los cacahuetes, los huevos, las patatas, los granos y los germinados de semillas. O la colina, utilizada para producir acetilcolina, un neurotransmisor vital en la transmisión de impulsos nerviosos a los músculos. Se encuentra abundantemente en las habichuelas, en la soja, en el hígado y en los huevos.

El ácido glutámico, otro aminoácido, se utiliza para la producción de glutamato, un neurotransmisor que se cree que está involucrado en

funciones cognitivas tales como la memoria y el aprendizaje. Se encuentra en las harinas y las patatas. Asimismo, la fenilalanina, utilizada para generar la dopamina (un neurotransmisor con numerosas funciones, entre ellas algunas relacionadas con el control de los movimientos y los estados de vigilia), se encuentra en la carne, los huevos, la remolacha, las habichuelas, la soja, los granos y las almendras.

También tenemos el triptófano: el cerebro lo emplea para producir serotonina, un neurotransmisor que desempeña un papel importante en la regulación de los estados anímicos, del sueño y del apetito. Entre otras funciones, sirve para la atención y la memoria, y se encuentra en el plátano, la leche, el yogur, el queso, los huevos y la carne.

Y por último se halla la tirosina, un aminoácido que se utiliza en la producción de noradrenalina, también conocida como *norepinefrina*. Es un neurotransmisor involucrado en las funciones relacionadas con la atención y se encuentra en carnes, pescados, leche, almendras y plátanos.

Las proteínas contenidas en alimentos de origen animal, especialmente en el hígado y en los mariscos, contribuyen a la regulación de la capacidad intelectual y del estado de ánimo. Los ácidos grasos omega-3 tienen especial importancia en la nutrición cerebral por ser componentes importantes de las membranas celulares, y en la vaina de mielina, que aísla el axón de las neuronas, facilitando el impulso nervioso. Ello contribuye a mejorar el desarrollo cerebral y las funciones cognitivas. Se encuentran principalmente en el llamado pescado azul (salmón, caballa, atún, arenque) y en la soja, las nueces y el aceite de lino (ácido alfa-linolénico).

Una buena dieta debe incluir un aporte adecuado de micronutrientes en virtud de los beneficios que estos ofrecen al organismo: el calcio, por ejemplo, interviene en la transmisión de los impulsos nerviosos. Se encuentra principalmente en la leche y sus derivados. El hierro influye en el rendimiento y en el transporte de oxígeno a las células. La falta de hierro influye negativamente en el desarrollo cognitivo y motor, en la memoria y el aprendizaje, así como en el rendimiento escolar. Se encuentra en carnes, legumbres y frutos secos.

El zinc parece estar relacionado con la actividad de los neurotransmisores. Alimentos ricos en zinc son las ostras, los

crustáceos, la carne de cordero y las leguminosas. El déficit de zinc se asocia con déficits de atención memoria y aprendizaje escolar, entre otras funciones cognitivas. El yodo también es un elemento imprescindible en la dieta de los escolares, puesto que está relacionado con la formación de dendritas y sinapsis. Se encuentra principalmente en pescados y mariscos, y su déficit en la etapa escolar produce alteraciones en capacidades cognitivas, razonamiento abstracto, percepción espacial y funciones ejecutivas, entre otras.

Las vitaminas del complejo B son cofactores del proceso de producción de neurotransmisores, específicamente la B₁ (carne de cerdo y levadura de cerveza), B₆ (melón, pollo y plátano) y la B₁₂ (hígado, huevos y queso). Esta última es muy importante para contrarrestar el estrés y fortalecer la agilidad intelectual. Recientes estudios demuestran que una dieta pobre en estas vitaminas conlleva problemas cognitivos, y que estos pueden mejorarse con micronutrientes suplementarios a dicha dieta.

Otro dato muy importante para niños con edades escolares es, como ya hemos comentado, la importancia de un buen desayuno para un lograr un adecuado rendimiento escolar. Diferentes estudios demuestran que los niños que desayunan cereales, frutas y productos lácteos mejoran enormemente su rendimiento escolar y su capacidad cognitiva. Concienciar a los padres de la importancia de un buen desayuno va a ser básico para mejorar la capacidad de aprendizaje y la adaptabilidad escolar.

A lo largo de la mañana escolar se debería tomar algún tipo de alimento, como por ejemplo fruta, yogur, queso o pan integral, y, sobre todo, beber agua, con mayor motivo si se ha hecho deporte. Esto garantizaría unos niveles óptimos de glucemia y un riego sanguíneo adecuado al cerebro. No olvidemos que, empíricamente, se ha comprobado que la falta de líquido genera más cansancio y un pobre rendimiento escolar e incluso, en muchos casos, dolor de cabeza. Para mantener una buena capacidad intelectual después de la comida, esta no debe ser abundante, pero sí rica en proteínas, vitaminas y minerales. La merienda y la cena también tienen que tener aportes de hidratos de carbono y, sobre todo, la cena ha de ser frugal y sin alimentos o bebidas estimulantes.

En materia de salud, uno de los mejores consejos que podemos dar a

los padres es que eduquen a sus hijos desde la primera infancia a mantener una dieta equilibrada, variada y moderada, con un aporte hídrico distribuido a lo largo del día, así como a llevar un estilo de vida saludable y pleno de ejercicio físico. Los padres y maestros no deben olvidar que la ingestión de agua ha de ser siempre proporcional a la ingestión energética, al peso corporal y a la actividad física.

De todo lo expuesto se deduce que, si los niños distribuyeran correctamente los alimentos a lo largo del día, si desayunasen bien y no alargaran el tiempo entre comida y comida, probablemente el aprendizaje durante las clases mejoraría de forma considerable.

Capítulo ocho

Importancia del ejercicio físico en la neuroeducación

El ejercicio físico posee efectos beneficiosos sobre la función cerebral, tales como promover la neuroplasticidad, la neurogénesis y las funciones cognitivas, lo que puede ser debido al aumento de la expresión de varios factores neurotróficos¹³. En consonancia con lo anterior, se sabe que la actividad física tiene un efecto positivo en la actividad de ciertas áreas cerebrales necesarias para el buen desarrollo cerebral y del aprendizaje escolar. La actividad física va a contribuir a desarrollar procesos básicos (principalmente atencionales) para el aprendizaje escolar como pueden ser la programación, la anticipación, el control de funciones complejas, así como la facilitación de los procesos cognitivos a lo largo de la vida (Murray y cols., 2006; Ridler y cols., 2006; Leisman 2016).

La mente es el producto de los procesos evolutivos que han tenido lugar en el cerebro de organismos dotados de movimiento. Las funciones motoras y cognitivas van en paralelo, pero son interdependientes, de tal forma que las actividades neuronales pueden representar tanto los procesos motores como los cognitivos, lo que sugiere que ambos procesos pueden compartir raíces evolutivas similares (Llinás, 2003; Mendoza y Merchant, 2014).

Diferentes estudios han relacionado los procesos cognitivos y motores, tanto en su representación cerebral (áreas cerebrales compartidas: lóbulo frontal, córtex cingulado anterior, cerebelo, hipocampo, ganglios basales, bucles cortico-estriados) como en los procesos cognitivos compartidos: atención, memoria y percepción. Así se consigue el control de la función ejecutiva: la intencionalidad, predicción y anticipación de los movimientos del comportamiento humano.

Sin embargo, diferentes estudios plantean un proceso

neurofuncional asimétrico, con predominio del hemisferio izquierdo en el control motor, mientras que el derecho se encargaría de los movimientos espaciales, lo que permite una mayor implicación diferencial de los procesos cognitivos en los motores. Podríamos decir, pues, que el movimiento facilita la plasticidad cerebral y el desarrollo de redes corticocorticales mediante su interacción cognitivo-motora. Este proceso interactivo requiere del aprendizaje de automatización de movimientos, procesos secuenciales de acciones simples, de la función ejecutiva, imagen mental motora, así como de procesos cognitivos complejos que permitan una interacción dinámica y rápida con el medioambiente (Leisman y cols., 2014; Middleton y Strick, 2000; Jeannerod, 1994, 2001; Ungerleider y cols., 2002; Doyon y Benali, 2005; Keele y cols., 2003; Nixon y Passingham, 2000).

Este proceso interactivo entre función cognitiva y comportamiento motor ha sido evidenciado en estudios sobre imaginería motora¹⁴ según los cuales se sabe que las imágenes motoras poseen las mismas características que las de su representación ejecutiva: el movimiento imaginado y la creación de este movimiento tienen la misma relación neurofuncional. La teoría de las imágenes mentales indica que procesos cognitivo-motores como la imaginación motora y la observación de la acción comparten las mismas representaciones que la ejecución motora (Jeannerod, 1994, 2001).

Munzert y cols. (2009) señalaron que las regiones motoras del cerebro están implicadas de forma significativa en las imágenes motoras o en la representación cognitiva del movimiento y la acción. Se ha demostrado en otros estudios electrofisiológicos (Beisteiner y cols., 1995) que la actividad cerebral durante la imagen del movimiento motor es comparable con el rendimiento del movimiento real en su actividad neurofuncional. Diferentes estudios muestran que mediante ejercicios de imaginación de movimientos se consigue un aumento en la activación de estructuras motoras y premotoras corticales casi con la misma intensidad que cuando se llevan a cabo de forma activa dichos ejercicios (Bradley y cols. 2016; Sitaram y cols., 2007).

¿Cuál es la importancia de llevar a cabo ejercicios cognitivos y de generar las imágenes motoras para el desarrollo y la mejora del proceso cognitivo-motor y, en consecuencia, del aprendizaje escolar? Dicho de otro modo, ¿el entrenamiento motor y el ejercicio físico podrían afectar

al rendimiento cognitivo? Numerosos trabajos científicos parecen contestar afirmativamente a esta pregunta, tanto desde las investigaciones en niños con alteraciones y dificultades en el aprendizaje escolar, como con niños sin dificultades significativas que han mejorado sus niveles y rendimiento académico.

En esta línea de pensamiento, varios estudios encontraron una relación directa entre un buen desarrollo motor y un buen desarrollo del lenguaje, así como de la capacidad intelectual y de las funciones ejecutivas tanto en niños como en adolescentes. También se ha comprobado que el buen desarrollo motor influye positivamente en las funciones ejecutivas de personas adultas. Estos estudios llegan a la conclusión de que la actividad física mejora la función cognitiva, la memoria de trabajo, el rendimiento académico y la plasticidad cerebral a lo largo de la vida (Murray y cols., 2007; Garbarini y Adenzato, 2004; Ratey y cols., 2011; Kramer y Erickson, 2007; Hillman y cols., 2008). Un reciente estudio (Dongen y cols., 2016) confirma la importancia del ejercicio físico aeróbico en la mejora de la recuperación de la memoria a largo plazo y en el incremento de la actividad del hipocampo. Nos ayuda a llevar a cabo programas neuroeducativos en combinación con los padres, puesto que estos autores consideran que el ejercicio físico no debería hacerse inmediatamente después del aprendizaje escolar, sino al menos cuatro horas más tarde. El grupo que hizo el ejercicio inmediatamente después del aprendizaje escolar no sufrió ningún efecto sobre la recuperación de la memoria.

En este sentido, la combinación del aprendizaje escolar matutino con la actividad física vespertina podría contribuir a mejorar enormemente la capacidad de memoria, de aprendizaje y de neurodesarrollo del hipocampo, una estructura cerebral muy ligada a la memoria. Un programa neuroeducativo, bien diseñado y organizado, basado en la combinación de aprendizaje y ejercicio, podría contribuir a mejorar la capacidad de memoria y el aprendizaje escolar en estudiantes con dificultades escolares, además de mejorar también al conjunto de los alumnos.

En esta línea de trabajos, McDonnell y cols. (2013) realizaron recientemente un estudio en el que comprobaron que la actividad física durante treinta minutos está asociada al aumento de la plasticidad cerebral, así como de la memoria declarativa y de la coordinación

motriz. Otros, como Hillman y cols. (2009), examinaron la relación entre los aspectos electrofisiológicos de la atención y el rendimiento académico en la escuela, y la caminata moderada de veinte minutos en una cinta. Comprobaron un aumento significativo en la precisión en la ejecución de las respuestas motoras, mayor amplitud de la onda P300 (asociada a los procesos atencionales) y una mejora en las pruebas de rendimiento académico después del ejercicio aeróbico.

Además de la mejora en la interacción cognitivo-motora y de la plasticidad cerebral, se han llevado a cabo estudios que han demostrado la importancia del ejercicio físico en la conectividad entre las regiones del cerebro. Chaddock-Heyman y cols. (2014) descubrieron que el ejercicio sistemático moderado beneficiaba la conectividad cerebral de la materia blanca del cerebro y, más importante aún, se observó la facilitación de conectividades entre diversas áreas de materia gris de la corteza cerebral en niños de 9 y 10 años de edad. Los investigadores observaron una materia blanca más gruesa y más densa entre los niños que estaban más físicamente en forma que otros, y que, a su vez, estaba asociada a una facilidad significativamente mayor de memoria, a la capacidad de atención y a la eficiencia cognitiva.

Un trabajo interesante que demuestra la eficacia del ejercicio en el desarrollo cerebral fue el llevado a cabo por Cotman y Berchtold (2002), quienes encontraron que, con el ejercicio, el factor de crecimiento neuronal (o BDNF, del inglés *brain-derived neurotrophic factor*) que actúa sobre el desarrollo de las sinapsis en el hipocampo se incrementaba notablemente. Pero también es verdad que cuando se suprime la actividad física disminuyen tanto el número de células hipocampales como las funciones cognitivas (Nishijima, 2013).

Muchos trabajos científicos concluyen que la actividad física está asociada al mayor desarrollo cerebral, a una mayor integridad de la sustancia blanca, a mayores volúmenes de materia gris, a tasas reducidas de atrofia cerebral, a la mejora neurofuncional de la corteza cerebral prefrontal, al aumento del volumen del hipocampo y a la mejora de la función ejecutiva, así como al aumento de la conectividad de la red cerebral, de lo cual resultan grandes beneficios neurocognitivos a lo largo de la vida (Voelcker-Rehage y Niemann, 2013; Weinstein y cols., 2012; Gow y cols., 2012; Colcombe y cols., 2006; Erickson y cols., 2011).

Con el ejercicio físico se consigue, además, un gran desarrollo del cerebelo, que es una de las estructuras cerebrales imprescindibles para llevar a cabo movimientos armoniosos, precisos y bien adaptados a la dinámica ambiental. Eso vendría a demostrar su importancia en todo tipo de habilidades motrices, incluyendo sus aspectos memorísticos. Acordes con esta última idea, diferentes estudios han demostrado que el cerebelo también desempeña un papel en el aprendizaje, en el lenguaje, en la atención, en la memoria de trabajo, en las emociones y, por ende, en el aprendizaje escolar (Caulfield y cols., 2016; Fiez, 2016; Moberget e Ivry, 2016). El cerebelo es capaz de aprender y después aplicar las funciones básicas adquiridas para desarrollar transformaciones sensoriomotoras. Puede realizar dos funciones básicas: ir desde un resultado deseado a una acción (modelo interno inverso) o ir desde un conjunto de posibles acciones hasta un resultado anticipado (modelo interno hacia delante). Proporciona una gran capacidad de anticipar resultados de las acciones (nuestras y de otras personas u objetos), y es básico para determinar el tiempo y la secuencia de nuestros movimientos.

La actividad neuronal para iniciar una acción se produce alrededor de doscientos milisegundos antes de que el córtex cerebral cognitivo haya tomado la decisión de llevar a cabo dicha acción. Por este motivo, el reconocimiento previo de distancias del entorno real mejora el recuerdo de patrones aprendidos y favorece respuestas más acertadas y rápidas. Esto tiene una gran importancia para los procesos atencionales durante el aprendizaje escolar y, en especial, para los niños con déficit de atención, y para los adolescentes. Para estos últimos, la disminución de la sustancia gris cerebral frontal conlleva dificultades en los procesos atencionales focales y selectivos, dificultades que impiden un buen análisis de la estimulación ambiental. Es consecuencia también de que el cerebro es bombardeado con mucha información irrelevante y las estructuras frontales cerebrales no son capaces de disponer de un buen sistema de control que filtre todos esos datos innecesarios.

El cerebelo tiene un mecanismo de control que trabaja activando únicamente las neuronas que se requieren para la acción siguiente. Si se activan neuronas extra, el mecanismo de control las desactivará de manera que el cerebro pueda concentrarse en la información relevante. La actividad física, sobre todo aquella en la que se estimula más el

cerebelo, contribuye a reducir de forma considerable el “ruido cerebral” –al que nos referimos en el primer capítulo–. Al mejorar las señales sensoriales que le llegan, se toman mejores decisiones y, sobre todo, se ejecutan mejor y con más precisión. Los resultados demuestran que los errores de percepción tienen un impacto mucho mayor sobre la acción motriz de la que tienen los errores en el control de los músculos. En los movimientos de precisión la ejecución puede ser óptima si se consigue no añadir “ruido” en la planificación y ejecución del movimiento, como consecuencia de una mejora en los *inputs* sensoriales (Osborne y cols., 2005).

El ejercicio físico es básico para el aprendizaje y la adaptación general del niño al ambiente en el que se desarrolla. Hacer ejercicios motores antes de iniciar cualquier tarea puede derivar en una mejora de la predisposición física para la acción, pero también en una mejor predisposición psicológica con un aumento de la atención, de la motivación y de la concentración.

En un estudio con niños de primaria que llevaron a cabo una actividad física de treinta minutos, caminando tres días a la semana, se encontraron mejoras en la inteligencia fluida y en el rendimiento académico, con puntuaciones más altas en Inglés, Lengua, Matemáticas y Ciencias, aunque no fueron estadísticamente significativas en comparación con las de los niños del grupo de control. Estudios parecidos se han llevado a cabo con adolescentes, y se ha comprobado la importancia del ejercicio físico en las funciones ejecutivas de memoria visuoespacial y en los procesos atencionales inhibitorios medidos mediante la prueba de interferencia (Cooper y cols., 2016).

Al comparar niños que mantienen una actividad física continuada con niños obesos, sin actividad, se apreció en los primeros una mejor cognición, mejor rendimiento académico, mejora gestión de la función ejecutiva, mejor desempeño en matemáticas y en lectura y, en general, mejor comportamiento escolar y familiar (Davis y Cooper, 2011).

Una excelente revisión sobre la importancia de la actividad física y el rendimiento académico concluye que aunque su eficacia en la mejora a largo plazo del rendimiento académico no está bien establecida, sí que se dan beneficios cognitivos inmediatos. Eso nos lleva a pensar sobre la relación positiva entre la actividad física y el rendimiento académico (Amika Singh y col. 2012). Por tanto, a pesar de que los resultados que

tenemos hasta ahora no son lo suficientemente concluyentes para determinar la relación causal entre el ejercicio físico y el rendimiento escolar a largo plazo, los datos de que disponemos demuestran una eficacia inmediata de dicha relación. En nuestra opinión, deberíamos llevar a cabo programas específicos de ejercicios físicos antes de cualquier clase o período de aprendizaje escolar.

Una buena idea sería que, antes de iniciar cada clase, se llevaran a cabo unos cinco minutos de ejercicios físicos variados y motivadores en los que intervenga el equilibrio. Así no se generaría una rutina inútil y poco efectiva. En esos ejercicios se deberían incluir movimientos de motricidad gruesa, que consisten en acciones de grandes grupos musculares y posturales, movimientos de todo el cuerpo, y de grandes segmentos corporales, y movimientos de motricidad fina. Se trata de acciones de pequeños grupos musculares de la cara, manos y los pies y sobre todo ejercicios de equilibrio, precisión y secuenciación de movimientos.

Los estudios mediante actividad física reflejan que el ejercicio físico es un buen estimulante cerebral para mejorar el aprendizaje y la memoria, además de inducir otras mejoras en la dinámica cerebral e, incluso, en la estructura cerebral, con aumentos significativos de neuronas (neurogénesis) en el hipocampo (Van Praag, 2002, 2008).

Según Trejo y cols. (2001), el ejercicio posee efectos beneficiosos sobre la función cerebral, tales como promover la neuroplasticidad y aumentar el rendimiento del aprendizaje y la memoria. Puede deberse al aumento de la expresión de varios factores neurotróficos. El ejercicio físico aporta al cerebro no solamente oxígeno (necesario para cualquier función cognitiva), sino también neurotrofinas, verdaderos nutrientes cerebrales que obviamente van a mejorar tanto el crecimiento como las conexiones dendríticas, básicas en el aprendizaje escolar. El ejercicio realizado de manera repetitiva aumenta la magnitud y la estabilidad de dichas respuestas (Gómez-Pinilla y cols., 2001).

Muchos investigadores han propuesto la actividad psicomotriz como base para el aprendizaje escolar. En diferentes estudios se ha comprobado la eficacia de la danza en el aprendizaje, el lenguaje, la lectura y la atención. Lo más curioso es que la relación entre el movimiento y el aprendizaje parece que continúa a lo largo de toda la vida, por lo que motivar y educar a niños y adolescentes en esta

actividad contribuirá a desarrollar mejor el cerebro y a mejorar a lo largo de su vida los procesos de aprendizaje. Los niños deberían, por tanto, desarrollar diferentes movimientos, tales como giros, equilibrio, gateo, balanceo, andar de puntillas, etc., a lo largo de la mañana y en sesiones muy cortas; o, mejor, incluir en el currículo educativo clases de danza con el fin de mejorar los procesos de aprendizaje escolar (Jensen, 2008).

También se ha comprobado que el ejercicio físico mejora sustancialmente los procesos emocionales y los estados de ánimo, consiguiendo estados positivos de bienestar corporal que redundan en una mayor motivación y en una mejora de la propia capacidad de aprender. Probablemente, es el efecto de una mejor actitud o bienestar corporal, máxime teniendo en cuenta que algunos investigadores consideran que las emociones están representadas en el sistema somatosensorial como mapas somatotópicos categóricos y culturalmente universales (Nummenmaa y cols., 2015).

Si esto es así, los cambios corporales provocados por las emociones pueden jugar un papel clave en la generación de las emociones conscientemente vividas. En este sentido, el ejercicio, la postura, el movimiento y la organización y posición de diferentes partes del cuerpo serán claves en la mejora de los estados emocionales.

En general, la conducta motriz tiende a producir el máximo efecto en el menor tiempo posible. Esta rutina exige una serie de procesos de preparación, programación, anticipación, control, etc., que van a estar en constante dinámica y modificación con el medioambiente. Estos procesos han pasado de ser considerados como operaciones jerárquicamente organizadas a estar integrados dinámicamente y en un continuo proceso de asimilación cortical. El estudio de los errores como proceso motriz integrado dentro de la conducta motriz también está siendo considerado actualmente, y sus resultados contribuyen a esclarecer todavía más las bases neuronales del comportamiento motor y a mejorar la conducta motriz del niño.

¿Qué tenemos que saber acerca del ejercicio físico?

El ejercicio físico es básico para el aprendizaje y para la adaptación general del niño al ambiente en el que se desarrolla, un medio para practicar, poner en acción, entrenar, realizar, usar o mejorar nuestras

actividades de la vida diaria; es más, constituye una parte natural de la vida, por lo que deberíamos incluirlo conscientemente en nuestra rutina diaria.

El aprendizaje, el pensamiento, la creatividad y la inteligencia no son procesos propios únicamente del pensamiento, sino de todo el cuerpo: ayudar a que cuerpo y mente se alíen en beneficio del rendimiento intelectual puede resultar una tarea muy positiva, además de sencilla. La psicomotricidad se entiende como una práctica que favorece el desarrollo global de la persona a través del cuerpo, y de su movimiento libre y espontáneo en sus interacciones físicas, simbólicas y cognitivas con el medio.

La práctica psicomotriz está pensada para que el niño sienta el placer de actuar y llegue al placer de pensar, y de pensar más allá de la acción. Actualmente predominan dos modelos de intervención: la psicomotricidad dirigida (basada en un enfoque más tradicional, que pone énfasis en el desarrollo global de la persona, así como en los aspectos motores y cognitivos) y la vivenciada (centrada en la actividad motriz espontánea).

La educación psicomotriz favorece el desarrollo global del niño en sus aspectos motores, cognitivos y socioafectivos. Su ámbito de actuación es amplio y variado, trabajando en educación, reeducación y terapia a lo largo de todas las etapas del desarrollo humano.

El juego psicomotor empieza muy temprano: ya desde el primer año de vida, el niño juega principalmente a juegos motores. Cuando el niño avanza en seguridad, aparece la denominada *explosión motora*, con juegos tan variopintos como saltar, caerse, gritar, girar, etc., así como experimentar con el equilibrio y el desequilibrio, subiendo y bajando rampas. Todas estas actividades van ayudando a definir el esquema corporal y ayudando a los procesos de lateralización de las funciones.

Coincidiendo con el inicio del juego simbólico, surgen los juegos que necesitan una cierta precisión. Ahí aparece la necesidad de poner en marcha las competencias del cuerpo, con el fin de experimentar la propia capacidad para realizar esas acciones.

Con el juego psicomotor hay que trabajar: (1) la percepción: visual, auditiva, táctil; (2) el esquema corporal: estructura corporal, postura y equilibrio, respiración y relajación, lateralización de las funciones, y (3) el cuerpo en movimiento, es decir, coordinación dinámica, coordinación

perceptiva, organización espacial y estructuración espacio-temporal, el ritmo.

Hay que “activar” al niño a través de movimientos, sin que importe tanto el movimiento en sí. Hacer ejercicios motores antes de iniciar cualquier tarea puede redundar en una mejora de la predisposición física para la acción, favoreciendo también la predisposición psicológica con un aumento de la atención, la motivación y la concentración, como se expresó anteriormente.

Se puede motivar al niño con ejercicios que generen diversión y entretenimiento o con ejercicios en los que intervenga algún tipo de utensilio o material pequeño (aros, cuerdas, pelotas, etc.). Incluso se pueden acompañar con música, adaptando el ritmo al tipo de ejercicio que se va a realizar. Otra estrategia que puede ayudar a motivar al niño consiste en convertir esta minisesión de ejercicios en una competición, pero procurando que el objetivo sea el éxito basado en la mejora de las habilidades motrices, orientando a la persona hacia la tarea y no tanto a ser el mejor de todos.

Una buena idea sería que los padres y maestros dedicaran diariamente unos minutos a llevar a cabo ejercicios variados y divertidos en los que se incluyesen movimientos de motricidad gruesa. Estos consisten en acciones de grandes grupos musculares y posturales, movimientos de todo el cuerpo y de grandes segmentos corporales, así como movimientos de motricidad fina. Estos últimos son acciones de pequeños grupos musculares de la cara, manos y los pies y, sobre todo, ejercicios de equilibrio, precisión y secuenciación de movimientos y ejercicios de equilibrio, que tanto favorecen la actividad cerebelosa y los procesos perceptivomotores. El equilibrio permitirá la integración sensoriperceptivomotriz y favorecerá una mejora de la integración de las estructuras corporales, liberando tiempo y espacio cerebral para otras funciones cognitivas.

Los padres y maestros tienen que saber que el desarrollo de la motricidad del niño es básico para el aprendizaje y el desarrollo psíquico posterior. Por ello, deben comenzar desde el nacimiento a estimular al niño en conductas motrices. En primer lugar, en movilidad pasiva, los movimientos pasivos o exógenos que son el reflejo del equilibrio y de las reacciones a la gravedad, pues permiten mantener el *tono muscular*, implicado en la vida afectiva y relacional. Poco a poco, tienen que

estimular con todo tipo de juegos los movimientos activos o autógenos que configuran los desplazamientos corporales y la relación con el medio exterior, como la locomoción y la prensión de los objetos. También tienen que estimular las conductas posturales manifiestas en el lenguaje corporal, necesarias para el mantenimiento del equilibrio y la comunicación humana posteriores.

Deben estimular al niño en conductas de coordinación y precisión de movimientos necesarias en un futuro para la mejora del aprendizaje. Y, en última instancia, habrán de estimular al niño en todo tipo de ejercicios físicos, principalmente mediante juegos, puesto que estos integran muchas de las conductas necesarias para el manejo de los movimientos complejos necesarios en el futuro para sus funciones cognitivas, para sus relaciones sociales y para la identidad personal, así como para la integración psíquica y la relación con el mundo en el que se van a desenvolver.

¹³ Las neurotrofinas, también llamadas *factores neurotróficos*, son una familia de proteínas que favorecen la supervivencia de las neuronas.

¹⁴ La imaginería motora (IM) trabaja la recuperación del movimiento desde una perspectiva cognitiva y no tanto desde la ejecución del movimiento.

Parte II

El programa neuroeducativo HERVAT

Capítulo nueve

Bases teóricas del programa neuroeducativo HERVAT

El programa neuroeducativo HERVAT consiste en la realización diaria de ejercicios de *hidratación, equilibrio, respiración, visión, audición y tacto*. Su objetivo es conseguir un estado óptimo del organismo que favorece los procesos atencionales básicos y, consecuentemente, los procesos cognitivos.

En el marco de la escuela inclusiva, el sistema educativo trata de promover respuestas adaptadas a las necesidades educativas de todos los alumnos. El ámbito escolar es un entorno propicio para detectar y estimular las capacidades de los alumnos. Ese es el motivo por el que el proyecto de investigación que desarrollamos en centros educativos de Madrid tenga como objetivo mejorar los mapas cognitivos de los alumnos, aumentando sus resultados académicos mediante la aplicación del HERVAT: un programa neuroeducativo de estimulación de procesos neurológicos básicos implicadas en cualquier proceso cognitivo.

Se trata de organizar y estimular de manera continuada (a lo largo de la jornada escolar) el funcionamiento cerebral de las áreas y estructuras subcorticales y corticales sensoriales primarias implicadas en el proceso de maduración y de aprendizaje, mediante un programa basado en estudios de neurociencia.

El objetivo del HERVAT es estimular procesos neurológicos, mediante ejercicios sencillos acordes al funcionamiento cerebral, con el fin de conseguir que los alumnos aumenten estados atencionales inmediatamente anteriores al aprendizaje escolar.

Desde la perspectiva educativa se pretende introducir en el entorno escolar un programa neuroeducativo que mejore los procesos de aprendizaje escolar y ayude a mejorar las capacidades cognitivas de los alumnos para dar una respuesta educativa más ajustada a su desarrollo

cerebral. Por último, este programa neuroeducativo promueve la cooperación entre familias, profesores y neurocientíficos para conseguir un buen desarrollo cerebral integral del alumno.

La neurociencia actual nos proporciona los conocimientos necesarios para diseñar programas de intervención orientados a un desarrollo controlado del cerebro, para mejorar la adquisición de conocimientos. En estos conocimientos se basa este programa neuroeducativo para favorecer el aprendizaje integral en edades tempranas. Permite a los profesionales de la educación diseñar enseñanzas, actuaciones y sistemas de estimulación específicos, para mejorar la actividad de los alumnos y por ende su capacidad, comprensión y ejecución de las funciones más complejas del ser humano.

Para conseguir un buen desarrollo de los procesos cognitivos, necesitamos partir de procesos sencillos que son la base para llegar al cerebro cognitivo. A través de la estimulación sistemática diaria de patrones estimulares motrices y multisensoriales muy sencillos, el programa neuroeducativo HERVAT trata de mejorar e integrar los mecanismos subcorticales cerebrales, con estructuras corticales complejas responsables de las funciones cognitivas y del aprendizaje escolar. La estimulación sensorial activa el cerebro y los mecanismos cerebrales que procesan la información. Permite construir autopistas neuronales estables de aprendizaje de procesos complejos, puesto que los sistemas sensoriales contienen información necesaria para poder llegar al desarrollo del proceso cognitivo.

Los procesos cognitivos forman parte de una serie de redes subcortico-corticales ampliamente distribuidas, interconectadas y solapadas entre sí. Las redes inferiores subcorticales representan los elementos senso-perceptivos y motores más específicos, concretos y básicos de nuestro propio desarrollo. Las redes superiores corticales – más amplias, conectadas y distribuidas–, representan los procesos más complejos del ser humano. Por tanto, la experiencia sensoriomotriz, consecuencia de la experiencia e interacción con el mundo externo e interno, va a ser la base de la formación de los procesos cognitivos.

En esta línea de pensamiento se pronuncia Fuster (2015), cuando dice que la función cognitiva viene determinada por una red formada por los grupos celulares corticales, que representan los aspectos sensoriales, motores y emocionales de una experiencia. Es sobre la corteza sensorial

y motora sobre las que se van formando y organizando, jerárquicamente, las memorias y conocimientos individuales, desde los más concretos a los más abstractos.

Para el desarrollo de estos procesos básicos en los cuales estamos acentuado la actividad subcortical como base de nuestro programa neuroeducativo HERVAT, es necesario que los ejercicios se hagan en tiempos muy cortos, todos los días y varias veces al día. Por este motivo, necesitamos la participación de padres, maestros y neurocientíficos en este modelo de neuroeducativo. Cada uno tendrá una participación decisiva en el desarrollo del programa y, sobre todo, en su eficacia (figura 1).

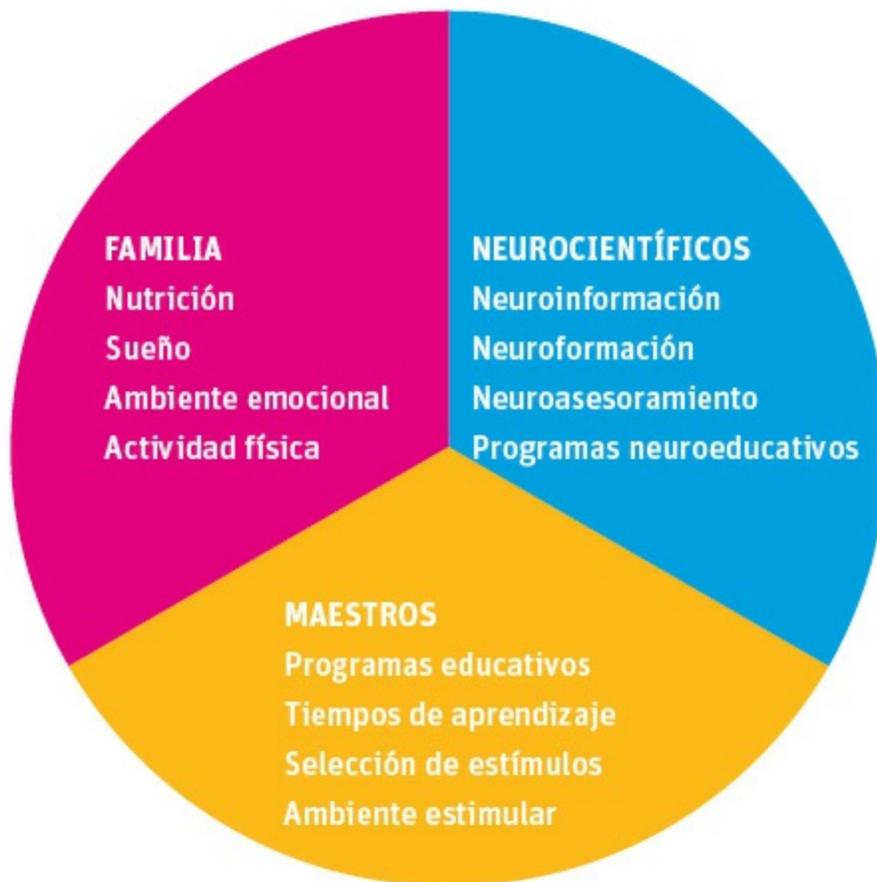


Figura 1. Modelo de participación para un sistema de enseñanza integral en la mejora del desarrollo cerebral subyacente a los procesos educativos.

Premisas del programa HERVAT

Para desarrollar bien los procesos cognitivos y el aprendizaje escolar,

necesitamos integrar de forma sistemática y organizada cuatro grandes procesos:

1. Mejorar los procesos fisiológicos y adaptarlos al medio escolar de la forma que permitan un estado biológico estable del organismo.
2. Alcanzar un desarrollo sensoriooperceptivo adecuado a las funciones propias del entorno escolar.
3. Organizar escolarmente un sistema neuropedagógico para mejorar el aprendizaje de habilidades, contenidos y funciones cognitivas complejas.
4. Crear un clima estable de estimulación perceptiva emocional positiva ambiental permanente.

¿Qué entendemos por el primer objetivo de mejorar procesos fisiológicos, equilibrados y adaptados al medio escolar, que permitan un estado biológico estable?

Este primer objetivo contempla, aparte del ambiente propio del centro, la luz natural, el ambiente sin ruidos y una arquitectura armoniosa, con grandes espacios y colores vivos como elementos arquitectónicos favorecedores del estado fisiológico del organismo durante el aprendizaje escolar.

También es muy importante enseñar a los niños a posicionar bien su propio cuerpo: no se puede estudiar encogido, mal sentado, agachando la cabeza. Son estados no naturales, que además impiden una buena oxigenación. Hay que enseñarles a inspirar y espirar adecuadamente, pues ello favorecerá no solamente la postura del cuerpo sino también la relajación y una mejor oxigenación del cerebro.

Es de gran importancia la educación en el sueño: los niños deben dormir bien y durante el tiempo necesario, para mejorar el rendimiento escolar. Por parte de los padres, hay que recordar que el sueño es básico para la consolidación de la memoria y para mejorar la plasticidad neuronal, así como para mantener una buena atención durante el horario escolar. Un problema básico de los niños con trastorno por déficit de atención es la alteración del sueño, con retrasos para conciliarlo. En la adolescencia condiciona mucho el aprendizaje matutino durante las dos primeras horas de clase debido a la alteración del ritmo circadiano del sueño.

Habría que prestar mucha atención a la nutrición e hidratación. El

niño debe comer adecuadamente, y de forma variada, para poder rendir bien en la escuela. Los niños deberían comer menos grasas y más cereales, verduras, legumbres, frutas, lácteos, pescados, etc. De vital importancia es el desayuno, debido a que los niños que no desayunan bien tienen más problemas en el aprendizaje escolar frente a aquellos que dedican tiempo a un buen desayuno con lácteos, omega-3, frutas, cereales, zumos y tostadas de pan con aceite.

Asimismo, cabe decir que el ejercicio posee efectos beneficiosos sobre el proceso cognitivo, pues modifica la actividad cerebral, promueve la neuroplasticidad y aumenta el rendimiento del aprendizaje y la memoria. Ello puede ser debido al aumento de la expresión de varios factores neurotróficos. Uno de los factores que dificultan el aprendizaje escolar es la falta de actividad física, tanto dentro como fuera de la escuela.

Por último, el equilibrio favorece y mejora la integración de las estructuras corporales, así como la estabilidad corporal. Ello permite un mejor análisis de la información propioceptiva, perceptiva ambiental y la ejecución de la misma, dejando espacio y tiempo para la realización de otras funciones cognitivas. Es muy importante que el niño desarrolle habilidades para usar las aferencias visuales, auditivas, táctiles, vestibulares y propioceptivas, que le permitan una mayor y mejor movilidad funcional.

Creemos que un estado emocional estable pasa por un buen equilibrio neurofisiológico del organismo. Este equilibrio nos lo da un estado general óptimo en el que no se den estados carenciales neurotróficos, metabólicos, hipoglucémicos, déficits sensorioceptivos o de integración sensoriomotriz. Desde este enfoque se puede modificar el estado anímico mediante inspiraciones y espiraciones profundas, capaces de oxigenar mejor el cerebro y reducir el estrés y la ansiedad, o mediante la activación del músculo cigomático y del músculo orbicular mayor, que inervan la musculatura de los perfiles de los labios, y puede modificar la actitud hacia un estado de mayor alegría o de percepción de los estímulos ambientales emocionales positivos.

¿Qué entendemos por el segundo objetivo de alcanzar un desarrollo sensorioceptivo adecuado a las funciones propias del entorno escolar?

Este segundo objetivo contempla que la estimulación multisensorial diaria activa los mecanismos cerebrales que procesan la información y permite construir autopistas neuronales estables de aprendizaje general y específico. Cuantos más canales sensoriales de información sean estimulados adecuadamente, más probabilidades tendremos de mejorar las funciones cognitivas y el aprendizaje escolar.

Nuestro cerebro está preparado para dar respuestas más rápidas cuando la información viene de varios canales sensoriales que cuando viene de uno solo. Por ejemplo, cuando el cerebro recibe información sobre un peligro simultáneamente de varios canales sensoriales, la respuesta es mucho más rápida que cuando viene solamente de uno u otro canal sensorial de información. Esto es consecuencia, en parte, del hecho de que la integración multisensorial ocupa extensas áreas cerebrales, y va más allá de las simples áreas sensoriales primarias.

Así se puede entender el funcionamiento del cerebro de una forma más global. Los circuitos establecidos mediante la estimulación sensorial pueden ir adquiriendo nuevas conexiones sobre la base de diferentes tipos de estimulaciones, sin importar el canal sensorial estimulado, ampliando de forma mucho más rápida y efectiva la plasticidad cerebral de áreas cercanas.

¿Qué entendemos por el tercer objetivo, el de organizar escolarmente un sistema neuropedagógico para mejorar el aprendizaje de habilidades, contenidos y funciones cognitivas complejas?

- a) *Ejercicios diarios repetitivos, regulares, precisos y sistemáticos*, puesto que existen muchas sinapsis que son poco o nada funcionales. Cada neurona establece en su campo dendrítico un número elevado de conexiones sinápticas que la relacionan, en variadas escalas de intensidad, con un número elevado de otras neuronas. El «entrenamiento repetitivo» puede mejorar estas sinapsis y hacerlas funcionales, poniendo en marcha procesos automáticos que modulan la actividad consciente a lo largo del día. En el caso del aprendizaje escolar, mejora la capacidad de respuesta, disminuyendo los errores y aumentando los aciertos.
- b) *Ejercicios asociados de tiempos muy cortos* para favorecer la atención y la memoria inmediata, y para mejorar el aprendizaje y disminuir la fatiga. El fin consiste en que el cerebro (y principalmente las

estructuras subcorticales como los núcleos estriados, en especial el putamen, que podríamos denominar el corazón de nuestro reloj interior central) sea capaz de integrar la información temporal, tanto a nivel del hipocampo como de la corteza cerebral, mediante un estado atencional interno de corta duración.

- c) Ejercicios del HERVAT previos al aprendizaje escolar para favorecer un estado óptimo del organismo que permita un aumento de los estados atencionales básicos, así como una mejor predisposición para el aprendizaje escolar. El llevar a cabo el HERVAT inmediatamente anterior al aprendizaje escolar viene determinado porque las teorías de aprendizaje asociativo defienden la idea de que dos eventos deben ser contiguos para poder ser asociados. Con nuestra propuesta pretendemos asociar un buen estado óptimo del organismo, como consecuencia de la aplicación del HERVAT, con el proceso de aprendizaje escolar inmediato, lo que permitirá una mejora importante de las motivaciones y estados de ánimo de los niños ante el inmediato aprendizaje de contenidos escolares, siguiendo la teoría del marcador somático (MS) sobre las emociones de Damasio (2006). El MS sería una señal en forma de sensación corporal aprendida, que contribuye a optimizar la atención y memoria, así como nuestras propias decisiones. Cuando nuestro cuerpo nos avisa si una situación es asociada con una experiencia corporal anterior negativa, el MS “intentará” modificar el curso de la acción intentando inhibir la respuesta, por el contrario, si se asocia con alguna experiencia anterior positiva, como la que pretendemos mediante la aplicación del HERVAT, el MS permitirá alterar el orden de las posibilidades disponibles favoreciendo el proceso de decisión hacia acciones favorables al aprendizaje escolar inmediato.

Si entendemos que el cerebro lleva a cabo los comportamientos de una manera interactiva temporal, analizando las diversas características de los eventos, y organizando su archivado y recuperación, comprenderemos que el tiempo entre la cognición y la ejecución es de vital importancia. Estos procesos están relacionados con la atención y la memoria de trabajo, necesarias para la selección y evaluación de los estímulos, donde el hipocampo y el putamen son capaces de integrarse temporalmente con estructuras corticales y con las cortezas sensoriales.

En conjunto, estos procesos sugieren que el hipocampo y el putamen

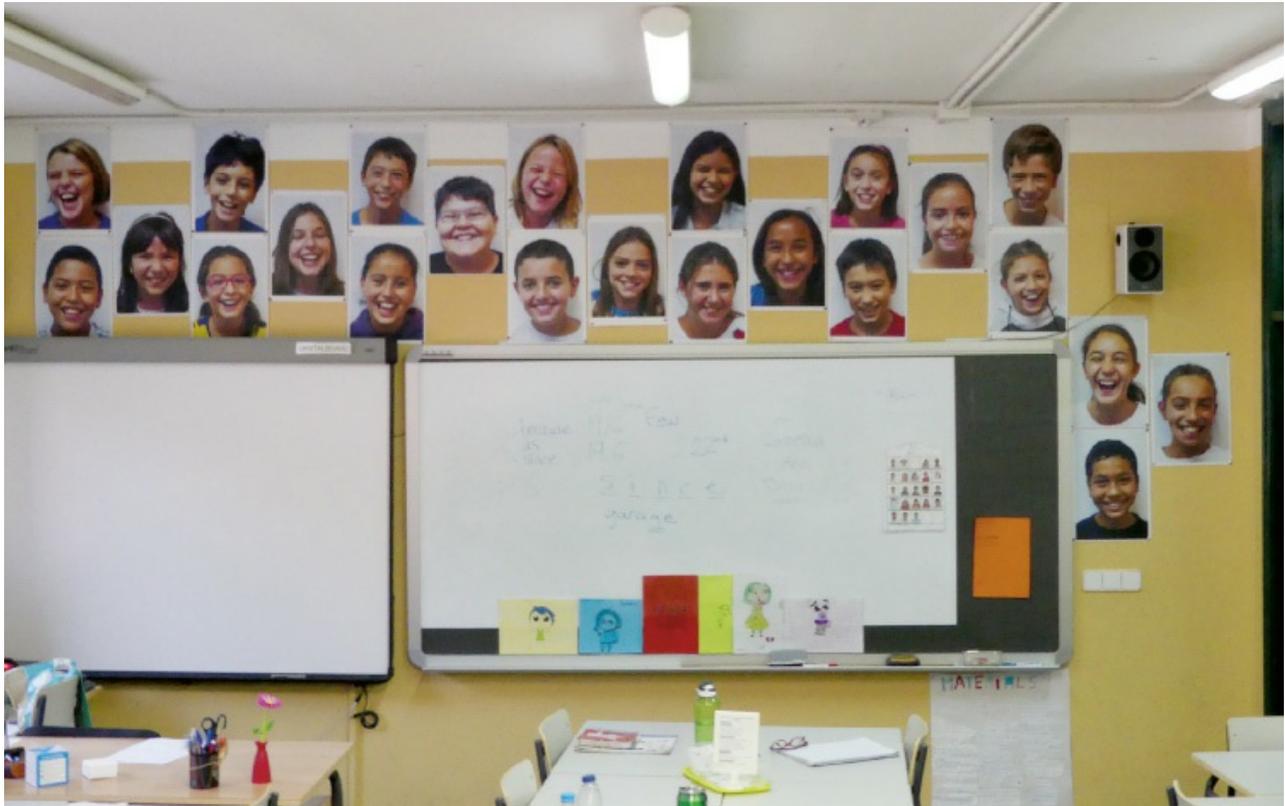
están implicados en la unión de recuerdos de eventos integrales que vinculan características del estímulo y la respuesta física con representaciones internas de las categorías de estímulo y estados de control de atención (Jiang y cols., 2015). A nivel pedagógico, los beneficios son múltiples: por un lado, mejoran el aprendizaje general; por otro, refuerzan los procesos de atención; y, por último, contribuyen a disminuir la fatiga escolar.

¿Qué entendemos por el cuarto objetivo de crear un clima estable de estimulación perceptiva emocional positiva ambiental permanente?

Por último, y no menos importante, se ha de mantener siempre al alcance del alumno un ambiente de emociones positivas, puesto que los comportamientos humanos, incluidos los más complejos (como los cognitivos), se asocian con emociones. Es cierto que las emociones influyen de forma notable en el proceso educativo, y tenemos que admitir que las emociones positivas tienen una enorme importancia en el desarrollo tanto de conocimientos como de motivaciones, actitudes y valores de los niños.

Como decíamos en el capítulo 5, para mantener al alumno el mayor tiempo posible en estados de emociones positivas, nos hemos basado en la sonrisa, un proceso natural y social facilitador de dichas emociones. No en la sonrisa social, sino en la sonrisa espontánea y natural que describía Guillaume Duchenne, capaz de activar áreas cerebrales asociadas con las emociones positivas. Esta sonrisa emocional se basa en la activación del músculo cigomático mayor y del músculo orbicular, que inervan la musculatura de los perfiles de los labios y de los ojos, respectivamente, y que pueden modificar la actitud hacia un estado de mayor alegría o de percepción de los estímulos ambientales más alegres.

Siguiendo con esta hipótesis, con el fin de conseguir un estado emocional permanente que pueda ser estimulado muchas veces cada día de forma espontánea y natural y que active áreas emocionales asociadas con emociones positivas, hemos expuesto en el aula imágenes de todos los niños de la clase con la sonrisa de Duchenne, de tal forma que, cuando levanten la cabeza o se dirijan a lo que el profesor está explicando, automáticamente su mirada se dirija a las sonrisas de todos los niños de clase que aparecen en la pared, tal como se muestra en la siguiente imagen.



Ejemplo de la sonrisa Duchenne en el aula en el colegio CEIP Rayuela , de Villanueva del Pardillo, Madrid.

Mediante a sonrisa de Duchenne pretendemos crear un ambiente emocional positivo en la clase...

- Que pueda estar presente todo el tiempo en clase.
- Que permita estimular al niño muchas veces a lo largo de la jornada escolar.
- Que dicha estimulación se lleve a cabo de forma instantánea, en segundos.
- Que no interfiera los procesos cognitivos.

Ejercicios

a) Hidratación

La hidratación influye de forma decisiva en los procesos atencionales. Estudios llevados a cabo con escolares de 6 a 12 años que no bebían suficiente agua a pesar de tenerla a su disposición mostraron peores resultados en la ejecución de las tareas en las que intervenían procesos atencionales visuales y velocidad perceptiva frente a los niños que sí bebían agua a mitad de la mañana del horario escolar (Edmonds y Burford, 2009). También hay estudios que demuestran que un vaso de agua, ingerida cuando un sujeto tiene sed, puede incrementar el

rendimiento en tareas de tiempo de reacción simple a estímulos visuales. No sucede lo mismo en jóvenes que, no teniendo sed, bebían de todas formas. Eso nos indica que una sobrehidratación tampoco es buena para la ejecución de procesos cognitivos.

Los nutrientes por sí solos no completan una buena dieta alimenticia, si no cuentan con una buena hidratación. De hecho, en un reciente estudio llevado a cabo con niños australianos, se comprobó que los niños que recibieron la bebida diaria con vitaminas y minerales agregados, se desarrollaron significativamente mejor en los tests cognitivos que los niños de un grupo de control que recibieron la bebida sin nutrientes agregados. Por lo tanto, tan importante como la alimentación, es beber agua regularmente a lo largo del día. Existen numerosos estudios que relacionan la deshidratación con una disminución de la capacidad física e intelectual de un individuo, independientemente de la razón que haya dado lugar a la deshidratación. Es más, la forma y tiempo de ingesta de agua también es importante para mejorar las funciones motoras y cognitivas (ver revisión de Adan, 2012).

Se cree que una deshidratación de, al menos, el 2% de los fluidos corporales podría incidir en un deterioro de tareas que exigen atención y memoria inmediata, así como velocidad, aciertos y errores de respuestas motrices. Los estudios llevados a cabo en este campo manifiestan alteraciones importantes en las siguientes funciones cognitivas en sujetos con una deshidratación por encima del 2%: incremento de la fatiga; reducción en la velocidad y precisión en las respuestas a pruebas de funciones complejas; alteraciones en los procesos de discriminación; deterioro de la memoria a corto plazo, del recuerdo y de los procesos de atención, aritmética... Cuando, en estas condiciones, el nivel de deshidratación llega al 7%, la disminución de las capacidades físicas e intelectuales se sitúa en torno al 40%. Otros datos experimentales interesantes nos indican que la ingesta de agua durante un ejercicio físico de más de 40 minutos, disminuye la sensación subjetiva de fatiga y aumenta la capacidad de realizar actividades.

Se sabe que los cambios en la hidratación a lo largo del día pueden afectar al aprendizaje escolar. Un estudio muy interesante de Perry y col. (2015) fue llevado a cabo con niños en edad escolar entre 9 y 12 años. La sesión de tratamiento consistió en aumentar 200 ml de agua en

el desayuno como medida de control de la línea base, y un consumo de 750 ml de agua durante un período de dos horas. El estudio demostró la existencia de una mejora en la prueba de dígitos y en la tarea de cancelación de pares de palabras, lo que llevó a los autores a entender que una hidratación adecuada a lo largo del tiempo puede ser clave para la mejora de los procesos cognitivos y, por ende, del aprendizaje y rendimiento escolar.

Otros estudios llevados a cabo con escolares de entre 7-9 años que no bebían suficiente agua, a pesar de tenerla a su disposición, mostraron peores resultados en la ejecución de las tareas en las que intervenían procesos atencionales visuales y velocidad perceptual, que aquellos niños que bebían agua ya a mitad de la mañana del horario escolar (Edmonds y Burford, 2009).

La mayoría de las personas bebe agua, en primer lugar, cuando tiene sed y sobre todo durante las comidas. Pero pocas personas se han planteado cuándo sería mejor beber agua. Muy pocas personas disponen de un hábito que les permita llevar un régimen de ingesta de agua regular y metódicamente establecido, del mismo modo que está culturalmente bien establecida la regularidad en la ingesta de alimentos. A raíz de los estudios descritos anteriormente parece que la hidratación mejor de nuestro organismo no ha de obedecer solo a la llamada de la sed, sino que debemos educarnos para beber agua regularmente. Algunos especialistas consideran conveniente beber regularmente de 8 a 10 vasos a lo largo del día. Otro aspecto de este hábito de la ingesta de agua es la forma de beber. En la mayoría de los casos, cuando se tiene sed, se bebe agua de forma rápida o de un solo trago, puesto que el objetivo es saciar la sed lo antes posible, pero una buena educación en la ingesta del agua nos llevaría a tomarla de forma lenta y en pequeños sorbos.

La mayoría de los estudios concluyen que deberíamos beber alrededor de dos litros de agua al día, entendiendo que refrescos, infusiones u otro tipo de bebidas o alimentos muy ricos en agua, también deben ser consideradas como ingesta de líquidos en nuestro organismo. Por ejemplo, la gelatina, colágeno hidrolizado, compuesta casi en su totalidad por proteínas y agua: un consumo habitual de gelatina ayuda a mantener un buen equilibrio hídrico. La ingestión diaria sugerida de agua para lactantes es la siguiente: de 0 a 6 meses

sería de 0.7 L/día de agua, asumiendo que proviene de la leche materna; de los 7 a los 12 meses, el requerimiento sería de 0.8 L/día de agua, asumiendo que proviene de la leche materna y de otros alimentos y bebidas complementarias. En el caso de los niños de más edad, la media del consumo de agua total es (entre los cuatro y los ocho años) de 1,779 mL/día, con un rango de 1,069 mL/día. Si nos referimos exclusivamente a la recomendación de agua de bebida, en cualquiera de sus formas, encontramos que esta es de 0.9 L/día entre 1 y 3 años, de 1,2 L/día entre los 4 y 8 años.

No se pueden ignorar tampoco determinadas situaciones que pueden aumentar la pérdida de agua, como el ejercicio físico o las altas temperaturas ambientales, hasta el punto de incrementar entre 2 y 6 veces las necesidades hídricas diarias. La pérdida de agua mediante el sudor varía de acuerdo con diversos factores, tales como la intensidad y duración del ejercicio físico, la edad, el sexo, el entrenamiento, la aclimatación al calor, la temperatura, la humedad, el tipo de ropa y la tasa de sudor individual. Todos estos factores condicionan la cantidad de agua que deberíamos beber diariamente.

b) Equilibrio

El equilibrio es un proceso básico en la atención y el aprendizaje. De hecho, en diferentes estudios se ha comprobado la eficacia de la danza (donde se estimula principalmente el equilibrio) en el aprendizaje, el lenguaje, la lectura y la atención. Hay autores que establecen que una mejora del equilibrio nos permite ocupar menos atención en el mantenimiento de la estabilidad corporal, lo que nos permite dedicarla a otras tareas intelectuales o motoras. En un estudio con gimnastas frente a otros deportistas que no trabajan de forma específica el equilibrio, se observó que los gimnastas disminuían su dependencia sobre los procesos de control postural cuando se los sometía a otras tareas distintas.

Antiguos estudios sobre el equilibrio demuestran la importancia de este en problemas de lectura. De hecho, un estudio llevado a cabo con niños con dislexia comprobó que el equilibrio de los niños con dislexia se vio afectado de manera significativa, concluyendo que los niños sin dislexia equilibran automáticamente, mientras que los niños con dislexia no lo hacen de manera adecuada (Fawcett y Nicolson, 1992).

Más recientemente, Chong y col. (2010), con el fin de analizar las relaciones entre equilibrio y procesos cognitivos, llevaron a cabo un estudio con sujetos jóvenes mediante dos tareas: una motora, de mantener el control del equilibrio y otra cognitiva, que consistía en ir restando de 7 en 7 hacia atrás o generar palabras de la misma primera letra. Observaron una disminución en el rendimiento de la tarea de control de equilibrio y un decremento en la velocidad y la precisión de las respuestas durante la sustracción, pero no en la tarea de generación de palabras. Estos resultados sugieren que la organización sensorial para el control del equilibrio parece basarse en recursos computacionales visuoespaciales similares necesarios para la resta, pero no en la tarea de generación de palabras.

El equilibrio favorece la integración de diferentes estructuras cerebrales para conseguir un comportamiento motor dirigido, organizado y con una finalidad eficiente. Una de las primeras estructuras beneficiadas es la corteza frontal, responsable de la ejecución y planificación del movimiento. Esta otra corteza motora secundaria que recibe los *inputs* de las áreas asociativas, que son las encargadas de percibir el espacio y la información ambiental, auditiva, visual y táctil, adquirida previamente y memorizada a lo largo del tiempo, y que elabora los planes motores que después enviará a la corteza frontal motora primaria para que puedan ser ejecutados.

El sistema motor es uno de los que más han evolucionado en el ser humano. Podríamos decir que gran parte de la actividad de nuestro cerebro está dirigida a desarrollar y potenciar el sistema motor. Centrándonos en el control del movimiento necesario para poder desarrollar la comunicación humana, básicamente, podríamos hablar de tres grandes subsistemas motores, cuya organización jerárquica y en paralelo permite llevar a cabo un control sobre los movimientos: uno, dedicado al control global de los movimientos del cuerpo; otro, al de las extremidades; y, por último, otro a los movimientos independientes de nuestros dedos. Estos subsistemas motores se benefician y desarrollan mediante los ejercicios de equilibrio.

Una de las estructuras cerebrales más beneficiadas por el equilibrio es el cerebelo. Cabría decir que el cerebelo participa en la trayectoria, precisión y adecuación de un movimiento al objetivo deseado, debido, entre otras razones, a sus conexiones con la corteza frontal y las áreas

parietales posteriores y occipitales anteriores. También tiene una enorme importancia en el control, adecuación, direccionalidad, ajuste y fijación de la mirada, adaptando las señales vestibulares, oculomotoras y visuales, al objeto en cuestión. Diferentes autores han concedido importancia a la acción cerebelosa en la integración de diferentes secuencias sucesivas de los movimientos. El cerebelo es capaz de desarrollar patrones motores anteriores al siguiente movimiento, lo que facilitaría enormemente la automatización y la velocidad de movimientos complejos que exijan una secuencia fija y determinada. La posibilidad de que los niños tengan que repetir movimientos para acertar con las dianas elegidas, el equilibrio y la precisión de los movimientos, favorecerán la maduración del cerebelo.

El ejercicio físico en el que intervenga el equilibrio es básico para el aprendizaje y la adaptación general del niño al ambiente en el que se desarrolla. Las razones son que se trata de un medio para practicar, poner en acción, entrenar, realizar, usar y mejorar nuestras actividades. Es más, el ejercicio físico es una parte natural de la vida, por lo que deberíamos incluirlo conscientemente en nuestra rutina diaria.

c) Respiración

La respiración profunda estabiliza la regularidad del ritmo respiratorio, que es un factor muy importante para fijar la atención, oxigenar mejor el cerebro y reducir el estrés y la ansiedad, así como para desarrollar las áreas asociadas a los procesos atencionales. Una respiración lenta y profunda ayuda a tranquilizar y a rebajar los estados de estrés o ansiedad. La reducción de la ansiedad producida por la respiración diafragmática puede entenderse como un incremento en la actividad parasimpática debido a la estimulación del nervio vago. Su cambio y su ritmo constante permiten mejorar la actividad cerebral, así como las funciones relacionadas con el sistema nervioso autónomo y funciones cognitivas tales como la atención, la memoria y el aprendizaje en general (Joshi y cols., 2008;).

Por estos motivos, resulta tan útil hacer ejercicios de yoga, meditación, *mind-fulness* y cualquier otro donde el control de la respiración juegue un papel importante (Naveen y cols., 1997; Garg y Dhar, 2014;). Un estudio de Marshall y cols. (2014) demostró que la respiración unilateral por la nariz sirvió para mejorar la cognición verbal

y espacial en pacientes que habían sufrido un accidente cerebrovascular. Otros estudios demuestran que el ritmo de la respiración nasal es capaz de sincronizar tanto la activación de la corteza piriforme humana (olfativa) como las áreas cerebrales relacionadas con el sistema límbico. Eso incluye la amígdala y el hipocampo, estructuras cerebrales asociadas a las emociones y la memoria, respectivamente, así como con el procesamiento de estímulos y el comportamiento en general (Zelano y cols., 2016).

La eficacia de este ejercicio radica no solo en la importancia que tiene la respiración nasal en los procesos cognitivos y de aprendizaje escolar; también contribuye a enseñar a los niños a respirar adecuadamente y a desarrollar automatismos respiratorios a lo largo de su vida. Esos automatismos les permitirán una mayor eficiencia respiratoria que se traducirá en un mayor aporte de oxígeno al cerebro, una mayor relajación corporal, una optimización del gasto cardíaco y un mejor desarrollo cerebral.

d) Visión

La estimulación visual mediante seguimiento ocular, en todas las direcciones, de un estímulo a velocidad y distancia determinadas favorece los procesos de atención, de alerta y de orientación. El movimiento ocular es muy importante para desarrollar procesos de atención y localización espacial. Ejercicios con movimientos oculares diarios favorecen este proceso cognitivo y desarrollan mucho más la capacidad perceptivovisual; permiten, además, mejorar las redes neuronales asociadas a los procesos atencionales, principalmente a aquellos implicados en detección o selección de objetivos, orientación atencional a objetos, posiciones espaciales o contenidos de memoria, y la red atencional de vigilancia. Por último, es importante el movimiento ocular para mejorar los procesos atencionales en el reconocimiento de los estímulos ambientales.

La importancia de estimular la percepción visual en los niños en la etapa escolar es determinante. Van a necesitar la agilidad visual para la lectura. En este sentido, la estimulación mediante estrategias que inviten a mantener la atención focal y a discriminar rápidamente símbolos, números o letras con rapidez y velocidad mediante movimiento ocular serán importantes con vistas al aprendizaje escolar

posterior. Contrastes de luz, identificación de colores, formas, coordinación mano-ojos serán de notable importancia en la mejora de la percepción visual. No obstante, uno de los ejercicios que más incidencia tienen en la percepción visual son los ejercicios de seguimiento ocular.

Una de las justificaciones neurobiológicas más importantes en defensa de los ejercicios oculares es la estrecha conexión entre la motilidad ocular y el hipocampo durante la codificación de los estímulos ambientales. En un estudio llevado a cabo por Liu y cols. (2016) en el que se pretendía analizar el número de fijaciones oculares y su asociación con la actividad del hipocampo, se comprobó una correlación positiva, sobre todo ante estimulaciones de contenido nuevo, que en el caso de este estudio eran caras. Los autores concluyeron que la exploración visual y los procesos vinculantes del hipocampo están intrínsecamente vinculados.

La motilidad visual permite una integración cerebral de la visión global de las situaciones de la vida diaria. Esto hace posible que el niño desarrolle la capacidad de estructurar el medioambiente, el campo visual y la localización de objetos en el espacio, así como de organizar la percepción visual dentro de diferentes contextos. La motilidad ocular ayudará al niño a mejorar también la capacidad de enfocar a más velocidad los objetos.

La motilidad ocular también contribuirá a favorecer la progresión en la agudeza visual, lo que permitirá en tiempos cortos que el niño sea capaz de percibir detalles a gran velocidad. Y, sobre todo, contribuirá de forma muy decisiva a mejorar el proceso de localización de objetos en la distancia y en la profundidad.

La participación de la corteza parietal en actividades visomotrices y en los movimientos oculares ha sido comprobada por diferentes investigaciones. Puede afirmarse que las neuronas parietales no solamente reciben *inputs* sensibles sino también motores. Dadas las características funcionales de este lóbulo, podríamos considerar la corteza parietal posterior como un centro de asociación motor. No obstante, lo anterior, se ha sugerido que el área parietal no contiene la totalidad de la maquinaria para ejecutar órdenes; quizá sea responsable solamente de un estadio anterior en la evolución del movimiento, que probablemente sería la dirección de la atención hacia un objeto determinado. En este sentido, el área parietal tendría como función

primordial la dirección precisa de la atención a determinado estímulo.

En esta línea de trabajo, González y cols. (2016) encontraron una relación entre una red neuronal frontoparietal (corteza prefrontal dorsolateral, campos oculares frontales y corteza parietal posterior), durante una tarea de aprendizaje de búsqueda con motilidad ocular. No cabe la menor duda de que el control ocular motor está asociado a estructuras frontoparietales capaces de llevar a cabo el procesamiento visual. La corteza parietal posterior es la que recibe información propioceptiva y visual, usada para guiar acciones, así como señales de *eferencia* motora (Perry y cols., 2016).

Otros estudios (Grosbras, 2016) han encontrado que los patrones de actividad en el campo ocular frontal y en los campos oculares parietales discriminan entre la ejecución de movimientos sacádicos grandes o pequeños, integrando el movimiento ocular sacádico en el circuito oculomotor frontoparietal, con una gran implicación en la percepción espacial y la exploración.

e) Audición

La estimulación auditiva externa mediante diferentes sonidos, tonos, ritmos o notas musicales ha sido considerada como una forma de inducción de ritmos corticales y de mejora de la capacidad de discriminación y percepción auditiva. De entre estos ritmos, parece ser que la banda theta es la más asociada con procesos básicos como la atención y la memoria. Algunos investigadores han encontrado un aumento considerable de la potencia de la banda theta en procesos de atención selectiva, y durante los procesos de codificación y recuerdo.

Diversos estudios han demostrado una estrecha relación entre una activación sincrónica en banda theta, mediante estímulos auditivos sincronizados a 5 Hz y el aumento de la potenciación a largo plazo, que se produciría en varias regiones corticales, pero especialmente en el hipocampo. Ello tiene consecuencias directas sobre el aprendizaje. La discriminación de tonos en la franja lingüística favorece los procesos atencionales asociados con el aprendizaje verbal (Ortiz y cols., 2008).

La estimulación auditiva mediante la mejora de la memoria de palabras, la atención y el lenguaje ha sido objeto de múltiples estudios que han validado su importancia en los procesos de aprendizaje. Dicha estimulación debería hacerse desde los primeros años de la vida, en que

aparece un desarrollo masivo de conexiones neuronales. Su finalidad es la de conseguir un cableado neuronal estable que favorezca los procesos básicos para el aprendizaje escolar.

Auditivamente, se debería proponer a los niños un ejercicio diario de percepción y discriminación de diferentes sonidos, tonos, ritmos, música, etc. La gran ventaja de la estimulación auditiva a estas edades es que los niños tienen predisposición a aprender mucho y rápido. La riqueza y progresión de los estímulos auditivos y verbales ayuda a conectar grandes redes neuronales. Esto aumenta al mismo tiempo la capacidad intelectual y, sobre todo, aumenta la capacidad lingüística, y ofrece mayor comprensión de la realidad en la que se desenvuelven el niño.

En general, existe una gran dificultad entre los niños con problemas escolares para percibir correctamente la sincronización relativa de los sonidos que forman parte de procesos audioperceptivos que se dan separadamente en el tiempo. Utilizando tonos puros o ruidos complejos con diferentes características espectrales o temporales, diversos estudios llegan a la conclusión de que, cuando la diferencia de frecuencia entre los tonos es relativamente pequeña, los oyentes suelen percibir la secuencia repetitiva como un único proceso auditivo coherente. Sin embargo, a medida que la separación de frecuencias entre los tonos aumenta y el intervalo intertonos disminuye, los tonos son más propensos a dividirse perceptivamente en corrientes separadas; estos procesos juegan un papel importante en la percepción lingüística en contextos complejos. Por tanto, la discriminación de pares de estímulos auditivos de tonos podría tener una enorme importancia en la organización auditiva perceptiva, tan importante en la comprensión del lenguaje (Shinn-Cunningham y cols., 2007; Oxenham, 2008, Micheyl y cols., 2010).

La estimulación tonal auditiva tiene particular importancia en los niños con trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH), en los cuales los procesos de atención están tan deteriorados, y donde la activación de diferentes áreas frontales, premotoras y parietales se encuentra disminuida. Existen trabajos científicos según los cuales la estimulación auditiva puede activar neuronas multimodales asociadas a las áreas premotoras y parietales, sugiriendo que la audición puede estar integrada a nivel de áreas multimodales en un representación del

espacio peripersonal (Tseng y cols., 2014). En esta línea, existen estudios que justifican que la estimulación mediante “ruido blanco” podría mejorar las funciones cognitivas y atencionales en los niños con TDAH (Baijot y cols., 2016).

f) Tacto pasivo

La estimulación táctil regular permite un mayor número de conexiones sinápticas en áreas parietooccipitales, necesarias para los procesos de orientación y atención ambiental. Los estudios mediante estimulación táctil demuestran la capacidad que tienen las neuronas del tacto en la plasticidad neuronal. Es consecuencia de la representación memorística de las neuronas táctiles, del alto grado de eficacia del tacto para determinar la posición y morfología de los objetos, de la capacidad de asociación de diferentes modalidades de estimulación, de la modulación de la información táctil o de la capacidad para la localización exacta de objetos.

El cerebro no solamente percibe las sensaciones táctiles; también les da un significado y las integra en el contexto en el que se desarrollan. Este proceso de percepción tiene un carácter complejo, y desarrolla e integra amplias áreas cerebrales y procesos cognitivos. El uso del tacto pasivo para el reconocimiento de figuras geométricas, números y letras en la palma de la mano o en la espalda hará que el niño preste más atención a todo tipo de estímulos, fomentará los procesos atencionales cerebrales posteriores, así como los procesos básicos de adaptación al medioambiente, y generará los mecanismos necesarios para un aprendizaje ágil de los procesos cognitivos más complejos.

El uso activo del tacto para buscar, adquirir, analizar, discriminar y reconocer información debería ser considerado un medio pedagógico más para mejorar las capacidades cognitivas de los niños; ejercicios sobre discriminación táctil de cosas y objetos de la vida diaria con diferentes texturas y formas serían parte de un buen hábito diario para mejorar procesos atencionales y, en general, serían buenos para completar un desarrollo integral del cerebro.

El tacto es el primer sistema atencional, y el primer medio de comunicación entre la madre y el bebé. A través del contacto con la piel de su madre, el bebé capta sus vibraciones y emociones. En los primeros días de vida, madres y padres pueden reconocer a su propio bebé

acariciando la mejilla o la mano de este. En esos primeros períodos de vida, el tacto es también muy importante para el desarrollo emocional del bebé y del niño. Por este motivo, y por la influencia en los procesos cognitivos posteriores, es necesario que los padres desarrollen desde el nacimiento la sensibilidad táctil en sus hijos.

La sensibilidad táctil aumenta las respuestas del niño al ambiente. De hecho, en un estudio llevado a cabo con bebés, se comprobó que las caricias suaves los llevaban a sonreír y a estar más atentos ante la cara del adulto. Tan pronto como los niños pueden coger objetos, el tacto se convierte en un medio muy importante a través del cual adquieren información del medioambiente.

Diferentes estudios realizados con estimulación táctil demuestran que el cerebro es capaz de generar percepción espacial mediante el tacto, así como de establecer un alto grado de eficacia del tacto para determinar la posición y morfología de los objetos. Asimismo, el cerebro ofrece una gran capacidad de memoria especializada sobre percepciones generadas por la vía somatosensorial. En esta línea de trabajo se han identificado áreas cerebrales responsables de la densidad de receptores, y aplicaciones de estimulación táctil de la discriminación, elaboración, integración de la información táctil o de la información multimodal en sujetos invidentes (incluida la visual) del córtex parietal.

Un estudio llevado a cabo por Soria-Claros y cols. (2015) mediante estimulación táctil pasiva con trece niños ciegos demostró una mayor activación de la actividad cerebral la onda de N200 (componente de los potenciales evocados cognitivos relacionado con el primer procesamiento atencional necesario para discriminar lo relevante de lo irrelevante) en la circunvolución temporal medial derecha y frontal inferior derecha; igualmente, aparece una mayor activación de la actividad cerebral la onda de N400 (componente de los potenciales evocados cognitivos relacionado con procesos cognitivos más complejos) en la circunvolución temporal media e inferior derecha, en la occipital media y en la angular izquierda.

También se observó una mayor activación de la onda N200 en el grupo de control de los catorce niños videntes en la circunvolución temporal medial derecha y frontal inferior derecha, mientras que la mayor activación observada en la onda N400 fue en el área supramarginal derecha. Asimismo, otro estudio demostró que el

entrenamiento táctil en niños ciegos con TDA cambia el patrón de actividad cerebral, induciendo una mayor actividad en las áreas frontales y occipitales, que podría estar asociada a una compensación del déficit de atención (Serrano y cols., 2014).

Más recientemente, en otro estudio de Soria-Claros y cols. (2016), con niños con TDA en edades escolares, se demuestra que en aquellos que habían seguido un entrenamiento con estimulación táctil pasiva disminuyeron de forma significativa la latencia de las ondas N200 y P300 (componente de los potenciales evocados cognitivos relacionado con el segundo procesamiento atencional o memoria de trabajo). Este hecho no sucedió con el grupo de control. Además, se encontraron diferencias significativas en la onda N200 en el grupo experimental en áreas temporales, parietales y occipitales, mientras que en la onda P300 las diferencias se localizaron en áreas parietales relacionadas con la atención espacial.

Todos estos datos no permiten entender el tacto pasivo como un ejercicio muy importante en la mejora de los procesos atencionales preparatorios para cualquier actividad de aprendizaje escolar.

Forma de aplicación del programa neuroeducativo HERVAT

En la siguiente tabla se recoge esquemáticamente el programa neuroeducativo HERVAT. Todos los ejercicios se llevan a cabo 5 minutos antes de comenzar la clase.

Ejercicios	Tiempo (s)	Acciones
Hidratación	–	Beber un sorbo de agua
Equilibrio	60	Ejercicios de equilibrio estático. Repartir el tiempo entre los dos ejes, derecho e izquierdo, y alternar: con los más pequeños hacer series de 10 s, 20 s, 30 s hasta completar el minuto; con niños mayores de seis años, hacerlo también con ojos cerrados
Respiración	60	Diez respiraciones profundas: se inhala por la nariz y se exhala por la boca
Estimulación visual	60	Ejercicios de seguimiento ocular, sin mover la cabeza, de un estímulo visual que se mueve despacio delante de nuestros ojos en todas las direcciones (horizontal, vertical, oblicua, circular y en profundidad)

Estimulación auditiva	60	Ejercicios de discriminación entre diferentes sonidos, tonos, ritmos, notas musicales y fonemas
Estimulación táctil	60	Ejercicios de reconocer mediante tacto pasivo figuras geométricas, números o letras en la palma de la mano izquierda y derecha o en la espalda

Hidratación (H)

Cuando hablamos de la hidratación en HERVAT nos referimos a tomar un sorbo de agua. Realmente, es una forma de garantizar un hábito saludable. Así como en ocasiones comemos antes de sentir hambre (glucemia baja), si nos acostumbramos a mantener el cuerpo correctamente hidratado, es decir, sin esperar a tener sed, el cerebro funcionará mejor y cometerá menos errores. Por ello, el primer punto de HERVAT es tomar un sorbo de agua. Lógicamente, si algún alumno tuviera sed, sería un buen momento para que cubriera esta demanda, no tomando solo un sorbo.

A la hora de llevarlo a la práctica, en educación infantil puede ser la profesora la que distribuya el agua en vasos teniendo ella una botella o bien pueden ser los alumnos quienes la tengan. En primaria son los propios alumnos los que tienen una botella. Una idea para facilitar el control de aula puede ser que haya encargados de ir a por el agua (“aguadores”), para reducir el trasiego de alumnos para llenar las botellas. Otra opción puede ser que traigan ya la botella llena de agua desde casa.

Recomendamos que el agua se cambie a diario, y también nos parece conveniente que, al menos semanalmente, limpien la botella.

Equilibrio (E)

En la realización de estos ejercicios es muy importante, sobre todo, que los hagan bien. Consisten en mantener el equilibrio sobre una pierna durante al menos 10 segundos, cambiando a la otra pierna y manteniéndolo el mismo tiempo. No buscamos un equilibrio circense o de gimnasia deportiva. En función de la edad, para educación infantil se pueden hacer ejercicios de equilibrio de menos tiempo, e incluso simplemente manteniendo la posición..

La dificultad inicial de los ejercicios de equilibrio se debe modificar

incrementando el grado de inclinación, si se considera necesario, aumentando el tiempo y, por último, practicando equilibrios con ojos cerrados en los niños mayores de seis años. Los ejercicios tratan de plantear un reto de estimulación alcanzable, es decir, la persona que dirija el HERVAT deberá aconsejar, a los participantes que no estén realizando correctamente el ejercicio, sobre la manera en la que pueden llegar a hacerlo.

Respiración (R)

En HERVAT, el ejercicio de respiración trata de ofrecer un patrón que se pueda repetir siempre que se quiera conseguir un estado de activación cerebral adecuado. Está comprobado que un cerebro bien oxigenado es un cerebro más eficiente, capaz de funcionar mejor. Por ello realizaremos ejercicios de respiración de activación. Esta respiración ha de ser profunda y a un ritmo constante.

Buscaremos que los alumnos sean conscientes de su respiración, inhalarán por la nariz y exhalarán por la boca. Con este ejercicio trabajaremos la respiración abdominal y se producirá una mejora de la atención sobre la actividad que realicen posteriormente.

En cuanto a la duración del ejercicio, los niños de 3 años deben hacer unas cinco respiraciones cada vez; progresivamente se realizará una más por año hasta llegar a las diez, que se mantendrán hasta 6.º de primaria.

Estimulación visual (V)

Los ejercicios de atención visual tienen una doble función: por un lado, ejercitar los músculos encargados del movimiento ocular y, por otro, activar las áreas cerebrales participantes en el proceso lector. A diferencia del oído, no hay un área cerebral específica de la lectura, pero estos ejercicios van a contribuir a despertar y mejorar la interconexión cerebral.

En los ejercicios de motilidad ocular seguiremos un objeto o el propio dedo o un bolígrafo, con la mano extendida en movimiento en todas las direcciones: horizontales y verticales, oblicuas y circulares. Los ejercicios de convergencia ocular se llevan a cabo extendiendo las manos y juntando los dedos índices lo más lejos posible de los ojos y, paulatinamente, ir acercando los dedos, siempre juntos, hasta llegar a

tocarse la nariz cinco veces. Estos ejercicios de movimientos oculares contribuyen a mejorar la lectura con palabras con dificultad ortográfica, así como a la realización de su correcta escritura y a la mejora en la localización espacial de objetos. Los ejercicios de convergencia ocular de lejos contribuyen a la relajación del músculo ciliar, y los de cerca, a la contracción del mismo músculo (este ejercicio es importante para la percepción de las distancias).



Estimulación auditiva (A)

En este apartado vamos a trabajar especialmente ejercicios de discriminación auditiva en los que suenan dos sonidos y el alumno tiene que distinguir entre ellos, por ejemplo, levantando la mano cuando suene uno en concreto; o también se puede contar el número de veces que suena un tipo de sonido. Este ejercicio se puede hacer con tonos y sonidos que se encuentren en la frecuencia del lenguaje (entre 500 Hz y 2000 Hz), notas musicales o fonemas de diferentes lenguas.

Estimulación táctil (T)

Son los ejercicios más novedosos que presenta el programa HERVAT, ya que los estudios realizados sobre la estimulación del tacto pasivo han aportado resultados muy positivos sobre la importancia de su realización.

Deben llevarse a cabo en parejas. Un alumno hace el ejercicio al otro y luego se cambian. Cuando el ejercicio se realiza en una mano, después hay que realizarlo en la otra, para trabajar de forma global la estimulación neuronal; y lo mismo si sucede en la espalda, para estimular ambos hemisferios.

Se comienza el ejercicio con formas sencillas, como pueden ser rayas horizontales o verticales; luego se pasa a formas geométricas, números, letras e, incluso, palabras cortas. En los mayores se usa un objeto de tipo boli roma; los pequeños, con el dedo índice. Durante el ejercicio, el niño permanecerá con los ojos cerrados o mirando hacia otro lado para no ver lo que se le pone en las manos.

El programa HERVAT en el entorno familiar

Aunque es tremendamente complejo decidir qué tiene que hacer un progenitor o qué no para educar a sus hijos, existen datos científicos que ayudan a entender algunas de las actividades que los padres podrían hacer en el entorno familiar para favorecer el proceso de maduración cerebral de sus hijos y los prepararían para una mejora en el aprendizaje escolar.

En el ámbito familiar, el asunto de los deberes escolares genera un gran conflicto, tanto a nivel de padres y de profesores como de los propios alumnos, que nunca saben dónde empiezan y dónde acaban el aprendizaje y la enseñanza escolar. Muchos estudiantes consideran que les quitan tiempo de ocio y les generan un gran estrés familiar, y los profesores tampoco tienen clara la eficacia de los deberes escolares, y tienen dificultades para asignar el tipo, número, finalidad, características, tiempo de dedicación y horario; tampoco son capaces de definir el tipo de implicación de los padres en este asunto; de hecho, para algunos profesores la mayor motivación sería que los padres estuviesen más implicados y con una mayor participación en la educación escolar conjunta, pero existe una relación entre padres y profesores clara y precisa en cuanto a la realización de deberes en casa.

El problema es tan grave que recientes estudios con revisiones bibliográficas extensas manifiestan enormes contradicciones sobre la eficacia, necesidad y eficiencia de los deberes escolares, lo que da lugar a que sus conclusiones sean muy diferentes y, a veces, contradictorias (Cooper, y col y cols., 2016; Cunha y cols., 2015; Chacko y cols., 2016).

Algunos estudios consideran que los deberes escolares tienen una gran eficacia, aunque la mayoría de ellos no encuentran pruebas sólidas que justifiquen una mejoría importante en el aprendizaje y logros escolares a causa de los deberes en casa.

Los datos de la investigación actual son contradictorios: mientras que algunos artículos sugieren que existe correlación positiva entre la realización de deberes escolares y el nivel de rendimiento académico, otros no ven una relación directa entre el tiempo de dedicación de los padres a las tareas escolares en casa y el rendimiento académico en asignaturas concretas como pueden ser Compresión Lectora, Matemáticas, Literatura, etc. Es más, consideran que el tiempo que dedican los padres a los deberes es poco eficaz y, en lugar de generar habilidades escolares, la mayoría de las veces genera un ambiente hostil en casa que lleva a sus hijos a estados de ansiedad, incomodidad y conflictos con el resto de los miembros de la familia. Otras investigaciones cuestionan que la participación de los padres puede tener efectos positivos y negativos dependiendo del tipo de implicación, seguimiento y participación que tengan en la realización de los deberes escolares en casa.

Por tanto, surgen muchas preguntas a la hora de plantearse si los deberes son útiles o no en la educación integral de los niños. Pero los últimos avances en la neurociencia cognitiva nos ayudan a entender mejor cómo la estimulación ambiental novedosa y variada en el ambiente familiar es capaz de influir positivamente en la actividad cerebral del niño y del adolescente.

Los padres no son profesores; no tienen conocimientos de didáctica de los contenidos escolares, de la pedagogía, de los sistemas de enseñanza, etc., pero sí tienen capacidad para educar en cuidados, valores, emociones o actitudes. Por otro lado, los niños tienen la necesidad de disfrutar de su tiempo después de una larga jornada escolar, de romper con las actividades regladas, de relajarse y participar de su tiempo en familia; de esta forma, los niños no llegan a clase cansados por la saturación de trabajo del día anterior (clases y deberes). Tampoco puede ser muy motivador para un niño saber que, aunque acaben las clases, al llegar a casa, en lugar de descansar y jugar, debe seguir haciendo más tareas escolares.

En fin, los padres deben actuar como padres y los profesores como

profesores. Al desdibujar el papel de los padres convirtiéndolos en sujetos activos de la enseñanza, se debilita la esencia de la relación padre-hijo, y son muchos los padres que se quejan de las tensiones que se crean debido a esto. Son papeles diferentes e importantes, que no se deberían entremezclar.

Entendemos que la educación integral va más allá del simple aprendizaje escolar, y en ella tienen que estar implicados muchos valores que los padres deberían inculcar y promover. Pero si nos centramos en el objetivo de reforzar hábitos de estudio, estrategias de resolución de problemas, aprendizajes específicos llevados a cabo en el horario escolar y que no han quedado suficientemente fijados, la neurociencia insiste en que el mejor sistema debería ser mediante el mismo método de enseñanza que utiliza el maestro, con contenidos muy cortos, espaciados y repetidos varias veces en la tarde, con períodos de tiempo de descanso y con actividad física de por medio.

Por otro lado, la eficacia de la estimulación ambiental ha sido demostrada y replicada en una amplia diversidad de estudios; de hecho, se sabe que la actividad regular y sistemática, así como un ambiente enriquecido y psicológicamente adecuado, estimula el crecimiento de nuevas células nerviosas, principalmente en el hipocampo, y mejora el aprendizaje y la memoria, no solamente en niños sino también en adultos. Probablemente, la riqueza, novedad y variedad estimular en familia sean algunas de las claves para la mejora del aprendizaje escolar y para una buena educación integral.

Otro aspecto que se ha de tener en cuenta son las condiciones ambientales de luz, temperatura y ruido en el entorno familiar, puesto que son claves en el rendimiento cognitivo; por ello, los padres deberían tener en cuenta estos parámetros físicos a la hora de hacer los deberes con sus hijos. Se sabe también que aquellos ambientes agresivos desde la perspectiva física y que generan ruido aumentan los estados de estrés y son perjudiciales para el aprendizaje, principalmente para los procesos de memoria a largo plazo y de la consolidación y recuperación de la memoria, así como para cualquier otra actividad cognitiva, con incidencia diferencial entre chicos, con más incidencia en memoria verbal, y chicas, con más alteración de la memoria espacial.

La tranquilidad y el ambiente silencioso y relajante son básicos para el aprendizaje y para el aumento de los ritmos bioeléctricos cerebrales

lentos, principalmente de la banda theta del hipocampo, asociada con la mejora del aprendizaje. La banda theta es un ritmo cerebral de entre 3 y 7 ciclos por segundo que se produce de forma aleatoria a lo largo del día en función de los estados emocionales positivos y en ambientes tranquilos, con una actividad distribuida a lo largo del cerebro, pero con una mayor intensidad en el hipocampo. En esta línea, muchos estudios justifican que el aprendizaje se mejora mucho cuando el hipocampo genera conexiones con la corteza cerebral; este proceso neurofisiológico se produce a alrededor de 5 ciclos por segundo. En condiciones de tranquilidad, los ritmos lentos cerebrales (banda theta) se incrementan y se consigue una mayor capacidad de aprendizaje, atención y memoria.

A la vista de lo expuesto anteriormente, los padres deberían poner el acento en acondicionar una habitación llena de luz, a buena temperatura y humedad y sin ruidos, para que sus hijos puedan estudiar, leer o tener actividades culturales dentro de un contexto adecuado a la mejora del desarrollo cerebral durante el aprendizaje escolar.

Otros estudios que han contribuido a mejorar la salud tanto física como intelectual de los niños son los que demuestran la importancia que tienen en los procesos de aprendizaje escolar el sueño, la nutrición e hidratación, el ejercicio físico, el ambiente emocional o los juegos con otros niños, así como el control de los tiempos y de los contenidos ante la televisión, por citar algunos de los más importantes. En este sentido, existen una serie de cuestiones que los padres podrían resolver de forma eficaz en el entorno familiar y que contribuirían de forma eficaz a la mejora del aprendizaje escolar de sus hijos. Se abordan a continuación:

“¿Cómo educo el sueño de mis hijos?”

Pactando una hora de acostarse y otra de levantarse de tal manera que duerman entre 9 y 10 horas diarias, y siendo firmes en su cumplimiento. El sueño es básico para la consolidación de la memoria y la mejora de la plasticidad neuronal. Si no dormimos bien, nuestras habilidades cognitivas se verán alteradas al día siguiente, esto es, el mal funcionamiento del cerebro es el coste de la ausencia de descanso nocturno. Si los niños durmiesen las horas adecuadas, siguiendo una pauta regular de acostarse y levantarse, probablemente los resultados

(tanto en la actitud como en el aprendizaje) mejorarían de forma considerable.

“¿Cómo educo la alimentación de mis hijos?”

Ateniéndonos a la premisa de que “lo que es malo para el corazón es malo para el cerebro” y siguiendo una dieta equilibrada que descarte las grasas saturadas y los azúcares refinados. Evitar picos de glucemia haciendo cinco comidas al día.

Los padres, además de ofrecer un buen desayuno, rico en cereales, frutas y lácteos, deberían desayunar con sus hijos y dedicar un tiempo para hablar con ellos, para interesarse por su sueño, inquietudes frente a la escuela, estado emocional, motivaciones, etc. Un tiempo de 15 minutos desayunando con sus hijos sería más que suficiente para este proceso interactivo y motivador antes de ir al colegio. A modo de ejemplo, asegurarse de que toman lo siguiente:

- Un lácteo: un vaso de leche, un yogur o queso (no postres industriales).
- Cereales enriquecidos de tipo muesli.
- Pan (tostada con aceite; evitar la bollería industrial).
- Zumo.
- Piscolabis con omega-3 (frutos secos)

“¿Qué hacer para que estén bien hidratados?”

En cierto modo, podríamos decir que el agua es el lubricante del sistema nervioso. Hay de saber que necesitamos tomar entre 8 y 10 vasos de agua al día, y estar pendientes para que eso también ocurra los fines de semana o en vacaciones, intentando no sustituir el agua por otras bebidas. Debemos asegurarnos de que los niños no llegan a estados de deshidratación ni siquiera leve como consecuencia de la práctica de deportes, problemas de salud o de largos períodos sin beber agua. Aconsejamos beber un sorbo de agua antes de comenzar los deberes. Los días de clase, nos preocuparemos de que nuestros hijos lleven al colegio una botella limpia con agua. Si la dejan en clase, estaremos pendientes de lavarla o cambiarla todas las semanas.

“¿Qué hacer para favorecer su actividad física?”

El objetivo es que hagan al menos 30-60 minutos de actividades físicas al día (deporte o juego en el que el equilibrio sea un factor importante).

Es muy bueno que hagan ejercicio físico por las tardes para afianzar el aprendizaje escolar llevado a cabo durante la mañana. En este sentido, la combinación del aprendizaje escolar matutino con la actividad física vespertina podría contribuir a mejorar enormemente la capacidad de memoria, de aprendizaje y de neurodesarrollo del hipocampo, estructura cerebral muy ligada a la memoria. Nos gustaría insistir en que los padres faciliten a sus hijos la posibilidad de jugar interactivamente con otros niños al margen de la actividad física.

“¿Qué hacer para favorecer un ambiente emocional positivo?”

Lo más importante es que los padres manifiesten delante de sus hijos actitudes verbales y no verbales positivas, de tranquilidad, de comunicación relajada, desprovista de gritos e insultos. La comunicación no verbal manifestada a través del tono, las expresiones, los movimientos, las sonrisas, etc., es fundamental para mantener la motivación y el interés del niño.

Para favorecer la percepción emocional positiva podrían poner caras sonrientes de toda la familia en la habitación de estudio. De forma dialogante, tranquila y con gestos de cariño y apoyo, los padres deben enseñar a sus hijos a calmarse cuando están enfadados.

“¿Qué hacer para favorecer su atención?”

- Poner en práctica el programa neuroeducativo HERVAT todos los días y un mínimo de tres veces al día, especialmente los fines de semana.
- Evitar que nuestros hijos vean televisión pasivamente y sin control durante mucho tiempo.
- Acotar el tiempo que dedican a jugar con el móvil o la tableta, permitiéndoles un tiempo predeterminado con estos dispositivos como escape, relajación y disfrute.
- Mantener la habitación de estudio con mucha luz y a la temperatura adecuada (22 °C). Evitar un cuarto con ruidos. Favorecer la tranquilidad ambiental.

Capítulo diez

Estudio en centros escolares

Equipo investigador

Investigador principal: Tomás Ortiz Alonso. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid

Equipo científico:

· Agustín Turrero, Javier Quintero, Elena Ortiz-Terán, Verónica Núñez, Millie Soria-Claros. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid

Aplicación experimental en el aula:

· José Luis Vicente. CEIP Rayuela
· Loreto Serrano Pérez, Marisa Marinetto Carrillo, Ángeles Martínez Jiménez, Lorena Jiménez Bermejo, Irene Pliego Pérez, Nerea Sánchez-Escribano Rodríguez, Fernando Peso, Ana Fernández Angosto, Nira Montesdeoca. Colegios Gredos San Diego

Otras colaboraciones:

· Isabel Serrano Marugán. Consejería de Educación

Este proyecto ha sido financiado por: Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid, Fundación para el Conocimiento Madri+d de la Comunidad de Madrid, Colegios Gredos San Diego y Colegio de Educación Infantil y Primaria Rayuela.

Introducción

Uno de los objetivos más importantes de la aplicación del programa neuroeducativo HERVAT es mejorar los estados atencionales. La atención es la habilidad para seleccionar información sensorial en cada momento y para dirigir procesos mentales. Es el pilar fundamental del proceso de aprendizaje y, por consiguiente, de construcción de memorias. Consecuentemente, la atención es esencial, tanto para construir nuevas conexiones neuronales como para crear circuitos estables en nuestro cerebro.

La atención puede entenderse como una amplia gama de procesos que participan en la regulación de las acciones desde que comienzan hasta que terminan. De hecho, parece conveniente concebir la atención como el “proceso central implicado en el control y la ejecución de la acción”. Es la capacidad de seleccionar la información sensorial relevante en cada momento y de dirigir los procesos mentales hacia la

realización de la acción. Un aspecto importante de la atención en el campo escolar es la capacidad de dirigir los procesos atencionales en el control de los comportamientos, aprendizajes, procesos cognitivos y, en general, en las actividades de la vida escolar.

En este sentido, se ha de tener en cuenta que, en los niños pequeños, la atención depende principalmente de la estimulación ambiental; un ambiente rico en estímulos novedosos contribuirá a mejorar enormemente los procesos atencionales. En los adolescentes es muy importante el control por parte del sujeto de su propia conducta o aprendizaje; de ahí que un ambiente emocionalmente estable, adaptado a sus necesidades e integrado en su mundo emocional y social será de enorme importancia en el manejo de la atención dirigida al comportamiento.

El concepto de atención conlleva dos grandes procesos que se solapan y se integran en función de la acción que se ha de realizar. El primero es un estado neurofisiológico en el cual el sujeto mantiene la activación cerebral necesaria para procesar cualquier tipo de información; este primer proceso es básico para el aprendizaje posterior y depende en parte de cómo el niño haya dormido o de lo cansado que esté. El segundo consiste en orientar la atención en una dirección específica; es básico para el seguimiento de las clases y depende, sobre todo, del estado motivacional del niño hacia las tareas escolares.

- El primero, independientemente de los estímulos y del contenido efectivo de la ejecución que se realiza en cada momento, mantiene un alto grado de automatización, iniciando constantemente y de forma paralela procesos en el procesamiento de la información, sin tener en cuenta el resultado final de estos.
- El segundo va dirigido a la respuesta en función del estímulo seleccionado. En este caso, la atención maneja dos procesos neurofisiológicos: uno excitatorio, para enfocar y seleccionar el estímulo diana, y otro inhibitorio, para eliminar el resto de los estímulos irrelevantes o interferentes. En los niños con TDAH estos procesos están alterados, por lo que tienen una gran dificultad, tanto para concentrar la atención como para evitar los estímulos irrelevantes.

Todos estos procesos son necesarios en la escuela. Se necesita un nivel atencional y de vigilancia lo suficientemente alto como para que el

segundo componente pueda elegir adecuadamente el tipo de información que se ha de ejecutar, y eliminar la irrelevante.

Este proceso atencional ha sido asociado a tres grandes redes neuronales:

1. El sistema de alerta, que ha sido vinculado al mantenimiento del estado de alerta tónico y fásico, y que se halla anatómicamente asociado a la actividad del tálamo y de la corteza cerebral frontal y parietal.
2. El sistema de orientación, que está implicado en la selección de información a través de diversos *inputs* sensoriales, y que se ha identificado en la región superior e inferior del lóbulo parietal, los campos frontales de orientación ocular y ciertas áreas subcorticales, como el colículo superior y los núcleos pulvinar y reticular del tálamo.
3. La red cerebral frontal de control ejecutivo, que ha sido vinculada a una serie de operaciones complejas que incluyen la capacidad de monitorización, detección y resolución de problemas, y las dos áreas cerebrales relacionadas: la corteza cingulada anterior y la corteza prefrontal dorsolateral.

No debemos olvidar que la atención es el pilar más importante en el proceso de aprendizaje y de la memoria. Diferentes investigaciones (Tallal y Fitch, 2005; Merzenich y Syka, 2005) han demostrado que la atención es básica para crear nuevas conexiones neuronales, así como para formar circuitos cerebrales estables. Y el establecimiento de circuitos y conexiones neuronales estables y duraderos solamente ocurre cuando se presta atención. Otros estudios, además, justifican la importancia de la atención en los ambientes enriquecidos, y llegan a la conclusión de que, además de mejorar dicho proceso, existe un aumento considerable (de entre un 3 % y un 6 %) de una estructura cerebral implicada en la atención como son los colículos superiores (Fuchs, 1990). Prestar atención también mejora la actividad de los núcleos basales y la reorganización de la actividad cortical (Kilgard y Merzenich, 1998).

Llorente y cols. (2012) han llevado a cabo un programa neurocognitivo, aplicado a los alumnos de 5.º de Educación Primaria, que evaluaba las implicaciones en el proceso de aprendizaje de cuatro variables aplicadas a las aulas: hidratación, equilibrio, respiración y atención. Los resultados indican una mejora importante de los procesos

atencionales frente a otras funciones cognitivas, una mejora de la actividad cerebral con latencias más cortas de las ondas N200 y P300 y un aumento de la actividad parietal. Esta área cerebral está asociada a los procesos básicos y análisis y reconocimiento sensorial y frontal.

En los últimos años ha aumentado considerablemente el estudio de casos de TDA mediante técnicas de neuroimagen. Su objetivo es encontrar indicadores cerebrales anatómicos y funcionales que apoyen el diagnóstico clínico y la planificación del tratamiento. Aunque no se conoce con exactitud cuál es el sustrato neurobiológico del TDA, existen dos hipótesis vigentes: la primera es la *hipótesis frontoestriatal*, que postula la existencia de una disfunción en los circuitos frontoestriatales a partir de una serie de hallazgos, tanto anatómicos como funcionales, aportados por diferentes estudios de neuroimagen. La segunda alternativa es la *hipótesis cortical-posterior*, que demuestra la existencia de alteraciones en otras regiones corticales posteriores, de igual modo, a nivel tanto anatómico como funcional (Durston, 2003). Probablemente los déficits en este tipo de casos no solamente se refieran a una sola área o sistema cerebral asociado con la atención, sino que posiblemente queden afectados el sistema de alerta, suministrador del tono atencional, dependiente de la integridad del sistema reticular mesencefálico y sus conexiones; el sistema de atención posterior o de selectividad perceptiva, dependiente de la integridad de zonas del córtex parietal posterior derecho y sus conexiones; y el sistema de atención anterior o atención supervisora y reguladora de la atención deliberada, integrada principalmente por zonas del cíngulo anterior y prefrontales laterales y sus conexiones (Estévez-González, 1997).

En este sentido, se ha publicado un trabajo con niños con TDA en el que se encuentran alteraciones en la conectividad entre la corteza orbitofrontal (región que participa en la atribución), así como en el cuerpo estriado y la corteza cíngulada anterior (regiones que participan en la motivación), y la conectividad más baja con la corteza parietal superior (región que participa en el procesamiento de la atención) (Tomasi y Volkow, 2011). En esta misma línea, Lei y cols. (2011) han encontrado que los niños con TDA no activan los mismos circuitos corticales. Como consecuencia, tienden a compensarlo con otras áreas corticales, principalmente posteriores, para conseguir los resultados con la misma eficacia que el grupo de control.

Coincidentes con estos datos, Smith y cols. (2006) encuentran una disminución en la activación durante una tarea en áreas prefrontales bilaterales y temporoparietales derechas. Parece claro que existe una gran disfunción en los circuitos frontocingularparietales (Bush, 2011) que podría determinar marcadores biológicos importantes en los procesos de atención en niños con TDA. Eso podría modificarse con una estimulación repetitiva táctil externa, para mejorar la neuroplasticidad parietal.

En este contexto neurobiológico, las áreas corticales asociadas más habitualmente con la regulación de la atención son el córtex prefrontal, el córtex parietal posterior y el giro fusiforme de la región occipitotemporal. Estos datos están basados en el hecho de que las lesiones focales dentro de estas áreas pueden conducir a estados de confusión. Tres áreas subcorticales: el sistema límbico, el hipocampo y el sistema reticular ascendente, que forman una matriz interrelacionada e interconexionada, se hacen imprescindibles en el estudio de la atención, bien contribuyendo a la formación de la memoria y del recuerdo, bien modulando el valor afectivo de los estímulos y de la respuesta o bien integrando las señales multimodales y las asociaciones para un posterior procesamiento.

Un aspecto neurofisiológico que se ha de tener en cuenta en lo concerniente a los procesos de atención es que están sujetos a la entrada de la información mediante las vías sensoriales (táctil, auditiva, visual). Los contrastes sensoriales son de gran importancia para atraer la atención del niño. Un ambiente muy uniforme conlleva una habituación muy rápida de las vías sensoriales, lo que automáticamente disminuye la atención.

Objetivos de la investigación

El objetivo de este estudio era comprobar la eficacia del programa neuroeducativo HERVAT en funciones neurológicas básicas asociados con los procesos atencionales de alerta, de orientación o de control ejecutivo, responsables a la larga de los procesos cognitivos más complejos y, en última instancia, del aprendizaje escolar.

Metodología

El estudio se ha llevado a cabo durante un curso académico en tres colegios diferentes, con una población de 63 niños y niñas de primaria, distribuidos en cuatro grupos de la siguiente manera:

1. Grupo HERVAT: integrado por veintidós niños sin TDA de ambos sexos, de edades comprendidas entre los 7 y los 11 años escolarizados, sin ningún tipo de patología neuropsiquiátrica o neuropsiquiátrica, con cociente intelectual normal, que han recibido neuroestimulación diaria mediante HERVAT, del CEIP Rayuela.
2. Grupo de control: compuesto por doce niños sin TDA y con similares características a las del grupo experimental en cuanto a edad, sexo y nivel de escolarización, del Colegio Gredos San Diego de Las Suertes.
3. Grupo HERVAT + TDA: formado por quince niños con TDA de ambos sexos, de edades comprendidas entre 8 y los 11 años y que se encuentren escolarizados, sin ningún tipo de patología neuropsiquiátrica o neuropsiquiátrica, con cocientes intelectuales normales, que han recibido neuroestimulación diaria mediante HERVAT, del Colegio Gredos San Diego de Las Suertes.
4. Grupo de control-TDA: compuesto por quince niños con TDA y con similares características a las del grupo experimental en cuanto a edad, sexo y nivel de escolarización, del Colegio Gredos San Diego de Moratalaz.

El procedimiento de selección de niños con TDA se llevó a cabo mediante la entrevista clínica del *DSM-5* (de la American Psychiatric Association) para el diagnóstico del TDA, y la entrevista diagnóstica, mediante el *Kiddie-Schedule for Affective Disorders and Schizophrenia - Present & Lifetime*, versión traducida, adaptada y validada al español, la *ADHD Rating Scale-IV* y la escala de *Conners* para padres. Se han excluido de los dos grupos de niños con TDA aquellos con TDAH.

Para valorar la eficacia del HERVAT a nivel cognitivo y atencional, se hicieron dos pruebas al inicio y final del curso académico: una fue el test Factor G, cuyos autores son R. B. Cattell y A. K. S. Cattell; esta prueba evalúa la capacidad mental general o factor *g*, y pertenece al tipo de pruebas “no verbales”, ya que para su realización se requiere únicamente que el sujeto perciba la posibilidad de relacionar formas y figuras. La otra, para medir la atención, fue el test de atención *d2*, cuyo autor es R. Brickenkamp; esta prueba mide la atención selectiva y la concentración mediante la evaluación de distintos aspectos como la

velocidad, la precisión, la estabilidad o el control atencional.

Para valorar la eficacia a nivel neurofisiológico, se hicieron potenciales evocados cognitivos¹⁵ durante la discriminación de estímulos visuales, auditivos y táctiles:

- La prueba auditiva consistía en dos estímulos auditivos, que eran tonos de dos frecuencias diferentes: uno de 2000 Hz, considerado el estímulo diana y que se produce en un 20 % de los estímulos, aleatoriamente distribuidos a lo largo de la prueba; y otro, de una frecuencia de 1000 Hz, considerado el estímulo estándar y que se produce con una frecuencia de un 80 % de las veces. Los tonos eran binaurales, de una intensidad de 60 dB, con una duración de subida/bajada de 10 milisegundos y con una meseta de 50 milisegundos. La probabilidad del tono diana era del 20 %, mientras que la del estímulo estándar era de un 80 %, de forma aleatoria. El tiempo interestímulo era de un segundo. El alumno tenía que responder pulsando la barra espaciadora cada vez que aparecía el tono de 2000 Hz (estímulo diana).
- La prueba visual consistía en dos estímulos visuales, que eran líneas verticales y horizontales: la horizontal fue considerada el estímulo objetivo o diana y se produjo en un 20 % de los estímulos, aleatoriamente distribuidos a lo largo de la prueba; la vertical fue considerada el estímulo estándar y se produjo con una frecuencia de un 80 % de las veces. Las líneas, que eran de 0,5 cm de ancho y 5 cm de largo, aparecían en mitad de la pantalla con una duración de 300 milisegundos y un tiempo de respuesta de 700 milisegundos. El alumno tenía que responder pulsando la barra espaciadora cada vez que aparecía en la pantalla la línea horizontal (estímulo diana).
- Por último, la prueba táctil consistía en dos estímulos táctiles que eran líneas verticales y horizontales: la horizontal fue considerada el estímulo objetivo o diana y se produjo en un 20 % de los estímulos, aleatoriamente distribuidos a lo largo de la prueba; la vertical fue considerada el estímulo estándar y se produjo con una frecuencia de un 80 % de las veces. Las líneas, que eran de 0,5 cm de ancho y 5 cm de largo, se presentaron en la palma de la mano mediante un estimulador táctil con un tiempo de presentación de 300 milisegundos y un tiempo de respuesta de 700 milisegundos.

La estimulación táctil que se llevó a cabo mediante un sistema de

estimulación del tacto pasivo que consiste en un estimulador táctil de 784 pines (28×28) que se coloca en la palma de la mano y en el que se pueden dibujar líneas, figuras y letras que permiten una estimulación global y en milisegundos, frente al protocolo estándar explicado anteriormente.

El programa neuroeducativo HERVAT se llevó a cabo solo en los colegios, tres veces diarias de lunes a viernes. No participaron las familias. Los ejercicios se realizaban en una tableta para controlar sesiones, ejercicios y seguimiento del programa. Tampoco se utilizaron las imágenes de la sonrisa de Duchenne en clase.

El registro de los potenciales evocados se llevó a cabo mediante el sistema de electroencefalografía ATI-Pentatek® de 128 canales. Los datos se procesaron a una referencia media después de la adquisición con un filtro de paso de banda de 0,05 a 30 Hz y una velocidad de muestreo de 312 Hz. Las impedancias se mantuvieron por debajo de 5 k Ω .

Usamos electrodos en ambos mastoides como referencias *on-line*. Utilizamos como criterio de exclusión de los llamados “ruidos” o “artefactos” 100 microvoltios para descartar los parpadeos oculares. Inspeccionamos visualmente las pruebas de cada sujeto para asegurarnos de que las grabaciones fueran limpias. Los “ruidos” de movimientos oculares y musculares se identificaron *off-line* a través de una inspección visual, y se eliminaron antes de calcular el promedio de los datos y el análisis de ERP (*event-related potentials*).

Los canales ruidosos se reemplazaron con interpolaciones lineales de canales limpios. Una vez concluido lo anterior, calculamos los promedios para cada participante y cada condición a través del análisis de la onda negativa N200 anterior y más cercana la respuesta motora, que estaba en torno a los 300 milisegundos antes de la respuesta motora. Las latencias se obtuvieron por separado para cada condición y cada sujeto analizando 40 milisegundos, 20 anteriores y 20 posteriores al pico de mayor amplitud, en intervalos de 180-250 milisegundos para la onda N200 en el electrodo Pz.

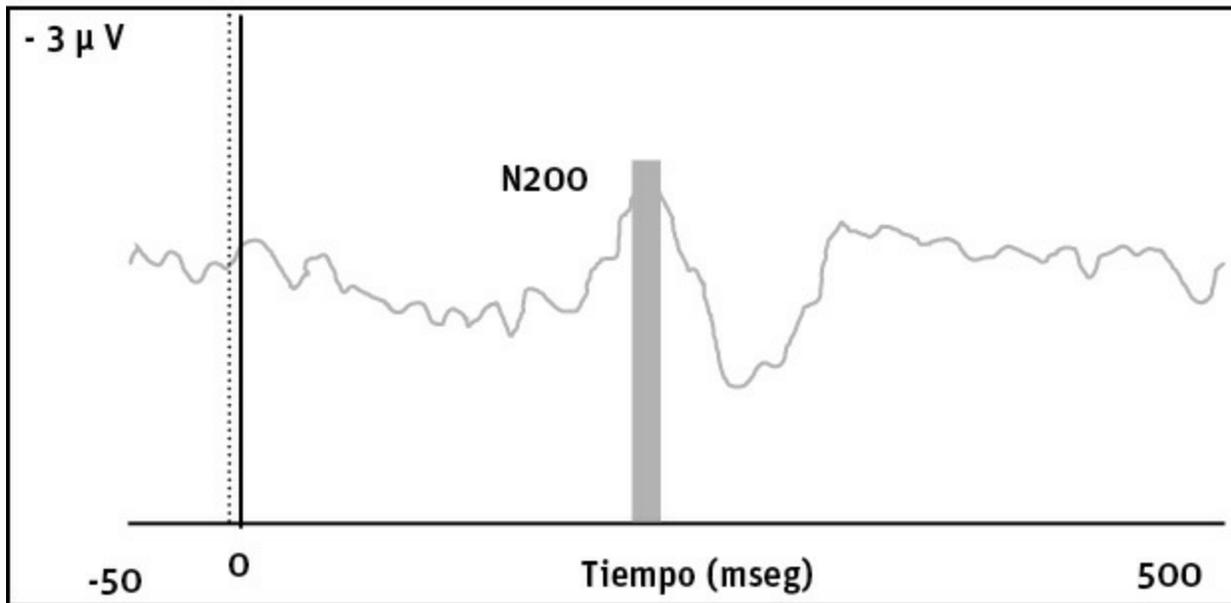


Figura 1. Representación morfológica del componente N200 localizado en el electrodo Pz. La ventana para el análisis de los componentes N200 fue determinada a partir de la máxima amplitud del electrodo Pz. Las fuentes neuronales de los mapas de actividad eléctrica cerebral se llevaron a cabo en un rango de 40 milisegundos (-20 milisegundos antes y +20 milisegundos después del pico de máxima amplitud del electrodo Pz) (marcado en gris en la gráfica).

La localización de fuentes del potencial evocado N200 se estimaron a partir de 123 grabaciones de electrodos en todos los participantes del estudio y se localizaron en el cerebro a través de la solución del problema inverso del EEG utilizando el método BMA (*bayesian model averaging*) (Penny y cols., 2006; Trujillo Barreto y cols., 2004; MacKay, 1992). Los modelos individuales fueron obtenidos a través de LORETA (*low-resolution electromagnetic tomography*) del software de Neuronic® (Pascual-Marqui y cols., 1994) para el cálculo de la tomografía eléctrica cerebral. Cada modelo se definió restringiendo la solución a una estructura anatómica particular o a la combinación de varias utilizando el paquete de software SPM (*statistical parametric mapping*) (MathWorks, Natick, Estados Unidos).

A partir de las fuentes calculadas en el potencial evocado se aplicó el SPM para calcular los mapas en función de una distribución T^2 de Hotelling vóxel a vóxel contra cero (Carbonell y cols., 2004), para estimar las fuentes estadísticamente significativas del potencial evocado N200.

Los mapas de probabilidad resultantes a partir del umbral de proporción esperada de falsos positivos entre las pruebas que fueron significativos se limitaron a una FDR (*false discovery rate*) $q \leq 0,05$ (Lage-Castellanos y cols., 2010) y se representaron como imágenes de

activación 3D superpuestas en el cerebro promedio de acuerdo con el sistema de coordenadas MNI (Evans y cols., 1994) y según el atlas AAL (Tzourio-Mazoyer y cols., 2002).

Resultados

1. Inteligencia general

La inteligencia general (factor g) se considera como la capacidad mental general para razonar, prever, resolver problemas, abstraer, elaborar ideas complejas y aprender de la experiencia. Algunos autores defienden el carácter biológico factor g y lo consideran como una medida global de la “eficiencia neural” (propiedad del SNC que se traduce en menos errores en la transmisión de la información y, por tanto, en una velocidad y precisión de respuesta mayores y una mayor eficacia y rendimiento).

Los resultados encontrados demuestran que ambos grupos de niños (con y sin TDA) que han llevado a cabo el HERVAT, así como el grupo de control sin TDA, son los que han mejorado más significativamente en el factor g de inteligencia al final del curso escolar. Un dato de gran relevancia es la inversión del patrón en los niños con TDA que no hicieron el HERVAT, al disminuir las puntuaciones del factor g de inteligencia (figura 1).

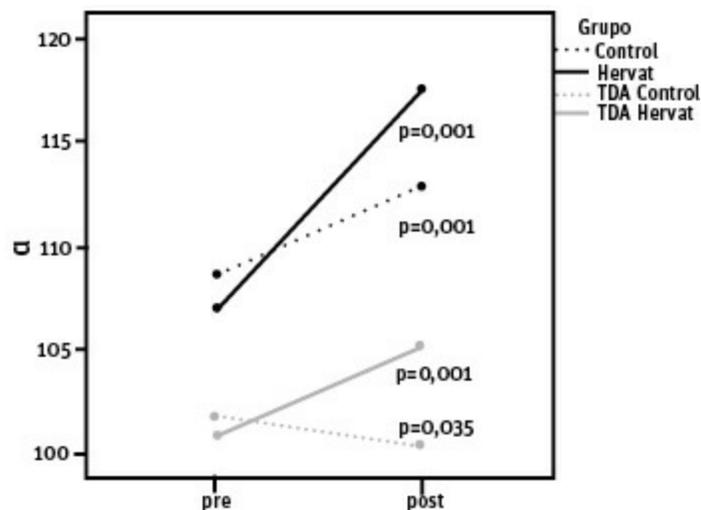


Figura 1. Gráfica representativa de los resultados sobre el factor g de inteligencia con la significación estadística entre el inicio y el final del estudio.

2. Atención

El test de atención d2 aplicado tiene la capacidad de medir la atención selectiva y de la concentración mediante la evaluación de distintos aspectos como la velocidad, la precisión, la estabilidad o el control atencional, así como la velocidad de procesamiento de información visual Rebollo y Montiel (2006). En este test observamos una mejora en velocidad de procesamiento en el número total de aciertos y la disminución del número total de errores en el grupo con HERVAT.

Los resultados en la variable VAR del test de atención d2, que diferencia entre la mayor y la menor productividad, demuestran una mejora sustancial significativa del grupo HERVAT en la capacidad de atención selectiva y en la concentración. Se comprueba asimismo una mejora significativa en la variable TOT en el control atencional e inhibitorio, que es el resultado entre número de elementos procesados menos el número total de errores cometidos en los grupos que han hecho HERVAT y en el grupo de control sin TDA, mientras que en el grupo con TDA que no ha hecho HERVAT las puntuaciones disminuyen drásticamente y significativamente al final del curso escolar.

Por último, en la variable CON, que se deriva del número de elementos relevantes correctamente marcados menos el número de comisiones, solo mejoran significativamente los grupos que han hecho HERVAT (figura 2). La conclusión más importante que extraemos de estos resultados es que la aplicación diaria del programa neuroeducativo HERVAT favorece de forma significativa los procesos atencionales básicos.

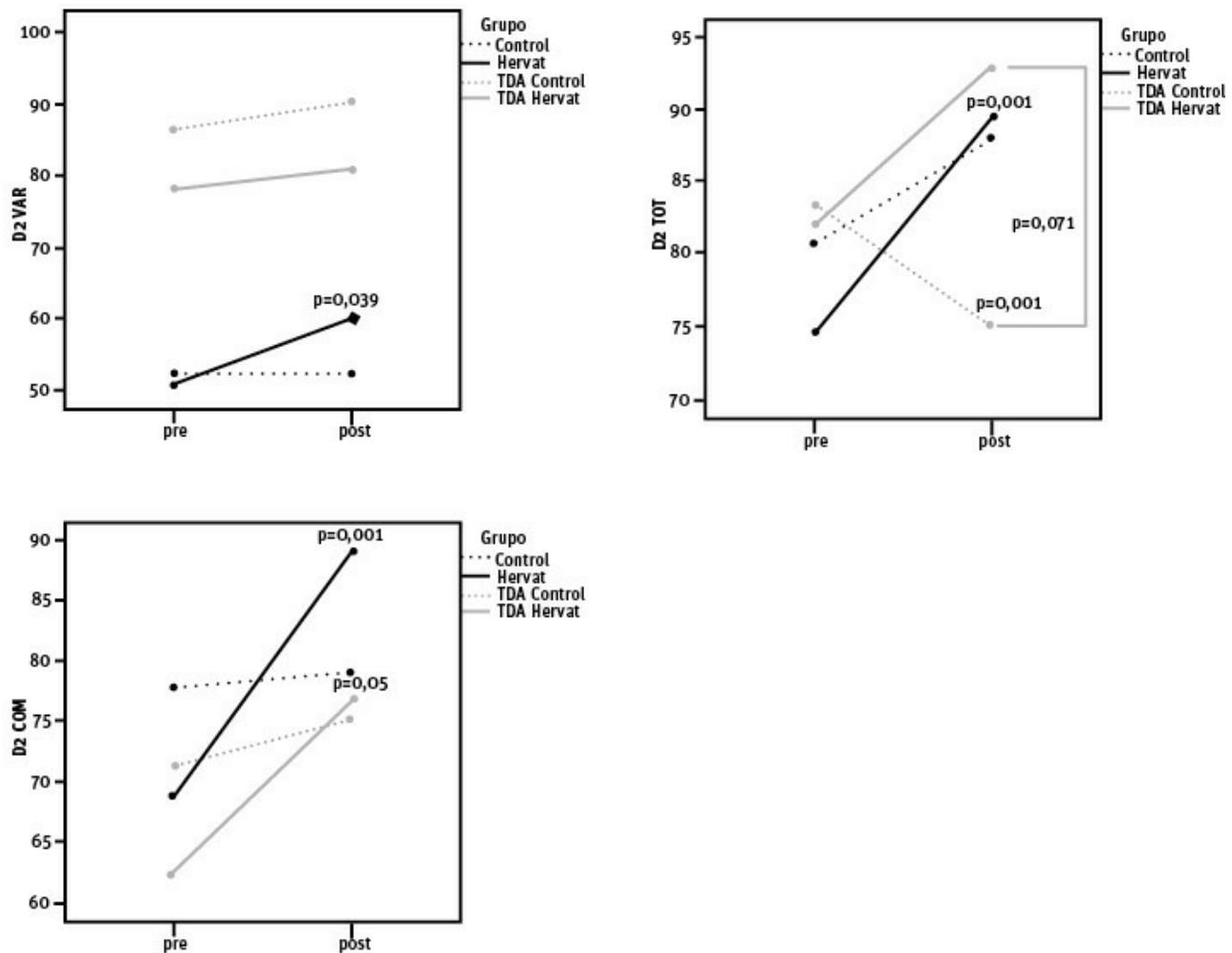


Figura 2. Gráficas representativas de los resultados sobre atención selectiva VAR, TOT y CON.

3. Respuestas conductuales de tiempos de reacción y aciertos/errores antes de estimulación multisensorial

Los tiempos de reacción ante diferentes estímulos sensoriales están asociados con el procesamiento de la información, de tal forma que, a mayor tiempo de reacción, más dificultades en dicho procesamiento. Nuestros resultados sobre los tiempos de reacción demuestran que en el inicio del estudio estos eran más alargados que al final en todos los grupos ante estímulos táctiles, mientras que durante los estímulos auditivos y visuales solamente los grupos con HERVAT y el grupo de control sin TDA los mejoran. En cambio, los niños de control con TDA manifiestan una inversión al aumentar al final del curso escolar los tiempos de reacción (figura 3).

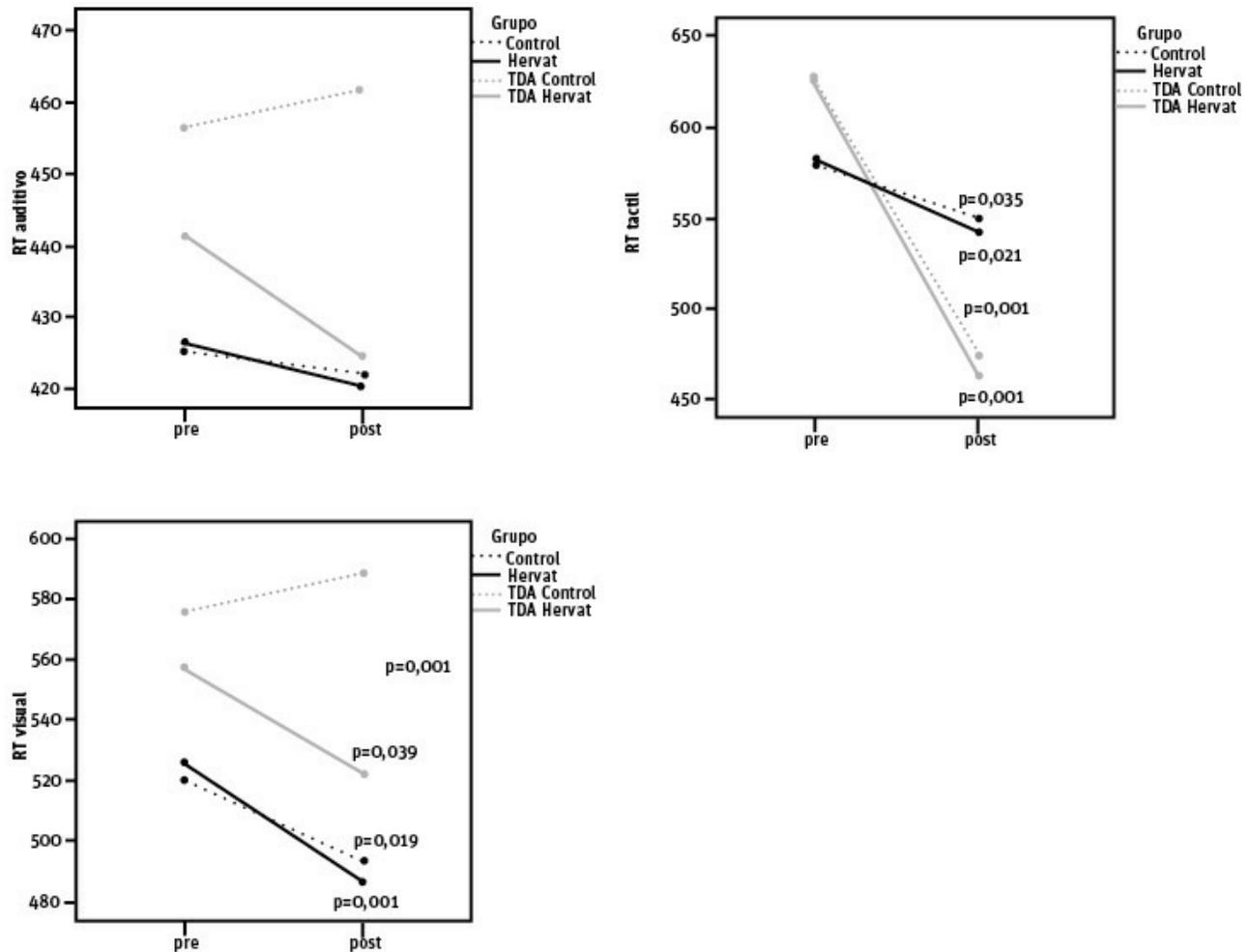


Figura 3. Gráficas representativas de los resultados sobre los tiempos de reacción ante estímulos auditivos, visuales y táctiles.

Los aciertos están asociados con procesos de atención selectiva a una determinada tarea y la capacidad de aprendizaje o mejora de una determinada tarea. El menor número de aciertos y el mayor número de errores durante la estimulación táctil, visual y auditiva nos indican una alteración importante en los procesos atencionales selectivos ante la información multisensorial, así como dificultades en el aprendizaje y la mejora de tareas entrenadas a lo largo del curso escolar.

Nuestros resultados durante la estimulación táctil, auditiva y visual demuestran un resultado similar en los grupos con HERVAT y el grupo de control sin TDA, mientras que, al igual que en el tiempo de reacción, el grupo de control con TDA invierte la tendencia al disminuir drásticamente el número de aciertos al final del curso escolar (figura 4).

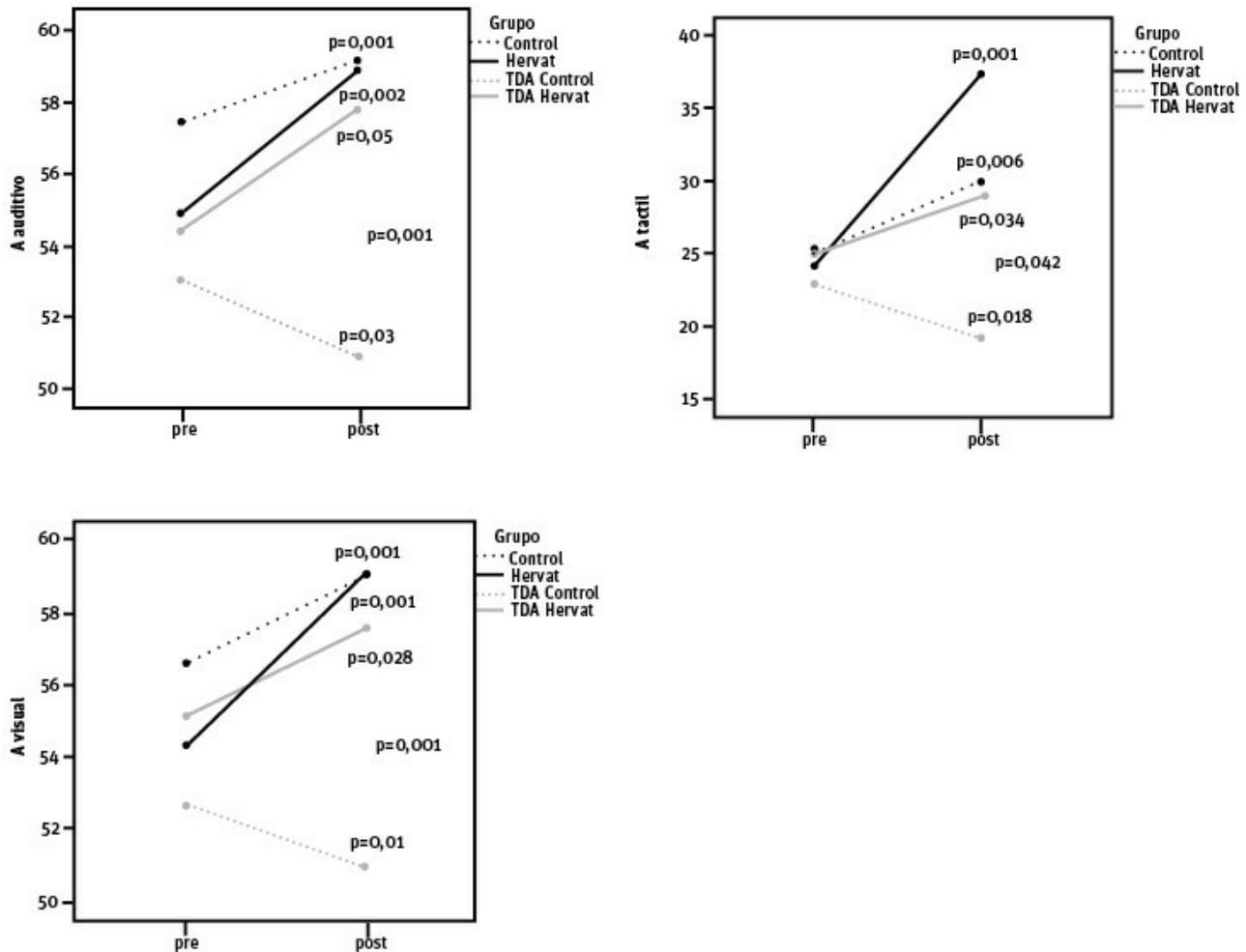


Figura 4. Gráficas representativas de los resultados sobre los aciertos ante estímulos auditivos, visuales y táctiles.

4. Resultados de las latencias de la onda N200

La latencia de los potenciales evocados está asociada con la capacidad en el procesamiento cerebral de la información sensorial. La onda N200 está asociada con el cambio de funciones del entorno de estímulo y ha sido interpretada como una etapa de filtrado automático para la atención selectiva. Dos procesos cognitivos específicos (selección de respuesta y de control ejecutivo), ambos relacionados con la inhibición de la respuesta y el control de impulsos, se han identificado con la N200. Nuestros resultados indican una disminución significativa de la latencia de la onda N200 al final del curso escolar, tanto en el grupo de control como en los grupos con HERVAT, mientras que con el grupo de control-TDA se invierte el patrón (figura 5).

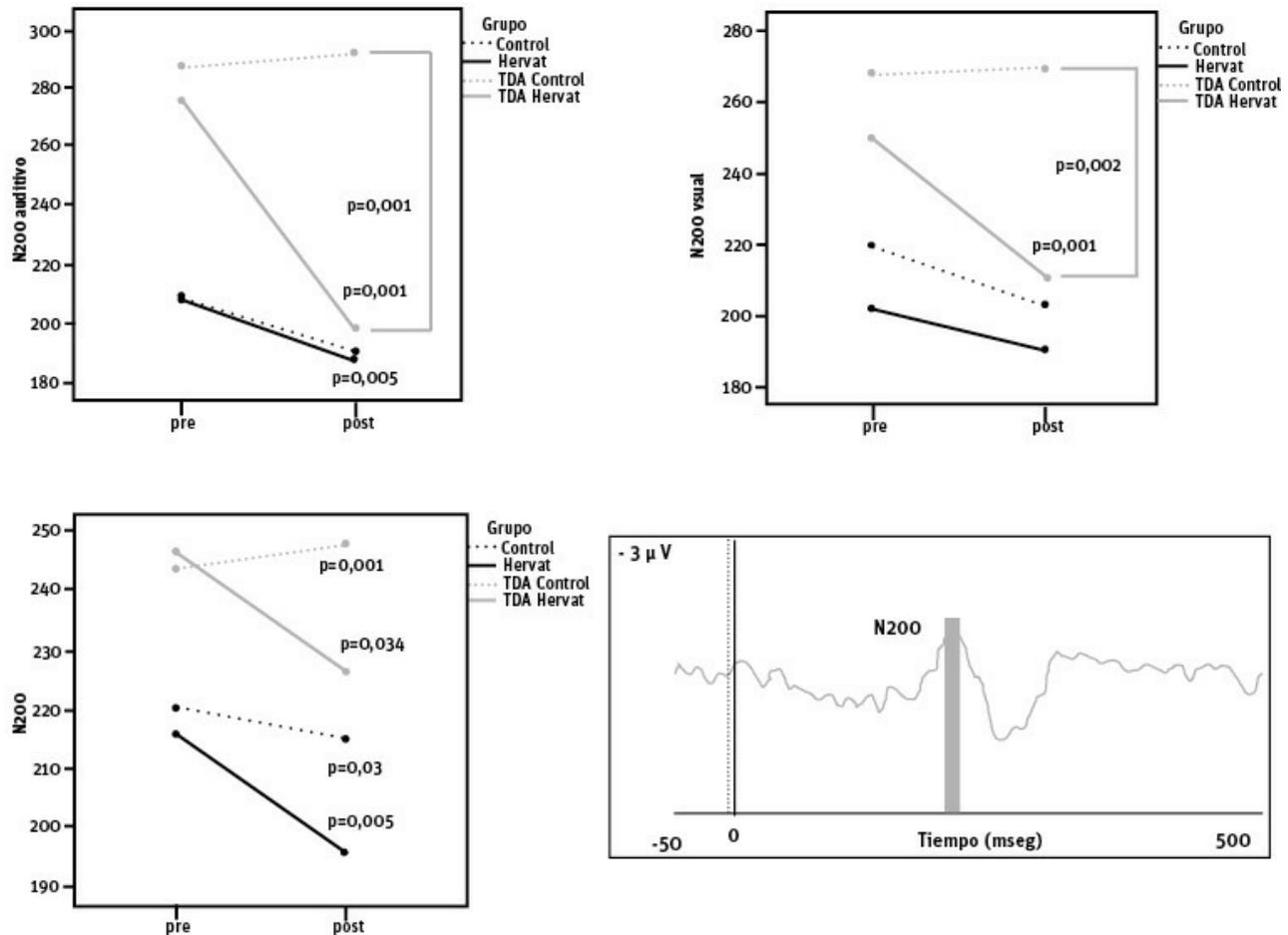


Figura 5. Gráficas representativas de los resultados de la latencia de la onda N200.

5. Mapas de actividad eléctrica cerebral de la onda N200

Los resultados más destacados en la organización cerebral después del entrenamiento con el programa neuroeducativo HERVAT indican que el cerebro reorganiza los procesos atencionales relacionados con la N200 en áreas más posteriores en el inicio del curso, mientras que al final de este la organización se desarrolla en áreas anteriores cerebrales frente a las posteriores del inicio del estudio en el grupo de control y en los grupos con HERVAT. Sin embargo, en el grupo de control-TDA la actividad se mantiene en áreas posteriores al final del curso escolar.

Estos resultados parecen indicar, por un lado, que la mejora de los procesos cognitivos atencionales mediante el HERVAT vendría asociada con una mayor lateralización del hemisferio derecho y una mayor actividad de áreas anteriores a nivel de los tres sistemas sensoriales estudiados: auditivo, visual y táctil (tablas 1, 2 y 3, figuras 6, 7, y 8).

Prueba de discriminación auditiva

Grupos		AAL	x	y	z
HERVAT	PRE	Frontal medial derecha Cuneo izquierdo	30 -6	16 -81	47 29
	POST	Frontal medial derecha	26	55	20
Control	PRE	Parietal superior derecha	26	-62	61
	POST	Frontal superior derecho	18	65	8
		Frontal superior medial derecho Temporal superior derecha	14 58	66 -17	12 -5
Control TDA	PRE	Occipital inferior derecha	34	-93	-2
	POST	Parietal superior derecha Occipital superior derecha	22 26	-78 -77	61 33
HERVAT + TDA	PRE	Temporal medio derecho	58	-33	2
		Parietal superior derecho	26	-51	66
		Parietal superior izquierdo	-6	-30	67
	POST	Frontal superior derecha	22	63	8

Prueba de discriminación visual

Grupos		AAL	x	y	z
HERVAT	PRE	Área temporal inferior izquierda	-62	-50	-21
	POST	Frontal superior medial derecha	13	58	16
		Área motora suplementaria derecha Área calcarina izquierda	10 14	2 -98	63 -1
Control	PRE	Parietal superior izquierda	-22	-63	64
	POST	Frontal inferior derecha	54	26	5
Control-TDA	PRE	Poscentral derecha	10	-28	80
	POST	Frontal medial derecha	38	-3	57
HERVAT+TDA	PRE	Parietal superior izquierdo	-38	-37	60
	POST	Frontal superior derecho Frontal superior medial derecho	18 6	55 76	32 11

Tablas 1 y 2. Resumen de las áreas de proyección de máxima intensidad estadísticamente significativas ($p < .001$) basadas en una prueba de Hotelling T2 (voxel por voxel frente a cero) durante las pruebas de reconocimiento auditivo y visual, con cada localización específica, para cada grupo en la prueba previa (PRE) y en la prueba posterior (POST). Grupos: HERVAT, Control, Control TDA, HERVAT+TDA. Automated Anatomical Labeling (AAL) = etiquetado anatómico automatizado correspondiente al Atlas Probabilístico Cerebral. x, y, z =: coordenadas en tres ejes espaciales de acuerdo con el sistema de coordenadas MNI (Instituto Neurológico de Montreal) del punto máximo Hotelling T2 en la estructura

Prueba de discriminaci3n T3ctil

Grupos		AAL	x	y	z
HERVAT	PRE	Occipital medial derecha	34	-84	24
		Temporal medial derecha	50	-65	4
	POST	Frontal superior medial derecha	6	57	13
		C3ngulo anterior derecho	6	42	13
		Supramarginal derecha	62	-37	29
	Frontal medial izquierdo	-37	48	12	
Control	PRE	Parietal superior derecha	18	-52	71
		Frontal superior medial derecha	10	66	12
	POST	Frontal superior derecha	18	58	32
		Frontal superior medial derecha	10	67	8
		Parietal superior derecha	22	-60	66
ControlTDA	PRE	Temporal superior derecha	66	-32	8
	POST	Frontal inferior izquierda	-50	42	4
HERVAT + TDA	PRE	Temporal media derecha	62	-46	-7
		Frontal inferior izquierda	-50	39	3
	POST	Frontal superior derecho	14	57	29

Tabla 3. Resumen de las 3reas de proyecci3n de m3xima intensidad estad3sticamente significativas ($p < .001$) basadas en una prueba de Hotelling T2 (voxel por voxel frente a cero) durante las pruebas de reconocimiento t3ctil, con cada localizaci3n espec3fica, para cada grupo en la prueba previa (PRE) y en la prueba posterior (POST). Grupos: HERVAT, Control, Control TDA, HERVAT+TDA. Automated Anatomical Labeling (AAL) = etiquetado anat3mico automatizado correspondiente al Atlas Probabil3stico Cerebral. x, y, z =: coordenadas en tres ejes espaciales de acuerdo con el sistema de coordenadas MNI (Instituto Neurol3gico de Montreal) del punto m3ximo Hotelling T2 en la estructura anat3mica correspondiente.

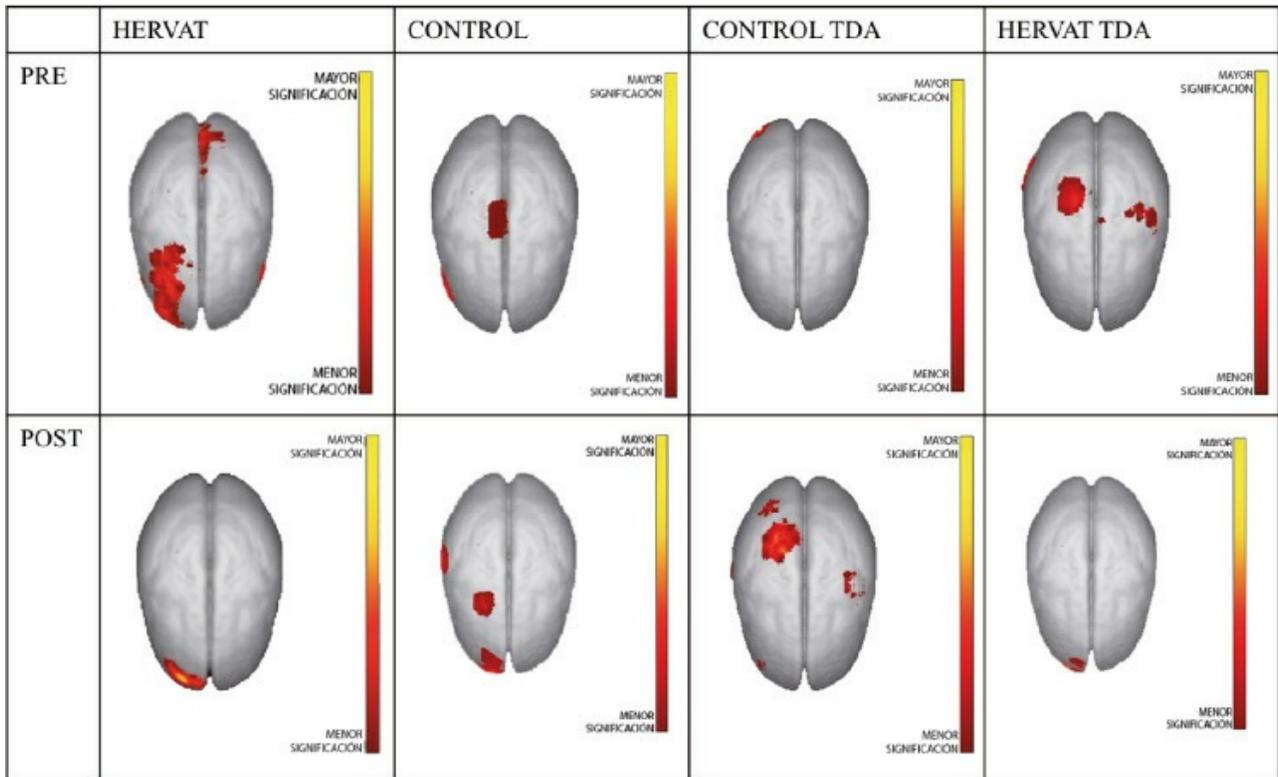


Figura 6. Gráfica representativa de los resultados de los mapas medios de la localización de fuentes mediante BMA del potencial evocado N200 durante las pruebas PRE y POST de todos los grupos durante las pruebas de discriminación auditiva. El color rojo o amarillo indica la mayor diferencia en dicha área cerebral.

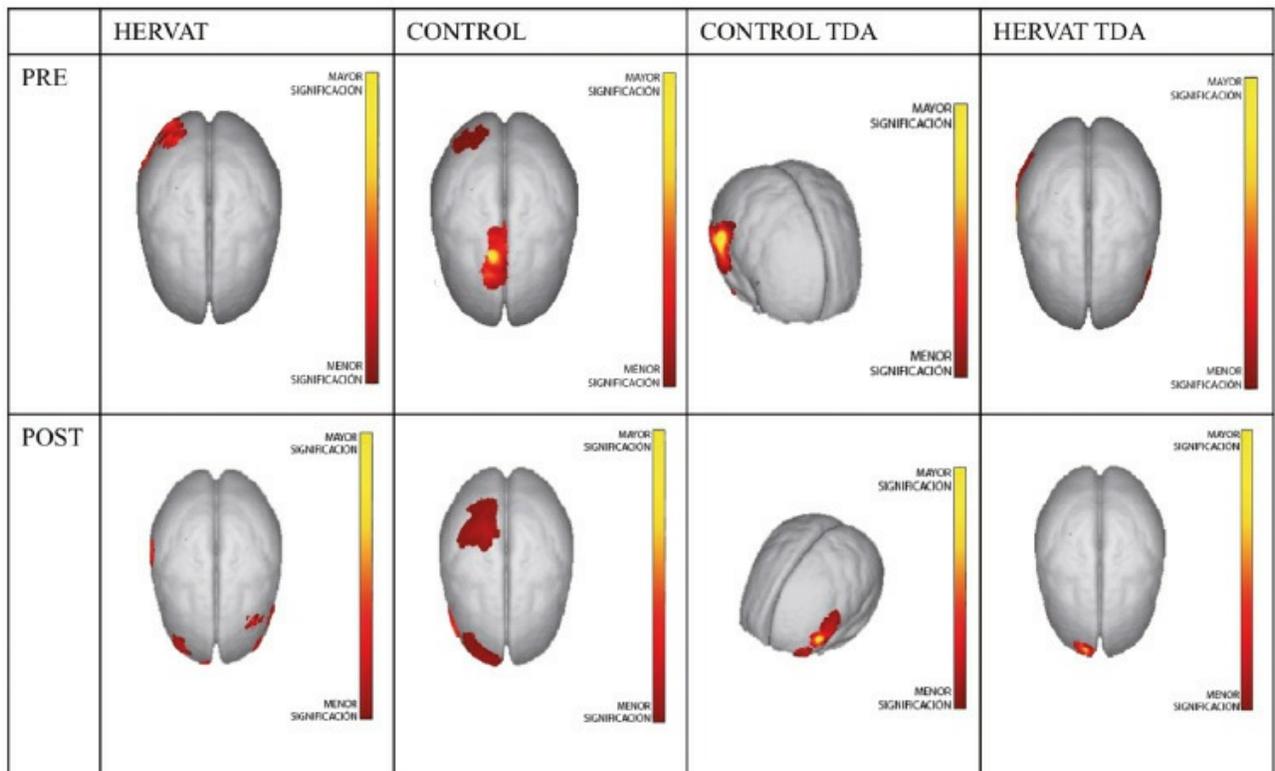


Figura 7. Gráfica representativa de los resultados de los mapas medios de la localización de fuentes mediante BMA del potencial evocado N200 durante la discriminación visual. El color rojo o amarillo indica la mayor diferencia en dicha

área cerebral.

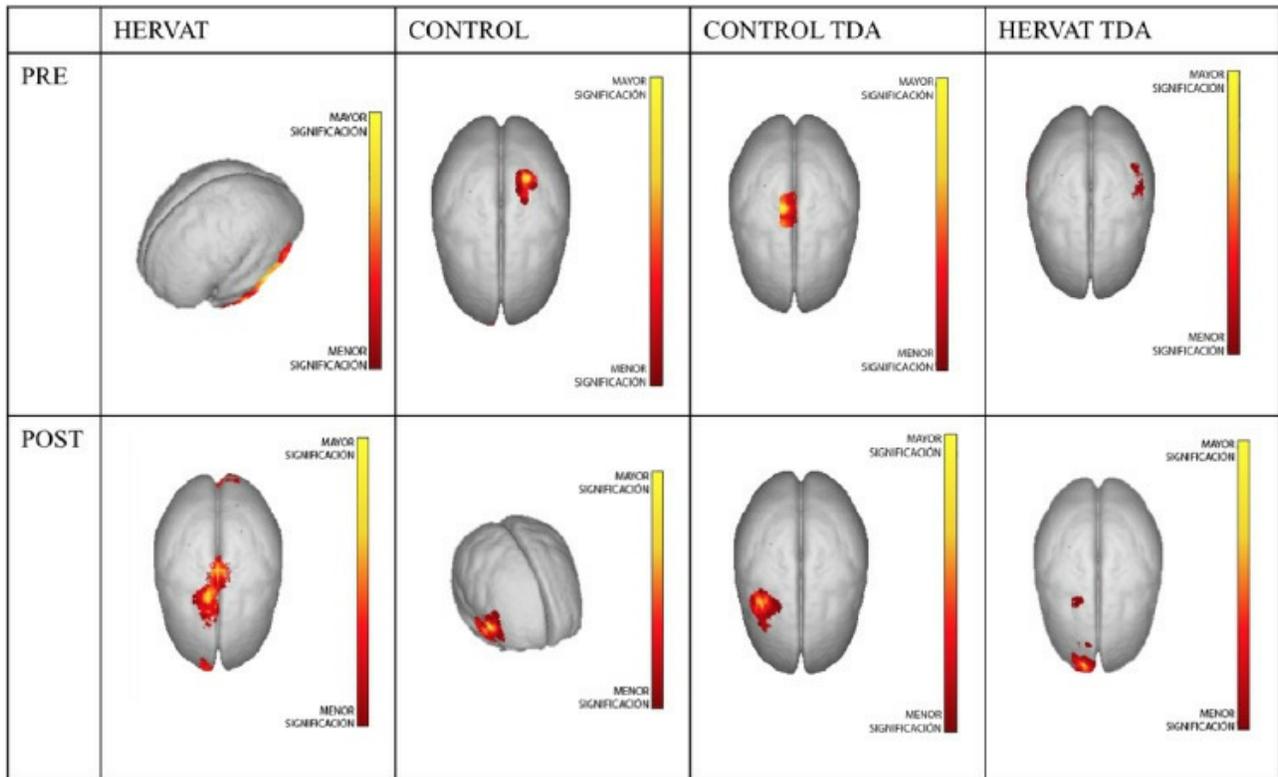


Figura 8. Gráfica representativa de los resultados de los mapas medios de la localización de fuentes mediante BMA del potencial evocado N200 durante la discriminación táctil. El color rojo o amarillo indica la mayor diferencia en dicha área cerebral.

Nuestros resultados parecen dejar claro que si llevamos a cabo una actividad sistemática y diaria, con una estructura de ejercicios específicamente definida en cuanto a la frecuencia, intensidad, sistematización de patrones estimulares sencillos y repetición a lo largo del día, podemos crear los automatismos mínimos necesarios, sincronizados temporalmente, para lograr la generación de nuevas conexiones cerebrales entre distintas áreas corticales y mejorar la latencia de los potenciales evocados, así como una mejora sustancial de la atención y capacidad mental para resolver problemas, elementos básicos para conseguir un buen aprendizaje escolar y una maduración cerebral adecuada.

Asumimos que la atención es el pilar más importante en el proceso de aprendizaje y de la memoria, y que es básica para crear nuevas conexiones neuronales, así como para formar circuitos cerebrales estables y para mejorar la actividad de estructuras básicas en el aprendizaje escolar y en la reorganización de la corteza cerebral como

son los núcleos basales (Fuchs, 1990; Kilgard y Merzenich, 1998), y entendemos que el entrenamiento diario mediante el HERVAT podría contribuir a la mejora de la plasticidad cerebral y la reorganización de circuitos estables subcorticocorticales necesarios para la mejora del aprendizaje escolar.

Por otro lado, el acortamiento de la latencia de las onda N200 durante el reconocimiento de estímulos sensoriales (auditivos, visuales y táctiles) al final del curso, sobre todo en los grupos que han hecho HERVAT, nos lleva a pensar en su eficacia para el aprendizaje y la maduración cerebral, máxime si tenemos en cuenta que la latencia de los potenciales evocados está asociada con la capacidad en el procesamiento cerebral de la información sensorial y que la onda N200 está asociada con el cambio de funciones del entorno de estímulo, lo que ha sido interpretado como una etapa de filtrado automático para la atención selectiva (Woodman y cols., 2003).

La mejora en los procesos atencionales y de la latencia de la onda N200 en el grupo de control y en los grupos HERVAT va en la línea de otras investigaciones que justifican una gran mejora neurofisiológica del entrenamiento sensorial y cognitivo en la plasticidad cortical y en la mejora del aprendizaje y de la memoria, no solamente en niños (Llorente y cols., 2012), sino también en adultos (Karni y cols., 1991, 1995). En este sentido, sabemos que el cerebro que se estimula a través de ambientes enriquecidos con múltiples y variadas estimulaciones a lo largo de toda la vida se desarrolla mucho más y logra un mayor rendimiento en varios parámetros cognitivos. Diferentes investigaciones (Merzenich y Syka, 2005) han demostrado que la atención es básica para la creación de nuevas conexiones neuronales y para la formación de circuitos cerebrales estables: el establecimiento de circuitos y conexiones neuronales estables y duraderas solamente ocurre cuando se presta atención.

La onda N200 de los potenciales evocados es una onda negativa que aparece alrededor de los 200 milisegundos, umbral asociado con el cambio del entorno de estímulo y que ha sido interpretado como una etapa de filtrado automático para la atención selectiva hacia la novedad (Luck y Hillyard, 1994). Dos procesos cognitivos específicos (selección de la respuesta y el control ejecutivo), ambos de ellos relacionados con la inhibición de respuesta, se han identificado en la onda N200

(Pfefferbaum y cols., 1985; Falkenstein y cols., 1999).

En relación con niños con trastornos con déficit de atención, un estudio llevado a cabo por Soria-Claros y cols. (2016) se encontró, por un lado, una disminución significativa de la latencia del componente N200 en el grupo TDA al final del estudio, mientras que, por otro, se hallaron diferencias significativas en el N200 en áreas temporales parietales y occipitales. La conclusión a la que llegan los autores es que la estimulación táctil de manera sistemática, ordenada y organizada en niños con TDA puede ser efectiva para la mejora de la latencia de los potenciales evocados N200, así como para una mayor plasticidad cerebral parietal, asociada a la atención perceptiva.

Asumiendo la existencia de la neuroplasticidad cerebral como consecuencia de la estimulación ambiental, y considerando que la falta de estimulación conlleva cierto déficit como consecuencia de la hipofuncionalidad cerebral, en el caso de los alumnos de control-TDA los resultados parecen justificar esta falta de hipofuncionalidad, al inicio del curso escolar, en áreas anteriores cerebrales, que se reorganizan al final del curso en el grupo de control y los grupos que han hecho el HERVAT parece justificar con la eficacia del programa (Tomasi y Volkow, 2011). Estos hallazgos también podrían la existencia de una disfunción en los circuitos frontoparietales a nivel funcional en los grupos TDA al inicio del estudio con una mayor participación de áreas posteriores (Durstun, 2003; Bush, 2011).

Por otro lado, el efecto de la hidratación parece haber influido también en los procesos atencionales. Diferentes investigaciones consideran que la hidratación está asociada con procesos cognitivos como la memoria a largo plazo, la memoria de trabajo o las funciones ejecutivas, la correcta ejecución de las tareas y los tiempos de reacción, así como los procesos atencionales visuales y velocidad perceptiva y las pruebas atencionales de contar dígitos y de cancelación de pares de estímulos (Adan, 2012; Perry y cols., 2015).

La influencia de los ejercicios de equilibrio también ha podido incidir en los procesos atencionales y en los procesos de aprendizaje escolar, como por ejemplo la danza, así como en el aprendizaje de habilidades o la mejora del sistema vestibular, tan importante en el aprendizaje escolar (Jensen, 2004).

El ritmo respiratorio constante ayuda a la mejora del procesamiento

de estímulos, de la actividad cerebral y de funciones cognitivas tales como la atención y la memoria en niños y adolescentes con participación de la amígdala y el hipocampo (Joshi y cols., 2008; Marshall y cols., 2014; Zelano y cols., 2016; Garg y cols., 2014).

Una de las justificaciones neurobiológicas más importantes en defensa de los ejercicios oculares es la conexión tan estrecha entre la motilidad ocular y el hipocampo durante la codificación de los estímulos ambientales. En un estudio llevado a cabo por Liu y cols. (2016) en el que se pretendía analizar el número de fijaciones oculares y su asociación con la actividad del hipocampo, se comprobó una correlación positiva, sobre todo ante estimulaciones de contenido nuevo.

La estimulación tonal auditiva tiene particular importancia en los niños con TDAH, en los cuales los procesos de atención están muy deteriorados y la activación de diferentes áreas frontales, premotoras, parietales se encuentra disminuida. Existen trabajos científicos según los cuales la estimulación auditiva puede activar neuronas multimodales asociadas a las áreas premotoras y parietales, sugiriendo que la audición puede estar integrada a nivel de áreas multimodales en una representación del espacio peripersonal (Tseng y cols., 2014). En esta línea, existen estudios que justifican que la estimulación mediante “ruido blanco” podría mejorar las funciones cognitivas y atencionales en los niños con TDAH (Baijot y cols., 2016).

En cuanto a los estímulos táctiles, un estudio llevado a cabo por Soria-Claros y cols. (2015) mediante estimulación táctil pasiva con trece niños ciegos demostró una mayor activación de la actividad cerebral de N200 (componente de los potenciales evocados cognitivos relacionado con el primer procesamiento atencional necesario para discriminar lo relevante de lo irrelevante) en la circunvolución temporal medial derecha y frontal inferior derecha. Asimismo, otro estudio demostró que el entrenamiento táctil en niños ciegos con TDA cambia el patrón de actividad cerebral, induciendo una mayor actividad en las áreas frontales y occipitales, que podría estar asociada a una compensación del déficit de atención (Serrano y cols., 2014). Más recientemente, en otro estudio llevado a cabo por Soria-Claros y cols. (2016) con niños con TDA en edades escolares, se demuestra que los niños que llevaron a cabo un entrenamiento con estimulación táctil pasiva disminuyeron de forma significativa la latencia de las ondas N200, y se encontraron

diferencias significativas en la N200 en el grupo experimental en áreas temporales, parietales y occipitales, áreas relacionadas con la atención espacial.

Como conclusión, podríamos decir que la aplicación del programa neuroeducativo HERVAT contribuye a mejorar significativamente procesos cognitivos, como el factor g de inteligencia, y atencionales, relacionados con la capacidad de control inhibitorio, atención selectiva y concentración. La mejora de la latencia de la onda N200 y la reorganización cerebral de áreas anteriores derechas durante la discriminación multisensorial en los grupos que han hecho el HERVAT y demuestra la eficacia del programa. Asimismo, los niños con TDA que han llevado a cabo el programa HERVAT se benefician significativamente, tanto a nivel cognitivo como neurofuncional, y se acercan al perfil del grupo de control y del grupo HERVAT. Por último, hemos comprobado que los niños del grupo de control-TDA que no han seguido el programa neuroeducativo HERVAT manifiestan un empeoramiento de los procesos cognitivos y atencionales, así como de los neurobiológicos asociados con la onda N200 de los potenciales evocados.

¹⁵ Los potenciales evocados cognitivos (PEC) son respuestas eléctricas del cerebro que constituyen un indicador neurofisiológico del procesamiento cerebral subyacente a un estímulo dado. El registro de PEC permite la valoración de la atención a nivel de la actividad cerebral.

Consideraciones finales

En términos prácticos, cuando queremos que el alumno aprenda algo nuevo deberemos tener presente que la atención necesita una mayor concentración en el menor tiempo posible, mientras que, si el contenido no es nuevo para el alumno y solamente tiene que repasarlo, la atención puede estar más dispersa a lo largo del tiempo.

Por otro lado, la atención no se mantiene constante, sino que presenta un ritmo basado en ciclos que pueden oscilar varias veces al día, incluso varias veces a la hora, lo que da a los procesos atencionales un carácter cíclico. Este carácter cíclico viene influido por el sueño, la nutrición, la hidratación, el ritmo respiratorio, el cansancio, las actividades físicas, los estados emocionales, la estimulación multisensorial, etc. El equilibrio o desequilibrio de estos procesos origina una gran diversidad de estados atencionales a lo largo del día.

Si queremos mejorar nuestros procesos de atención, necesitamos hacer pausas, descansos o estados de relajación cortos a lo largo del día, con pausas de diez minutos cada hora u hora y media, que corresponderían con los ciclos de 90-110 minutos propios del sueño, así como mejorar el estado fisiológico y de las entradas multisensoriales de la información mediante la aplicación del HERVAT al menos seis veces a lo largo de todo el día.

Por último, aunque no menos importante, está la relación de los procesos atencionales y el sistema límbico, responsable de las emociones y las motivaciones. En este sentido, las alteraciones emocionales, las amenazas y el estrés son situaciones que dificultan cualquier proceso atencional y, consecuentemente, el propio aprendizaje escolar. El estrés escolar va a afectar directamente a la atención y, consecuentemente, al aprendizaje. Un niño con estrés, amenazado o alterado emocionalmente tiene dificultades para

seleccionar lo importante y para escoger la información sensorial: permanece en una vigilancia orientada a la supervivencia. Los ojos se vuelven más atentos a la zona periférica, que es la que viene determinada genéticamente para prevenir las amenazas o agresiones. Cualquier ruido puede ser interpretado también como amenaza, un hecho que dificulta cualquier proceso de atención hacia el contenido escolar. La respiración profunda mediante la nariz, así como la visión de caras con sonrisa de Duchenne en la clase contribuirán a mejorar el estado emocional a lo largo de todo el día escolar.

No obstante, y a pesar de que existen diferentes estudios que han demostrado la neuroplasticidad cerebral como consecuencia de estimulaciones externas cerebrales no invasivas, la existencia de problemas atencionales en los niños en la etapa escolar, la organización de la clase, los contenidos y el número de alumnos hacen difícil seguir un programa estimular específico y personalizado para cada niño. Esto es especialmente notable en los niños con déficit de atención, sobre los que todavía existen muchas lagunas a la hora de entender dicha neuroplasticidad, como consecuencia del bloqueo de unas áreas cerebrales posteriores tan importantes en los procesos atencionales.

Para dar una solución a todos estos problemas que plantea el aprendizaje escolar en el contexto de una clase con muchos y diferentes perfiles de alumnos, hemos querido presentar este programa neuroeducativo, que puede aplicarse a todos los niños, incluidos los que tienen déficit de atención. Es sencillo, práctico y corto en el tiempo. Los ejercicios permiten mejorar los procesos atencionales antes de cada contenido de aprendizaje escolar.

Aunque no hemos estudiado experimentalmente el impacto de la participación de los padres, consideramos de suma importancia su implicación en el programa neuroeducativo HERVAT, por lo que recomendamos seis sesiones diarias distribuidas a lo largo de todo el día con una participación diaria más activa de los padres, sobre todo en las tardes y en fines de semana.

Al margen de las evaluaciones pedagógicas y de rendimiento escolar (que pueden estar contaminadas por el efecto de la experimentación, debido a variables como una mayor motivación intrínseca de los escolares hacia el programa o un mayor tiempo de atención y una mejor actitud hacia los alumnos que cursan el programa por parte de los

profesores y padres, lo que verdaderamente justificaría la eficacia de este programa en el contexto educativo sería la disminución de trastornos neuropsicológicos infantiles como la dislexia y el déficit de atención en escolares tras varios cursos de práctica del programa neuroeducativo HERVAT.

En resumen, el afianzamiento del programa neuroeducativo HERVAT en el contexto educativo necesita mucho más tiempo de aplicación y muchas investigaciones para poder dar una respuesta científica lo suficientemente robusta como para poder incluirlo en los sistemas de enseñanza de forma segura y eficaz.

No obstante lo dicho, creemos que la mayor aportación del programa neuroeducativo HERVAT es la generación de hábitos saludables que permitirán una mejora del estado interno del organismo y de los procesos neurofisiológicos asociados con el aprendizaje y la memoria de trabajo y un aumento de estados atencionales asociados con los procesos perceptivos auditivos, visuales y táctiles a lo largo de la vida.

Testimonios de algunos centros

¿Cómo está afectando al día a día de nuestros alumnos la implantación y el desarrollo del proyecto HERVAT?

Los beneficios del programa tienen repercusiones positivas en varios ámbitos. Desde el punto de vista de los resultados académicos, se ha observado una clara mejoría, que se ha manifestado en varios indicadores, sobre todo en el aumento de la nota media de los grupos y en la disminución tanto del porcentaje de alumnos con asignaturas suspensas como del número de alumnos que se apuntan a clases de refuerzo.

Es particularmente relevante el nivel de Matemáticas, cuya mejoría es más objetivable gracias a las comparativas que permiten las pruebas de la Comunidad de Madrid, en las que la nota media de los alumnos suele estar dos puntos por encima de la media.

Es importante destacar que, paralelamente, se ha ido produciendo una paulatina (y, en ocasiones, drástica) disminución de los “deberes para casa”; además, la intención de esos deberes no es tanto que el profesorado pueda “acabar el temario”, sino más bien afianzar en los alumnos hábitos y rutinas de trabajo. En este punto es necesario aclarar

que, junto al programa, nuestros alumnos trabajan de forma cooperativa, dispuestos siempre en equipos de cuatro, lo que influye también muy poderosamente en el rendimiento académico.

Es muy posible que la mejora de la concentración gracias a HERVAT permita que, aun estando en equipos, los alumnos sean capaces de no distraerse y centrarse en su tarea. Pero quizá lo más importante para nosotros sea la mejoría en el comportamiento y en el clima general del aula: la mejora del ambiente del aula fomenta un mayor ritmo de trabajo que se traduce inequívocamente en la mejora de los resultados.

Y eso es precisamente lo que más valoran los alumnos que se incorporan procedentes de otros colegios: el buen ambiente del aula y la acogida que se les dispensa. De nuevo aquí se dan la mano HERVAT y el trabajo en equipo.

Javier Coca. Colegio Liceo Sorolla, de Pozuelo de Alarcón, Madrid.

¿Qué cambios se detectan en el aula a la hora de evaluar las aportaciones de HERVAT?

Los datos ofrecidos por los test y por mediciones de la actividad bioeléctrica cerebral que hemos realizado en nuestro centro constituyen la prueba científica que por sí sola justificaría traer al aula las aportaciones de la neurociencia como el HERVAT; sin embargo, el cambio en la capacidad de atención y concentración de los alumnos, la mejora de la autoestima y el aumento de la motivación y participación en el aula son probablemente las características que se pueden observar con mayor facilidad a simple vista y que suponen el grado de satisfacción mayor para el maestro.

En definitiva, el HERVAT es un proyecto que ya ha nos ha obsequiado con una recompensa tangible, incluso con algunos matices que ni siquiera habíamos previsto de antemano, como es el hecho de que nuestro claustro, a nivel profesional, se siente más unido y coordinado que nunca, creándose una dinámica de cooperación y de intercambio de experiencias, ideas, puntos de vista, herramientas, actividades y materiales pedagógicos realmente enriquecedora para todos.

José Luis Velasco; Colegio de Educación Infantil y Primaria Rayuela. Villanueva del Pardillo, Madrid.

¿Qué mejoras se han observado en los alumnos que han hecho el programa neuroeducativo HERVAT?

Hemos podido observar una mejoría considerable en varios aspectos:

- Ambiente del aula: se ha creado un ambiente agradable y amistoso para el cerebro.
- Autonomía de trabajo: se ha notado una mejoría en la predisposición al trabajo en los alumnos y una mayor autonomía en la realización de tareas.
- Mejor conocimiento de su propio cuerpo: observamos una evolución notable en su propiocepción y en movimientos diarios y concretos, que anteriormente habíamos observado que realizaban con mayor dificultad o incluso no eran capaces de realizar.
- Mejor ejecución en las actividades escolares: su concentración y tiempo en la tarea es mayor, por lo que la ejecución de las actividades se ha mejorado.
- Mayor autocontrol: la oxigenación del cerebro, la calma y tranquilidad que aportan ciertos ejercicios han ayudado a muchos niños a mejorar su autocontrol en ciertas circunstancias.
- Mejora del comportamiento y rendimiento académico: hemos observado una mejoría en este aspecto gracias al trabajo de ambos hemisferios corporales y cerebrales, así como a las consecuencias positivas de las pausas cerebrales, una correcta hidratación y la constancia en la realización de los ejercicios del programa neuroeducativo HERVAT como rutinas diarias.

Sagrario Peña Delgado; directora del Centro de Educación Infantil y Primaria Luis Buñuel. Alcobendas, Madrid.

¿Cómo ha mejorado el programa neuroeducativo HERVAT la práctica docente?

El poder participar en el desarrollo del programa neuroeducativo HERVAT ha sido una experiencia de crecimiento profesional. Para la mayoría de los profesores que han participado ha sido una oportunidad para desarrollar competencias extracurriculares, creando equipos y redes de trabajo más allá del propio centro, coordinando actividades y objetivos del seminario formativo que realizamos para poder implementar el programa con mayor eficacia y conocimiento.

Hemos podido compartir con los propios compañeros de claustro espacios de trabajo que, debido al ritmo de trabajo diario, resultan complicados. Nos ha permitido colaborar al lado de neurocientíficos y conocer otras realidades de las que no éramos sabedores. Ha sido un elemento motivador para que sigamos indagando en el campo de la innovación educativa.

A nivel del aula, en general los resultados son positivos. Los propios alumnos han desarrollado la suficiente autonomía como para llevar ellos a la práctica la realización del programa, que se ha ido integrando en la rutina de trabajo hasta el punto de que ellos son conscientes de en qué momentos lo deben llevar a cabo.

Como dato interesante, hemos observado empíricamente cómo, introduciendo en la rutina de trabajo visual palabras con dificultad ortográfica, obteníamos una mejora significativa en la incorporación a nivel del almacenamiento de palabras.

Juan Antonio Sánchez Moreno, *Colegio Alborada. Alcalá de Henares, Madrid.*

¿Cómo influye el programa neuroeducativo HERVAT en los alumnos con necesidades específicas de apoyo educativo?

La experiencia se ha llevado a cabo en un centro rural agrupado formado por tres pueblos de la sierra norte de Madrid: Valdemanco, Navalafuente y Cabanillas de la Sierra. Se ha observado que los alumnos mejoran de manera inmediata su atención y disposición hacia las tareas que vamos a realizar. Es una forma de organizarse y relajarse.

El programa HERVAT favorece la organización personal y el rendimiento de nuestros alumnos; por ello nuestra valoración es muy positiva. Confirmamos, fruto de la observación de cada una de las sesiones del programa, que los alumnos con dificultades en el lenguaje yerran más en la realización de los ejercicios de equilibrio, tanto estático como dinámico.

Ana María González Cabero, M.^a Ángeles Guitián Muñoz, Esther Porras Ortega, Nagore Martínez Fernández, Cristina M.^a Pidal Altés, Virginia Sacristán Martín, Eva Benito Martínez y Patricia Vega Romero; *Centro Rural Agrupado de Cabanillas de la Sierra, Madrid.* **¿Cómo ayuda el programa neuroeducativo HERVAT al aprendizaje de la lectoescritura?**

Los niños han conseguido hacer funcionar como una unidad las dos manos, los pies, los ojos, las dos vías auditivas, etc. Esto ha permitido una mejor función e integración del esquema corporal que será el referencial para orientarse en el espacio y en el tiempo.

El programa HERVAT ha contribuido a alcanzar un buen nivel de desarrollo del lenguaje hablado, una mejora en la dominancia lateral diestra o zurda, y bases para construir y orientar formas en el espacio como proceso educativo previo en el aprendizaje de la lectura, la escritura y el cálculo.

Asimismo, ha permitido detectar de forma precoz muchos problemas neurofuncionales que, más adelante, si no se resuelven, contribuyen a engrosar el capítulo de los niños que, a pesar de su inteligencia, padecen problemas de bajo rendimiento y de fracaso escolar, con todas las consecuencias que ello comporta en el campo del desarrollo personal y afectivo.

Pilar Valor; *directora del Colegio de Educación Infantil y Primaria Chozas de la Sierra, Soto del Real, Madrid.*

Agradecimientos

Ninguna gran obra la lleva a cabo una sola persona, sino que es *el conjunto del trabajo de muchas mentes trabajando juntas*. Este libro no habría sido posible sin la participación de muchas personas que se han entusiasmado con el desarrollo del programa neuroeducativo HERVAT.

En primer lugar, quiero dar gracias a todos los niños que están llevando a cabo el programa HERVAT; además de servirles para mejorar su capacidad de aprendizaje durante la etapa escolar, los ayudará a generar hábitos saludables que les permitirán un desarrollo cerebral equilibrado a lo largo de toda su vida.

En segundo lugar, quisiera agradecer a la Consejería de Educación y a la Fundación para el Conocimiento Madrid+d, de la Comunidad de Madrid, el esfuerzo institucional que han hecho para que este programa pudiese ser hoy una realidad en los colegios de nuestra Comunidad. Y, en especial, quiero agradecer el esfuerzo de Lucía Figar por su visión política, al entender la importancia de la neurociencia en la educación de nuestros niños, y por su confianza en mis conocimientos sobre neurociencia y su aplicación en la escuela.

En tercer lugar, quisiera agradecer a todos los inspectores de educación, directores de centros, profesores y padres su continuo y constante esfuerzo, entusiasmo y confianza en este programa.

Quiero agradecer personalmente la atención de José Antonio Marina, quien ha accedido a escribir el prólogo de este libro.

Saber comunicar por escrito una idea es una labor compleja; por eso, mi agradecimiento a Carlos Salas por haber corregido el original y ayudado a que la lectura fuese más asequible a todos los profesionales de la educación.

Por último, aunque no por ello menos importante, mi cariño más sincero a todo mi equipo de colaboradores que han participado en el

programa neuroeducativo HERVAT y que, por ser tantos, no puedo nombrar aquí; en todo caso, a lo largo de las páginas del libro queda constancia de sus aportaciones.

Y ya para terminar, mi más sincero agradecimiento a la Editorial SM, y en particular a Adolfo y Augusto, por su confianza en mi trabajo, y al esfuerzo, cariño y dedicación que Sonia ha puesto para que este libro llegue a buen puerto.

Centros que participan en la aplicación del programa¹⁶

- CEIP Rayuela (Villanueva del Pardillo):
<http://www.educa2.madrid.org/web/centro.cp.rayuela.villanuevadelpar-neurociencia>
- CEIP Luis Buñuel (Alcobendas):
<https://sites.google.com/site/ceipluisbunuel/educacion-infantil/neurociencia>
- CEIP Chozas de la Sierra (Soto del Real):
<http://www.colegiochozasdelasierra.com>
- CRA (Cabanillas de la Sierra):
<http://www.educa2.madrid.org/web/centro.cra.cabanillas/neurociencia>
- CEIP Arco de la Sierra (El Molar):
<http://www.educa2.madrid.org/web/centro.cp.arcodelasierra.elmolar/n-aplicada-a-la-educacion>
- CEIP Gabriel García Márquez (Tres Cantos):
<https://colegiogarciamarquez.jimdo.com/proyecto-neuroeducación-en-infantil/>
- CEIP Jonathan Galea (Algete):
<http://www.educa2.madrid.org/web/cp.jonathangalea/proyectos>
- CEIP Marqués de Suanes (Madrid):
<http://www.educa2.madrid.org/web/centro.cp.marquesdesuanes.mad-neuroeducacion-herat>
- CEIP Clara Campoamor (Alcorcón):
<http://www.educa2.madrid.org/web/centro.cp.claracampoamor.alcorco>
- CEIP Claudio Sánchez Albornoz (Alcorcón):
http://ceipclaudiosanchezalbornoz.blogspot.com.es/p/blog-page_60.html
- CEIP Chaves Nogales (Alcorcón):

<http://www.educa2.madrid.org/web/centro.cp.chavesnogales.alcorcon/>

- CEIP Fernando de los Ríos (Alcorcón):
<http://www.binform.net/clientes/colegiofernandodelosrios/planes>
- Colegio Santísima Trinidad (Alcorcón):
<http://www.alcorcon.colegiotrinitarios.com/content/proyecto-neurociencia>
- Colegio Liceo Sorolla (Pozuelo de Alarcón):
<http://colegioliceosorolla.es/proyecto-educativo/>
- Colegio Alborada (Alcalá de Henares):
<http://www.colegioalborada.es>
<https://www.innovaalborada.com/single-post/2017/01/18/Alborada-centro-del-programa-HERVAT>

¹⁶ Proyecto NeuroEducación en Educación (Comunidad de Madrid).

<http://aulavirtual32.educa.madrid.org/proyectoneuroeducacion/>

Referencias bibliográficas

Capítulo 1

- BERTELETTI, I., BOOTH, J.R.: *Perceiving fingers in single-digit arithmetic problems*. *Front. Psychol.*; 6: 226, 2015.
- DANNA, J. y VELAY, J.L.: *Basic and supplementary sensory feedback in handwriting* *Front. Psychol.*; 6:169, 2015.
- EDELMAN, B.J.; BAXTER, B. y BIN HE: *EEG Source Imaging Enhances the Decoding of Complex Right-Hand Motor Imagery Tasks*. *IEEE Trans Biomed Eng*; 63 (1): 4-14, 2016.
- GHEUSI, G. y ROCHEFORT, C.: *Neurogenesis in the adult brain. Functional consequences*. *Journal of the Society of Biology*; 196(1): 67-76, 2002.
- GLANNON, W.: *Neuromodulation, agency and autonomy*. *Brain Topogr.* 27, 46-54, 2014.
- GREENWOOD, R.S. y PARENT, J.M.: *Damage control: the influence of environment on recovery from brain injury*. *Neurology* 12; 59(9): 1302-1303, 2002.
- GOSWAMI, U.: *Educational neuroscience: neural structure-mapping and the promise of oscillations*. *Curr. Opin. Behav. Sci.* 10: 89-96, 2016.
- HABIB, CHLOÉ; LARDY, TRISTAN; DESILES, CÉLINE; COMMEIRAS; CHOBERT, JULIE y BESSON, MIREILLE: *Music and Dyslexia: A New Musical Training Method to Improve Reading and Related Disorders*. *Front. Psychol.*, 22 January, en <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00026>, 2016.
- YLINEN, S. y KUJALA, T.: *Neuroscience illuminating the influence of auditory or phonological intervention on language-related deficits* *Front. Psychol.*, <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00137>, 17 de febrero de 2015.
- WILLY SERNICLAES, GREGORY COLLET y LILIANE SPRENGER-CHAROLLES: *Review of neural rehabilitation programs for dyslexia: how can an allophonic system be changed into a phonemic one?* *Front. Psychol.*, en

<http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00190>, 24 February 2015.

- M. C. FONSECA-MORA, PILAR JARA-JIMÉNEZ y MARÍA GÓMEZ-DOMÍNGUEZ: *Musical plus phonological input for young foreign language readers* *Front. Psychol.*, en <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00286>, 24 de febrero de 2015.
- CLÉMENT, FRANÇOIS; GRAU-SÁNCHEZ, JENNIFER; DUARTE, ESTHER Y RODRÍGUEZ-FORNELLS, ANTONI: *Musical training as an alternative and effective method for neuro-education and neuro-rehabilitation* *Front. Psychol.*, en <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00475>, 28 de abril de 2015.
- KRAUS, NINA; HORNICKEL, JANE; STRAIT, DANA L.; SLATER, JESSICA y THOMPSON, ELAINE: *Engagement in community music classes sparks neuroplasticity and language development in children from disadvantaged backgrounds* *Front. Psychol.*, en <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01403>, 16 de diciembre de 2014.
- OSBORNE, LESLIE, C.; LISBERGER, STEPHEN G. y BIALEK, WILLIAM: *A sensory source for motor variation*. *Nature* 437, 412-416doi:10.1038/nature 03961, 15 de septiembre de 2005.
- FRANCK VIDAL, CÉDRIC MECKLER y THIERRY HASBROUCQ: *Basics for sensorimotor information processing: some implications for learning* *Front. Psychol.*, en <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00033>, 16 de febrero de 2015.
- VAN PRAAG H.; CHRISTIE, B.R.; SEJNOWSKI ,T.J. y GAGE, F.H.: *Running enhances neurogenesis, learning, and long-term potentiation in mice*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 9, 96: 13427-13431, 1999.

Capítulo 2

- BRINGAS, M. L.; ZALDÍVAR, M.; ROJAS, P. A., MARTÍNEZ-MONTES, K.; CHONGO, D. M.; ORTEGA, M. A. ET AL.: *Effectiveness of music therapy as an aid to neurorestoration of children with severe neurological disorders*. *Front Neurosci*; 9: 427. doi: 10.3389/fnins.2015.00427, 2015.
- DAVIDSON, R. J. y McEWEN, B. S.: *Social influences on neuroplasticity: stress and interventions to promote well-being*. *Nat Neurosci*; 15: 689-695. doi: 10.1038/nn.3093, 2012.
- GROSSBERG, S., PAINE, R.W.: *A neural model of cortico-cerebellar interactions during attentive imitation and predictive learning of sequential handwriting movements*. *Neural Netw*; 13 (8-9): 999-1046, 2000.
- GRUZELIER, J. H.: *EEG-neurofeedback for optimising performance. I: a review of*

cognitive and affective outcome in healthy participants. Neurosci Biobehav Rev; 44: 124-141, 2014.

- MADIGAN, K.: *Buyer beware: too early to use brain-based strategies. Basis Education Online Edition 45, Oregon, 2001.*
- LLORENTE, C.; OCA, J.; SOLANA, A., y ORTIZ, T.: *Mejora de la atención y de áreas cerebrales asociadas en niños de edad escolar a través de un programa neurocognitivo. Participación Educativa; 1: 47-59, 2012.*
- MORA, F.: *Neuroeducación. Madrid: Alianza Editorial, 2013.*
- ORTIZ, T.: *Neurociencia y educación. Madrid: Alianza Editorial, 2010.*
- ORTIZ, T.; POCH; J., SANTOS, J.M.; REQUENA, C.; MARTÍNEZ, A.M., ORTIZ-TERÁN, L., ET AL.; *Recruitment of occipital cortex during sensory substitution training linked to subjective experience of seeing in people with blindness. PLoS One; 6 (8): e23264, 2011.*
- SÄRKÄMÖ, T., TERVANIEMI, M., LAITINEN, S., FORSBLOM, A., SOINILA, S., MIKKONEN, M., ET AL.: *Music listening enhances cognitive recovery and mood after middle cerebral artery stroke. Brain; 131: 866-876. doi: 10.1093/brain/awn013, 2008.*
- VUILLEUMIER, P., SANDER, D., BAERTSCHI, B.: *Changing the brain, changing the society: clinical and ethical implications of neuromodulation techniques in neurology and psychiatry. Brain Topogr; 27: 1-3. doi: 10.1007/s10548-013-0325-7, 2014.*
- FUSTER, J.: (2014). *Cerebro y libertad. Barcelona: Ariel, 2014.*

Capítulo 3

- COLCOMBE, SJ., KRAMER, AF., ERICKSON, KI., SCALE, P., MCAULEY, E., COHEN, NJ., ET AL.: *Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. Proc Natl Acad Sci U S A.; 101(9): 3316-3321, 2004.*
- COLVERT, E., RUTTER, M., KREPPNER, J., BECKETT, C., CASTLE, J., GROOTHUES, C., HAWKINS, A., STEVENS, S., SONUGA-BARKE, E.J.: *Do theory of mind and executive function deficits underlie the adverse outcomes associated with profound early deprivation?: findings from the English and Romanian adoptees study. J Abnorm Child Psychol.; 36(7):1057-68, 2008.*
- FELDMAN, D.E. y BRECHT, M.: *Map plasticity in somatosensory cortex. Science 4, 310: 810-815, 2005.*
- GÓMEZ-PINILLA, F., YING, Z., OPAZO, P., et al., *Diferencial regulation by exercise*

- of BDNF and NT-3 in rat spinal cord and skeletal muscle, *Eur J Neurosci*, , 13: pp. 1078-1084, 2001.
- GHEUSI, G. y ROCHEFORT, C.: Neurogenesis in the adult brain. Functional consequences. *Journal of the Society of Biology* 196(1): 67-76, 2002.
 - JENKINS, W.M., MERZENICH, M.M., OCHS, M.T., ALLARD, T., GUÍC-ROBLES, E.: Functional reorganization of primary somatosensory cortex in adult owl monkeys after behaviorally controlled tactile stimulation. *J Neurophysiol.* Jan;63(1):82-104, 1990.
 - JENSEN, E.: *Cerebro y aprendizaje*. Narcea, Madrid, 2008
 - MAHNCKE, H.W., CONOR, B.B., APPELMAN, J., AHSANUDDIN, A.N., HARDY, J.L., WORD, R.A., JOYCE, N.M., BONISKE, T., ATKINS, S.M. y MERZENICH, M.: Memory enhancement in healthy older adults using a brain plasticity-based training program: a randomized controlled study. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103, 33: 12523-12528, 2006.
 - MANFRED Spitzer: *Aprendizaje: neurociencia y la escuela de la vida*. Omega, 2005.
 - J. MISHRA, R. SAGAR, A.A. JOSEPH, A. GAZZALEY, y M.M. MERZENICH. Training sensory signal-to-noise resolution in children with ADHD in a global mental health setting. *Translational Psychiatry* 6, e781; doi:10.1038/tp.2016.45, 2016.
 - RAMÓN Y CAJAL, S.: *Textura del Sistema Nervioso del hombre y de los vertebrados*. Gobierno de Aragón. 1904 Zaragoza, 1.^a edición (edición facsímil de 1899).
 - RECANZONE, G.H., MERZENICH, M.M., JENKINS, W.M., GRAJSKI, K.A., DINSE, H.R.: Topographic reorganization of the hand representation in cortical area 3b owl monkeys trained in a frequency-discrimination task. *J Neurophysiol.* May;67(5):1031-56, 1992.
 - TREJO, J.L, CARRO, E., TORRES-ALEMÁN, I: Circulating insulin-like growth factor I mediates exercise-induced increases in the number of new neurons in the adult hippocampus, *J Neurosci* , 21: pp. 1628-1634, 2001.
 - VAN PRAAG, H., CHRISTIE, B.R., SEJNOWSKI, T.J. y GAGE, F.H.: Running enhances neurogenesis, learning, and long-term potentiation in mice. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96, 96: 13427-13431, 1999.

Capítulo 4

- ADLEMAN, N.E., MENON, V., BLASEY, C.M., WHITE, C.D., WARSOFSKY, I.S., GLOVER, G.H., REISS, A.L.: *A developmental fMRI study of the Stroop color-word task*. Neuroimage. May;16(1):61-75, 2002.
- FISCHER, K., ROSE, S.P.: *Concurrent cycles in the dynamic development of brain and behavior*. SRCD Newsletter, fall, 3- 4,15-16, 1995.
- GIEDD, J.N.: *Structural Magnetic Resonance Imaging in adolescent Brain*, Annals of the New York Academic of Sciences, vol, 1021, 77-85, 2004.
- GOGTAY, N., GIEDD, J.N., LUSK, L., HAYASHI, K.M., GREENSTEIN, D., VAITUZIS, A.C., NUGENT III, T.F., HERMAN, D.H., CLASEN, L.S., TOGA, A.W., RAPOPORT, J.L., THOMPSON, P.M. *Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood*. Proc Natl Acad Sci., 101 (21), 8174-8179, 2004.
- KISILISKY, B. S., HAINS, S. M. J., JACQUES, A. C., GRANIER-DEFERRE, C., y LECANUET, J. P.: *Maturation of Fetal Responses to Music*. Development Science, Vol 7(5), 550-559, 2004.
- OLESEN, P.J., WESTERBERG, H., KLINGBERG, T.: *Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory*. Nat Neurosci. Jan;7(1):75-9, 2004.
- PENA, M., MAKI, A., KOVACIC, D., DEHAENE-LAMBERTZ, G., KOIZUMI, F., BOUQUET, F. y MEHLER, J.: *Sounds and silence: on optical topography study of language reconition a birth*. Proc Natl Acad Sci. vol, 100, 20, 11702-11705, 2003
- PETRIDES, M., PANDYA, D.N.: *Association pathways of the prefrontal córtex and functional observations*. En Stuss DT, Knight RT (eds). Principles of frontal lobe function. New York: Oxford University Press;. p. 31-50, 2002.
- RAMÓN Y CAJAL, SANTIAGO: *Recuerdos de mi vida. Historia de mi labor científica*. Alianza Editorial, 2008.
- SOWELL, E.R., THOMPSON, P.M., TOGA, A.W.: *Mapping changes in the human córtex throughout the span of life*, Neuroscientist. Aug;10(4):372-92, 2004.
- SOWELL, E.R., DELIS, D., STILES, J., JERNIGAN, T.L.: *Improved memory functioning and frontal lobe maturation between childhood and adolescence: a structural MRI study*. J Int Neuropsychol Soc. Mar;7(3):312-22, 2001.
- SOWELL, E.R., THOMPSON, P.M., LEONARD, C.M., WELCOME, S.E., KAN, E., TOGA, A.W.: *Longitudinal mapping of cortical thickness and brain growth in*

normal children. *J Neurosci.* Sep 22;24(38):8223-31, 2004.

- TAMM, L., MENON, V., REISS, A.L.: *Maturation of brain function associated with response inhibition.* *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry.* Oct;41(10):1231-8, 2002.

Capítulo 5

- BAUMGARTNER, T., LUTZ, K., SCHMIDT, C. F., JÄNCKE, L.: *The emotional power of music: how music enhances the feeling of affective pictures.* *Brain Res.* 1075, 151-164, 2006.
- BOUHUYS, A. L., BLOEM, G. M., GROOTHUIS, T. G. G.: *Induction of depressed and elated mood by music influences the perception of facial emotional expressions in healthy subjects.* *J. Affect. Disord.* 33, 215-225, 1995.
- DUCHENNE, B.: *The mechanism of human facial expression.* Ed. A. Cuthbertson, Trans. New York: Cambridge University Press. (Original work published 1862), 1990.
- DIMBERG, U. y PETERSON, M.: *Facial reactions to happy and angry facial expressions: Evidence for right hemisphere dominance.* *Psychophysiology,* 37, 693- 696, 2000.
- EKMAN, P., FRIESEN, W. V., ANCOLI, S.: *Facial signs of emotional experience.* *Journal of Personality and Social Psychology,* 39, 1125- 1134, 1980.
- EKMAN, P., DAVIDSON, R.J., y FRIESEN, W. V.: *The Duchenne Smile: Emotional Expression and Brain Physiology II.* *Journal of Personality and Social Psychology* Vol. 58, No. 2, 342-353, 1990.
- HEAD, J., NEUMANN, E., HELTON, W.S., SHEARS, C.: *Novel word processing.* *Am J Psychol.* Fall; 126 (3): 323-33, 2013.
- JEONG, J. W., DIWADKAR, V. A., CHUGANI, C. D., SINSONGSUD, P., MUZIK, O., BEHEN, B. E., ET AL. (2011). *Congruence of happy and sad emotion in music and faces modifies cortical audiovisual activation.* *Neuroimage;* 54: 2973-2982, 2011-
- NUMMENMAA, L., GLEREAN, E., HARI, R., HIETANEN, J.K.: *Bodily maps of emotions.* *Proc Natl Acad Sci U S A;* 111 (2): 646-51, 2014.
- LEDOUX, J.E.: *Emotional networks in the brain.* En M. Lewis y J.M. Haviland (Eds.), *Handbook of emotions.* New York: Guilford Press, 1993.
- LEDOUX, J.E.: *Cognitive-emotional interactions in the brain.* *Cognition and Emotion,* 3, 267-289.

- LI, J., LIU, J., LIANG, J., ZHANG, H., ZHAO, J., HUBER, D. E., ET AL. (2009): *A distributed neural system for top-down face processing*. *Neurosci. Lett.* 451, 6-10, 1989.
- MÜLLER, V., CIESLIK, E., TURETSKY, B. I., EICKHOFF, S. B. (2012). *Crossmodal interactions in audiovisual emotion processing*. *Neuroimage* 60, 553-561.
- NIEDENTHAL, P. M. (2007). *Embodying emotion*. *Science* 316, 1002-1005.
- SCHACHTER, S., SINGER, J.E.: *Cognitive, social, and physiological determinants of emotional state*. *Psychol Rev.* 1962 Sep;69:379-99
- SILBERMAN, E.K. y WEINGARTNER, H. (1986): *Hemispheric lateralization of functions related to emotion*. *Brain and Cognition*, 5, 322-353.
- ZACHARY A. YAPLE, ROMAN VAKHRUSHEV, y JACOB JOLIJ (2016): *Investigating Emotional Top Down Modulation of Ambiguous Faces by Single Pulse TMS on Early Visual Cortices*. *Front Neurosci.* 2016; 10: 305.
- ZOCCOLOTTI, P., CALTAGIRONE, C., PECCHINENDA, A. y TROISI, E. (1993): *Electrodermal activity in patients with unilateral brain damage*. En J.C. Roy, W. Boucsein, D.C. Fowles y J.H. Gruzelier (Eds.), *Progress in electrodermal research*. New York: Plenum Press.

Capítulo 6

- BORN, J., RASCH, B., GASI, S.: *Sleep to remember*, *Neuroscientist*, 2006, 12, 410-24.
- IAN G. CAMPBELL y IRWIN FEINBERG: *Longitudinal trajectories of non-rapid eye movement delta and theta EEG as indicators of adolescent brain maturation*. *PNAS*. March 31, 2009 vol. 106 no.13 5177-5180).
- CHEE, M.W.L., CHOO, C.W.: *Functional imaging of working memory after 24 hours of total sleep deprivation*. *J Neurosci* 2004; 24: 4560-7.
- DOMÍNGUEZ, L. y DOMÍNGUEZ, E.: *Enseñar a dormir a los niños*, Espasa, Madrid, 2007.
- DRUMMOND, S.P.A., BROWN, G.G.: *The effects of total sleep deprivation on cerebral response to cognitive performance*. *Neuropsychopharmacology* 2001; 25: S68-73.
- DRUMMOND, S.P.A., BROWN, G.G., GUILLIN, J.C., STRICKER, J.L., WONG, E.C., BUXTON, R.B.: *Altered brain response to verbal learning following sleep deprivation*. *Nature* 2000; 403: 655-7.
- HUBER, R., GHILARDI, MF., MÁSSIMINI, M. y TONONI, G.: *Local sleep and learning*,

Nature, 2004, 430, 6995, 78-81.

- JI, D. y WILSON, MA.: *Coordinated memory replay in the visual cortex and hippocampus during sleep*. Nature Neuroscience, 2007, 10, 1, 100-107.
- KRUEGER, J.M., OBÁL, F., KAPÁS, L., FANG, J.: *Brain organization and sleep function*. Behav Brain Res 1995; 69: 177-85.
- LOUIE, K., WILSON, M.A.: *Temporally structured replay of awake hippocampal ensemble activity during rapid eye movement sleep*. Neuron 2001; 29: 145-56.
- MARSHALL, L., HELGADOTTIR, H., MOLLE, M. y BORN, J.: *Boosting slow oscillations during sleep potentiates memory*, Nature, 2006, 444, 19, 7119, 610-613.
- C.J. MONTES-RODRÍGUEZ, P.E. RUEDA-OROZCO, E. URTEAGA-URÍAS, R. AGUILAR-ROBLERO, O. PROSPERO-GARCÍA: *De la restauración neuronal a la reorganización de los circuitos neuronales: una aproximación a las funciones del sueño* REV NEUROL 2006; 43 (7): 409-415.
- PALLER, K.A., VOSS, J.L.: *Memory reactivation and consolidation during sleep*. Learn Mem., 2004, 11(6), 664-670.
- RAUCHS, G., BERTRAN, F., GUILLERY-GIRARD, B., DESGRANGES, B., KERROUCHE N., DENISE, P., FORET, J., EUSTACHE, F.: *Consolidation of strictly episodic memories mainly requires rapid eye movement sleep*, Sleep, 2004, 1, 27 (3), 395-401.
- TAKEUCHI, M., FURUTA, H., SUMIYOSHI, T., SUZUKI, M., OCHIAI, Y., HOSOKAWA, M., ET AL. (2014): *Does sleep improve memory organization?* Front Behav Neurosci; 8: 65.
- TONONI, G., CIRELLI, C.: *Sleep and synaptic homeostasis: a hypothesis*. Brain Res Bull 2003; 62: 143-50.
- YOO, SS., HU, PT., GUJAR, N., JOLESZ, FA., WALTER, MP.: *A déficit in the ability to form new human memories without sleep*, Nat. Neurosci. 2007, 10(3), 385-392.

Capítulo 7

- ADOLPHUS, K., LAWTON, C.L., DYE, L. (2013): "The effects of breakfast on behavior and academic performance in children and adolescents". Frontiers in Human Neuroscience 7, 425.
- ADOLPHUS, K., LAWTON, C.L., DYE, L. (2015): "The relationship between habitual breakfast consumption frequency and academic

- performance in British adolescents”. *Frontiers in Public Health* 3, 68.
- EDEFONTI, V., ROSATO, V., PARPINEL, M., NEBBIA, G., FIORICA, L., FOSSALI, E., FERRARONI, M., DECARLI, A., AGOSTONI, C.: *The effect of breakfast composition and energy contribution on cognitive and academic performance: a systematic review*. *Am J Clin Nutr.*; 100(2):626-56. doi: 10.3945/ajcn.114.083683, Agosto de 2014.
 - GÓMEZ-PINILLA, F., TYAGI, E.: *Diet and cognition: interplay between cell metabolism and neuronal plasticity*. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* 16(6), 726-733, 2013.
 - KHOR, G.L., MISRA, S.: *Micronutrient interventions on cognitive performance of children aged 5-15 years in developing countries*. *Asia Pac J Clin Nutr.*;21(4):476-86, 2012.
 - MEEUSEN, R.: *Exercise, nutrition and the brain*. *Sports Medicine* 44(1), 47-56, 2014.
 - MONTGOMERY, P. ET AL.: *Low blood long chain omega-3 fatty acids in UK children are associated with poor cognitive performance and behavior: a cross-sectional analysis from the DOLAB study*. *PLoS One* 8(6), 2013.
 - NOBLE, K. G. ET AL.: *Family income, parental education and brain structure in children and adolescents*. *Nature Neuroscience* 18(5), 773-778, 2015.
 - ORTIZ, TOMÁS: *Neurociencia y educación*. Madrid: Alianza Editorial, 2010.
 - PORTILLO-REYES, V., PÉREZ-GARCÍA, M., LOYA-MÉNDEZ. Y., PUENTE. A.E.: *Clinical significance of neuropsychological improvement after supplementation with omega-3 in 8-12 years old malnourished Mexican children: a randomized, double-blind, placebo and treatment clinical trial*. *Res Dev Disabil.* 35(4):861-70. doi: 10.1016/j.ridd.2014.01.013. Epub 2014 Feb 6, abril de 2014.
 - RAMPERSAUD, G.C., PEREIRA, M.A., GIRARD, B.L., ADAMS, J., METZL J.D.: *Breakfast habits, nutritional status, body weight, and academic performance in children and adolescents*. *J Am Diet Assoc.* May;105(5):743-62, 2005.
 - TARAS, H.: *Nutrition and student performance at school*. *J Sch Health.* 75(6):199-213, agosto de 2005.
 - WABER, D.P. ET AL.: *Impaired IQ and academic skills in adults who experienced moderate to severe infantile malnutrition: A 40-year study*. *Nutritional Neuroscience* 17, 58-64, 2014.
 - WESNES, K.A., PINCOCK, C., RICHARDSON, D., HELM, G., HAILS, S.: *Breakfast*

reduces declines in attention and memory over the morning in schoolchildren, *Appetite*, 41, 3, 329-331, 2003.

- WESNES, K.A., PINCOCK, C., SCHOLEY, A.: *Breakfast is associated with enhanced cognitive function in schoolchildren. An internet based study*. *Appetite*. 59(3):646-9. doi: 10.1016/j.appet.2012.08.008, diciembre de 2012.
- YOUNG, H., y BENTON, D.: *The effect of using isomaltulose (Palatinose™) to modulate the glycaemic properties of breakfast on the cognitive performance of children*. *Eur J Nutr*.54(6):1013-20. doi: 10.1007/s00394-014-0779-8, septiembre de 2015.

Capítulo 8

- BEISTEINER, R., HÖLLINGER, P., LINDINGER, G., LANG, W., BERTHOZ, A.: *Mental representations of movements. Brain potentials associated with imagination of hand movements*. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 96(2):183-93, 1995.
- BRADLEY, J., EDELMAN, BRYAN BAXTER, BIN HE, EEG.: *Source Imaging Enhances the Decoding of Complex Right-Hand Motor Imagery Tasks*. *IEEE Trans Biomed Eng*. 63(1):4-14. Enero de 2016.
- CAULFIELD, M.D., ZHU, D.C., MCAULEY, J.D., SERVATIUS, R.J.: *Cerebellar response to familiar and novel stimuli: An fMRI study*. *Behav Neurosci*.130(6):585-592, diciembre de 2016.
- COLCOMBE, S.J., ERICKSON, K.I., SCALF, P.E., KIM, J.S., PRAKASH, R., MCAULEY, E., ET AL.: *Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans*. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 61:1166-70. doi:10.1093/gerona/61.11.1166, 2006.
- COOPER, S.B., BANDELOW, S., NUTE, M.L., DRING, K.J., STANNARD, R.L., MORRIS, J.G., NEVILL, M.E.: *Sprint-based exercise and cognitive function in adolescents*. *Prev Med Rep*. 7;4:155-61, junio de 2016.
- COTMAN, C.W., BERCHTOLD, N.C.: *Exercise: a behavioral intervention to enhance brain health and plasticity*. *Trends Neurosci* 25:295-301 , 2002.
- CHADDOCK-HEYMAN, L., ERICKSON, K.I., HOLTROP, J.L., VOSS, M.W., PONTIFEX, M.B., RAINE, L.B., ET AL.: *Aerobic fitness is associated with greater white matter integrity in children*. *Front Hum Neurosci* 8:584, 2014.
- DAVIS, C.L., COOPER, S.: *Fitness, fatness, cognition, behavior, and academic achievement among overweight children: Do cross-sectional associations*

correspond to exercise trial outcomes? *Prev Med.* 1; 52(Suppl 1): S65–S69), junio de 2011.

- DOYON J., BENALI, H.: *Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills.* *Curr Opin Neurobiol* 15(2):161-7, 2005.
- EELCO V. VAN DONGEN, INGRID H.P. KERSTEN, ISABELLA C. WAGNER, RICHARD G.M. MORRIS, y GUILLEN FERNANDEZ: *Physical Exercise Performed Four Hours after Learning Improves Memory Retention and Increases Hippocampal Pattern Similarity during Retrieval.* *Current Biology.* 11. 26, 1722-1727, julio de 2016.
- ERICKSON, K.I., VOSS, M.W., PRAKASH, R.S., BASAK, C., SZABO, A., CHADDOCK, L., ET AL.: *Exercise training increases size of hippocampus and improves memory.* *PNAS* 108: 3017-22, 2011.
- FIEZ, J.A.: *The cerebellum and language: Persistent themes and findings.* *Brain Lang.*; 161:1-3, octubre de 2016.
- GARBARINI, F., ADENZATO, M.: *At the root of embodied cognition: cognitive science meets neurophysiology.* *Brain Cogn* 56:100-6, 2004.
- GÓMEZ-PINILLA, F., YING, Z., OPAZO, P., ET AL.: *Diferencial regulation by exercise of BDNF and NT-3 in rat spinal cord and skeletal muscle,* *Eur J Neurosci,* 13: pp. 1078-1084, 2001.
- GOW, A.J., BASTIN, M.E., MANIEGA, S.M., HERNÁNDEZ, M.C.V., MORRIS, Z., MURRAY, C., ET AL.: *Neuroprotective lifestyles and the aging brain: activity, atrophy, and white matter integrity.* *Neurology.* 79: 1802-8. doi:10.1212/WNL.0b013e3182703fd2, 2012.
- HILLMAN, C.H., ERICKSON, K.I., KRAMER, A.F.: *Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition.* *Nat Rev Neurosci* 9:58-65, 2008.
- HILLMAN, C.H., BUCK, S.M., THEMANSO, J.R., PONTIFEX, M.B., CASTELLI, D.M.: *Aerobic fitness and cognitive development: event-related brain potential and task performance indices of executive control in preadolescent children.* *Dev Psychol* 45:114-29, 2009.
- JEANNEROD, M.: *The representing brain: neural correlates of motor intention and imagery.* *Behav Brain Sci* 17:187-245, 1994.
- JEANNEROD, M.: *Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition.* *Neuroimage* 14:103-9, 2001.
- JENSEN, E.: *Cerebro y aprendizaje,* Narcea, Madrid, 2008.
- KEELE, S.W., IVRY, R., MAYR, U., HAZELTINE, E., HEUER, H.: *The cognitive and*

neural architecture of sequence representation. Psychol Rev (2003)

- KRAMER, A.F., ERICKSON, K.I.: *Capitalizing on cortical plasticity: influence of physical activity on cognition and brain function. Trends Cogn Sci 11(8):342-8, 2007.*
- LAURI NUMMENMAA, ENRICO GLERAN, RIITTA HARI, y JARI K. HIETANEN: *Bodily maps of emotions. PNAS, vol. 111, no. 2. 646-651, enero 2014.*
- LEISMAN, G., BRAUN-BENJAMIN, O., MELILLO, R.: *Cognitive-motor interactions of the basal ganglia in development. Front Syst Neurosci 8:16. doi:10.3389/fnsys.2014.00016, 2014.*
- LEISMAN, G., MOUSTAFA, A.A., SHAFIR, T.: *Thinking, Walking, Talking: Integratory Motor and Cognitive Brain Function. Front Public Health. 25;4:94, mayo de 2016.*
- LLINÁS, R.: *El cerebro y el mito del yo. Grupo Editorial Norma, Bogotá. 2003.*
- MCDONNELL, M.N., BUCKLEY, J.D., OPIE, G.M., RIDDING, M.C., SEMMLER, J.G.: *A single bout of aerobic exercise promotes motor cortical neuroplasticity. J Appl Physiol 114(9): 1174-82. doi:10.1152/jappphysiol.01378.2012, 2013.*
- MENDOZA, G., MERCHANT, H.: *Motor system evolution and the emergence of high cognitive functions. Prog Neurobiol 122:73-93, 2014.*
- MIDDLETON, F.A., STRICK, P.L.: *Basal ganglia and cerebellar loops: motor and cognitive circuits. Brain Res Brain Res Rev 31(2-3):236-50, 2000.*
- MOBERGET, T., IVRY R.B.: *Cerebellar contributions to motor control and language comprehension: searching for common computational principles. Ann N Y Acad Sci. 1369(1):154-71, abril de 2016.*
- MUNZERT, J., LOREY, B., ZENTGRAF, K.: *Cognitive motor processes: the role of motor imagery in the study of motor representations. Brain Res Rev 60(2):306-26, 2009.*
- MURRAY, G.K., JONES, P., KUH, D., RICHARDS M.: *Infant developmental milestones and subsequent cognitive function. Ann 62(2):128-36, 2007.*
- MURRAY, G.K., VEIJOLA, J., MOILANEN, K., MIETTUNEN, J., GLAHN, D.C., CANNON, T.D., ET AL.: *Infant motor development is associated with adult cognitive categorisation in a longitudinal birth cohort study. J Child Psychol Psychiatry 47:25-9, 2006.*
- NISHIJIMA, T., LLORENS-MARTIN, M., TEJEDA, G.S., INOUE, K., YAMAMURA, Y., SOYA, H., ET AL.: *Cessation of voluntary wheel running increases anxiety-like*

- behavior and impairs adult hippocampal neurogenesis in mice. Behav Brain Res 245:34-41, 2013.*
- NIXON, P.D., PASSINGHAM R.E.: *The cerebellum and cognition: cerebellar lesions impair sequence learning but not conditional visuomotor learning in monkeys. Neuropsychologia 38(7):1054-72, 2000.*
 - OSBORNE, L.C., LISBERGER, S.G., BIALEK, W.: *A sensory source for motor variation. Nature. 15;437(7057):412-6, septiembre de 2005.*
 - PASCUAL-LEONE, A., WASSERMANN, E.M., SADATO, N., HALLETT, M.: *The role of reading activity on the modulation of motor cortical outputs to the reading hand in Braille readers. Ann Neurol. 38(6):910-5, Diciembre de 1995.*
 - RATEY, J.J., LOEHR, J.E.: *The positive impact of physical activity on cognition during adulthood: a review of underlying mechanisms, evidence and recommendations. Rev Neurosci (2011) 22(2):171-85*
 - RIDLER, K., VEIJOLA, J.M., TANSKANEN P., MIETTUNEN J., CHITNIS, X., SUCKLING, J, ET AL.: *Fronto-cerebellar systems are associated with infant motor and adult executive functions in healthy adults but not in schizophrenia. Proc Natl Acad Sci USA 103:15651-6, 2006.*
 - SINGH, A.; UIJTDEWILLIGEN, L.; TWISK J.W.R.; MECHELEN, M. VAN; CHINAPAW, M.J.M.: *Physical activity and performance at school. A systematic review of the literature including a methodological quality assessment. Arch Pediatr Adolesc Med. 166(1): 49-55, 2012.*
 - SITARAM, R., ZHANG, H., GUAN, C., THULASIDAS, M, HOSHI, Y., ISHIKAWA, A., ET AL.: *Temporal classification of multichannel near-infrared spectroscopy signals of motor imagery for developing a brain-computer interface. Neuroimage 34(4):1416-27, 2007.*
 - TREJO, J.L., CARRO, E., TORRES-ALEMAN, I.: *Circulating insulin-like growth factor I mediates exercise-induced increases in the number of new neurons in the adult hippocampus, J Neurosci, 21: pp. 1628-1634, 2001.*
 - UNGERLEIDER, L.G., DOYON, J., KARNI, A.: *Imaging brain plasticity during motor skill learning. Neurobiol Learn Mem (2002) 78(3):553-64.*
 - VAN PRAAG, H., SCHINDER, A.F., CHRISTIE, B.R., TONI, N, PALMER, T.D. y GAGE, F.H.: *Functional neurogenesis in the adult hippocampus, Nature, 415, 1030-1034, 2002.*
 - VAN PRAAG, H.: *Neurogenesis and exercise: ast and future directions, Neuromol Med, 10, 128-140, 2008.*

- VOELCKER-REHAGE, C., NIEMANN, C.: *Structural and functional brain changes related to different types of physical activity across the life span*. *Neurosci Biobehav* 37(9): 2268-95, 2013.
- WEINSTEIN, A.M., VOSS, M.W., PRAKASH, R.S., CHADDOCK, L., SZABO, A., WHITE, S.M., ET AL.: *The association between aerobic fitness and executive function is mediated by prefrontal cortex volume*. *Brain Behav Immun* 26:811-9, 2012.

Capítulo 9

- ADAN, A.: *Cognitive Performance and Dehydration*. *J Am Coll Nutr*. 31:71-7, 2012.
- COOPER, H., ROBINSON, J.C., y PATALL, E.A.: *Does homework improve academic achievement? A synthesis of research, 1987-2003*. *Review of Educational Research*, 1, 1-62, 2006.
- CUNHA, JENNIFER; ROSARIO, PEDRO; MACEDO, LUCIA; NUNES, ANA RITA; FUENTES, SONIA; PINTO, RICARDO y SUÁREZ, NATALIA: *Parents' conceptions of their homework involvement in elementary school*. *Psicothema*. Vol. 27, No. 2, 159-165), 2015.
- CHACKO, A., JENSEN, S.A., LOWRY, L.S., CORNWELL, M., CHIMKLIS, A., CHAN, E., LEE, D.: *Engagement in behavioral parent training: review of the literature and implications for practice*. *Clin Child Fam Psychol Rev*. 19(3):204-15, septiembre de 2016.
- CHONG, RK., MILLS, B., DAILEY L, LANE, E, SMITH, S. y LEE, KH.: *Specific interference between a cognitive task and sensory organization for stance balance control in healthy young adults: visuospatial effects*. *Neuropsychologia*.48(9):2709-18, Julio de 2010.
- DAMASIO, A.: *El error de Descartes*, Editorial Crítica, Madrid, 2006.
- EDMONDS, C.J. BURFORD D.: *Should Children Drink More Water? The effects of Drinking Water on Cognition in Children*. *Appetite*, 52:776-779.), 2009.
- FAWCETT, A.J., NICOLSON, R.I.: *Automatisation deficits in balance for dyslexic children*. *Percept Mot Skills*.75(2):507-29, octubre de 1992.
- FUSTER, J.: *Cerebro y Libertad*. Ariel. Barcelona, 2014.
- GARG, R., DHAR, U.: *Effect of pranyama and mediation on autonomic cardiorespiratory variables in normal healthy volunteers*. *Indian Journal of Public Health Research and Development*. 5(3):268-72, 2014.

- GROSBRAS, MARIE-HÉLÈNE: *Patterns of Activity in the Human Frontal and Parietal Cortex Differentiate Large and Small Saccades* *Frontiers in integrative Neuroscience*, 27 Octubre 2016.
- JIANG, J., BRASHIER, N.M., EGNER, T.: *Memory Meets Control in Hippocampal and Striatal Binding of Stimuli, Responses, and Attentional Control States.* *J Neurosci.* 2015 Nov 4;35(44):14885-95. doi: 10.1523
- JOSHI, M., TELLES, S.: *Immediate effect of right and left nostril breathing on verbal and spatial memory scores.* *Ind J Physiol Pharmacol.* 52:197-200, 2008.
- LIU, Z.X., SHEN, K., OLSEN, R.K., RYAN, J.D.: *Visual sampling predicts hippocampal activity.* *J Neurosci.* 2016 Dec 6. pii: 2610-16
- MARSHALL, R.S., BASILAKOS, A., WILLIAMS, T. y LOVE-MYERS, K.: *Exploring the benefits of unilateral nostril breathing practice post-stroke: attention, language, spatial abilities, depression, and anxiety.* *J Altern Complement Med.* 20(3):185-94, marzo de 2014.
- MICHEYL, CHRISTOPHE; HUNTER, CYNTHIA y OXENHAM, ANDREW J.: *Auditory Stream Segregation and the Perception of Across-Frequency Synchrony.* *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* 36(4): 1029-1039, agosto de 2010.
- NAVEEN, K.V., NAGARATHNA, R., NAGENDRA, H.R., TELLES, S.: *Yoga breathing through a particular nostril increases spatial memory scores without lateralized effects.* *Psychol Rep.*81(2):555-61., 1997
- ORTIZ, T., A. M. MARTÍNEZ, A. FERNÁNDEZ, F. MAESTU, P. CAMPO, R. HORNERO, J. ESCUDERO, J. POCH.: *Efecto de la estimulación auditiva a una frecuencia de 5 Hz en la memoria verbal.* *Actas Esp Psiquiatr* 36(6):307-313, 2008.
- OXENHAM, A.J.: *Pitch perception and auditory stream segregation: Implications for hearing loss and cochlear implants.* *Trends in Amplification.* 12:316-331, 2008.
- PERRY, C.S., RAPINETT, G., GLASER, N.S, GHETTI, S.: *Hydration status moderates the effects of drinking water on children's cognitive performance.* *Appetite.*95:520-7, diciembre de 2015.
- PERRY, CAROLYN J. AMARASOORIYA, PRAKASH y FALLAH, MAZYAR: *An Eye in the Palm of Your Hand: Alterations in Visual Processing Near the Hand, a Mini-Review.* *Frontiers in computational Neuroscience*, 18 Abril 2016.
- PHILIP TSENG, JIAXIN YU, OVID J. L. TZENG, DAISY L. HUNG y CHI-HUNG JUAN: *Hand proximity facilitates spatial discrimination of auditory tones.* Volúmen 5,

Artículo 527, junio de 2014.

- RINKU GARG, VARUN MALHOTRA, YOGESH TRIPATHI, RITU AGARAWAL: *Effect of Left, Right and Alternate Nostril Breathing on Verbal and Spatial Memory*. Journal of Clinical and Diagnostic Research. Vol-10(2): 1-3, febrero de 2016.
- SERRANO-MARUGAN, I., HERRERA, B, ROMERO, S., NOGALES, R, POCH, J. QUINTERO, J. y ORTIZ, T.: *Estimulación táctil pasiva y su repercusión clínica y neurofisiológica (P300) en niños ciegos con sintomatología de TDA*. Rev. Neurol. 58(sup 1),25-30, 2014.
- SHINN-CUNNINGHAM, B.G., LEE, A.K., OXENHAM, A.J.: *A sound element gets lost in perceptual competition*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2007; 104:12223-12227, 2007.
- SORIA-CLAROS, M., SERRANO-MARUGÁN, I, QUINTERO, J., y ORTIZ, T.: *Efecto de la estimulación táctil pasiva en la actividad cerebral de niños con déficit de atención*. Rev Neurol 62 (Supl X): S, 2016.
- SORIA-CLAROS, M., y ORTIZ, T.: *Localización de fuentes cerebrales en niños invidentes durante la discriminación táctil pasiva de letras*. Participación Educativa, 4, 7, 143-147, 2015.
- SIMON BAIJOT, HICHEM SLAMA, GÖRAN SÖDERLUND, BERNARD DAN, PAUL DELTENRE, CÉCILE COLIN y NICOLAS DECONINCK: *Neuropsychological and neurophysiological benefits from white noise in children with and without ADHD*. Behav Brain Funct 12:11, 2016.
- ZELANO, C. JIANG, G. ZHOU, N. ARORA, S. SCHUELE, J. ROSENOW, J. A. GOTTFRIED.: *Nasal Respiration Entrain Human Limbic Oscillations and Modulates Cognitive Function*. The Journal of Neuroscience, December 7, 36(49):12448-12467, 2016.

Capítulo 10

- ADAN, A.: *Cognitive Performance and Dehydration*. J Am Coll Nutr. 31:71-7, 2012.
- BAIJOT, SIMON; SLAMA, HICHEM, SÖDERLUND, GÖRAN DAN, BERNARD; DELTENRE, PAUL; COLIN, CÉCILE y DECONINCK, NICOLAS. *Neuropsychological and neurophysiological benefits from white noise in children with and without ADHD*. Behav Brain Funct 12:11, 2016.
- BRICKENKAMP, R.: *D2. Test de atención*. Madrid: TEA. 2002.

- BUSH, G.: *Cingulate, frontal, and parietal cortical dysfunction in attention-deficit/hyperactivity disorder*. Biol Psychiatry. 15;69(12):1160-7, 2011.
- CARBONELL, F., GALAN, L., VALDES, P., WORSLEY, K., BISCAY, R.J., DIAZ-COMAS, L., BOBES, M.A., y PARRA, M.: *Random field-union intersection tests for EEG/MEG imaging*. NeuroImage, 22:268-76, 2004.
- CATTELL, R. B. y CATTELL, A. K. S.: *Factor G de inteligencia*. Edición en España, Madrid: TEA, 2002. POSNER, MICHAEL I. y ROTHBART, MARY K.: *Toward A Physical Basis of Attention and Self Regulation*. Phys Life Rev. 6(2), junio de 2009.
- DURSTON, S.: *A review of the biological bases of ADHD: what have we learned from imaging studies?* Ment Retard Dev Disabil Res Rev, 9, 184-95, 2003.
- ESTÉVEZ-GONZÁLEZ, A., GARCÍA-SÁNCHEZ, C., JUNQUÉ, C.: *La atención: una compleja función cerebral*. Rev. Neurol, 25: 1989-97, 1997.
- EVANS, A.C., COLLINS, D.L., MILLS, S.R., BROWN, E.D., KELLY, R.L. y PETERS, T.M.: *3D statistical neuroanatomical models from 305 MRI volumes*. Proc. IEEE-Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference. London M.T.P. Press: 95, 1813-1817, 1993.
- FALKENSTEIN, M.; HOORMANN J., HOHNSBEIN J.: *ERP components in Go/Nogo tasks and their relation to inhibition*. Acta Psychol (Amst).; 101 (2-3): 267-91, 1999.
- FUCHS, J.L.; MONTEMAYOR, M. y GREENOURGH, W.T.: *Effect of environmental complexity on the size of superior colliculus*. Behavioral Neural Biology, 54, 2, 198-203, 1990.
- FUCHS, J.L., MONTEMAYOR, M. y GREENOURGH, W.T.: *Effect of environmental complexity on the size of superior colliculus*. Behavioral Neural Biology, 54, 2, 198-203, 1990.
- GARG, R., DHAR, U.: *Effect of pranyama and mediation on autonomic cardiorespiratory variables in normal healthy volunteers*. Indian Journal of Public Health Research and Development. 5(3):268-72, 2014.
- JENSEN, E.: *Cerebro y aprendizaje*, Narcea, Madrid, 2008.
- JOSHI M., TELLES, S.: *Immediate effect of right and left nostril breathing on verbal and spatial memory scores*. Ind J Physiol Pharmacol; 52: 197-200, 2008.
- KARNI, A., MEYER, G., JEZZARD, P., ADAMS, M.M., TURNER, R. y UNGERLEIDER, L.G.: *Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill*

- learning. *Nature*. 377: 155-158, 1995.
- KARNI, A. y SAGI, D.: *Where practice makes perfect in texture discrimination: evidence for primary visual cortical plasticity*. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 88: 4966-4970, 1991.
 - KILGARD, M.P., MERZENICH, M.M.: *Cortical map reorganization enabled by nucleus basalis activity*. *Science*. Mar 13;279(5357):1714-8, 1998.
 - KILGARD, M.P.; MERZENICH, M.M.: *Cortical map reorganization enabled by nucleus basalis activity*. *Science*. Mar 13;279(5357):1714-8, 1998.
 - LAGE-CASTELLANOS, A., MARTINEZ-MONTES, E., HERNANDEZ-CABRERA, J.A., y GALAN, L.: *False discovery rate and permutation test: an evaluation in ERP data analysis*. *Stat Med*, 29:63-74, 2010.
 - LIU, Z.X., SHEN, K., OLSEN, R.K. y RYAN, J.D.: *Visual sampling predicts hippocampal activity*. *J Neurosci*. Dec 6. pii: 2610-16, 2016.
 - LLORENTE, C., OCA, J., SOLANA, A., ORTIZ, T.: *Estudio piloto para la mejora de los procesos neurofuncionales atencional*. *Participación educativa*. Número extraordinario.1 Diciembre 2012., 48-59, 2012.
 - LUCK, S.J., HILLYARD, S.A.: *Spatial filtering during visual search: evidence from human electrophysiology*. *J Exp Psychol Human*. 20 (5): 1000-1014, 1994.
 - MACKAY, D.J.C.: *Bayesian interpolation*. *Neural Comput*, 4 (3), 415-447, 1992.
 - MA, J., LEI, D., JIN, X., DU, X., JIANG, F., LI, F., ZHANG, Y., SHEN, X.: *Compensatory brain activation in children with attention deficit/hyperactivity disorder during a simplified Go/No-go task*. Prensa, 2011.
 - MARSHALL, R.S.; BASILAKOS A.; WILLIAMS, T. y LOVE-MYERS, K.: *Exploring the benefits of unilateral nostril breathing practice post-stroke: attention, language, spatial abilities, depression, and anxiety*. *J Altern Complement Med*; 20 (3): 185-94, 2014.
 - MERZENICH, M.M. y SYKA, J.: *Plasticity and signal representation in the auditory system*. Springer, New York, 2005.
 - MERZENICH, M.M. y SYKA, J.: *Plasticity and signal representation in the auditory system*. Springer, New York, 2005.
 - MICHEYL, CHRISTOPHE; HUNTER, CYNTHIA y OXENHAM, ANDREW J.: *Auditory Stream Segregation and the Perception of Across-Frequency Synchrony*. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 36(4): 1029-1039, Agosto de 2010.
 - OXENHAM, A.J.: *Pitch perception and auditory stream segregation: Implications*

- for hearing loss and cochlear implants. *Trends in Amplification*.12:316-331, 2008.
- PASCUAL-MARQUI, R.D., MICHEL, C.M., y LEHMAN, D.: *Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity of the brain*. *Int. J. Psychophysiol*, 18, 49-65, 1994.
 - PENNY, W.D., MATTOU, J., y TRUJILLO-BARRETO, N.J.: *Bayesian model selection and averaging*. In: FRISTON, K.J., ET AL., editors. *Statistical Parametric Mapping: The Analysis of Functional Brain Images*. Oxford: Academic Press, pp. 454-467, 2006.
 - PERRY, C.S.; RAPINETT G.; GLASER, N.S., y GHETTI, S.: *Hydration status moderates the effects of drinking water on children's cognitive performance*. *Appetite*. 95:520-7, 2015.
 - PHILIP TSENG; JIAXIN YU, OVID, J. L. TZENG; DAISY L. HUNG y CHI-HUNG, JUAN: *Hand proximity facilitates spatial discrimination of auditory tones*. Volume 5, Article 527, junio de 2014.
 - PFEFFERBAUM, A.; FORD, J.M.; WELLER, B.J., KOPELL, B.S.: *ERPs to response production and inhibition*. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 60 (5): 423-34, 1985.
 - POSNER, MICHAEL I. y ROTHBART, MARY K.: *Toward A Physical Basis of Attention and Self Regulation*. *Phys Life Rev*. 6(2), junio de 2009.
 - REBOLLO, S.: *Montiel Atención y funciones ejecutivas*. *REV NEUROL* 2006; 42 (Supl 2): S3-S7, 1996.
 - SEGOVIA, J.C.: *Valores podoestabilométricos en la población deportiva infantil*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, 2008.
 - SERRANO-MARUGAN, I., HERRERA, B, ROMERO, S., NOGALES, R, POCH, J. QUINTERO, J. y ORTIZ, T.: *Estimulación táctil pasiva y su repercusión clínica y neurofisiológica (P300) en niños ciegos con sintomatología de TDA*. *Rev. Neurol*. 58 (sup 1), 25-30, 2014.
 - SHINN-CUNNINGHAM, B.G.; LEE, A.K.; OXENHAM, A.J.: *A sound element gets lost in perceptual competition*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 104: 12223-7, 2007.
 - SMITH, A.B., TAYLOR, E., BRAMMER, M., TOONE, B., RUBIA, K.: *Task-specific hypoactivation in prefrontal and temporoparietal brain regions during motor inhibition and task switching in medication-naive children and adolescents with attention deficit hyperactivity disorder*. *Am J Psychiatry*, 163(6):1044-

51, 2006.

- SORIA-CLAROS, M., SERRANO-MARUGÁN, I, QUINTERO, J., y ORTIZ, T.: *Efecto de la estimulación táctil pasiva en la actividad cerebral de niños con déficit de atención*. Rev Neurol 62 (Supl X): S, 2016.
- TALLAL, P. y FITCH, R.H.: *Central auditory processing and language learning impairments: Implications for neuroplasticity research*. En SYKA, J. y MEZZENICH, M. *Plasticity and signal representation in the auditory system*. Springer. New York, 2005.
- TOMASI, D., VOLKOW, N.D.: *Abnormal Functional Connectivity in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder*. Biol. Psychiatry. 2011.
- TRUJILLO-BARRETO, N.J., AUBERT-VÁZQUEZ, E., VALDÉS-SOSA, P.A.: *Bayesian Model Averaging in EEG/MEG imaging*. NeuroImage, 21: 1300-1319, 2014.
- TZOURIO-MAZOYER, N., LANDEAU, B., PAPATHANASSIOU, D., CRIVELLO, F., ETARD, O., DELCROIX, N. MAZOYER, B. y JOLIOT, M.: *Automated anatomical labeling of activations in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain*. Neuroimage, 15, 273, 2012.
- WOODMAN, G.F., VECERA, S.P., LUCK, S.J.: *Perceptual organization influences visual working memory*. Psychon Bull Rev. 10:80-7, 2003.

Otros libros de la colección Biblioteca Innovación Educativa

- **Enseñar a nativos digitales**
Un nuevo paradigma para enseñar y aprender en el siglo XXI
MARC PRENSKY
- **Crear hoy la escuela del mañana**
La educación y el futuro de nuestros hijos
RICHARD GERVER
- **Coaching educativo.**
Las emociones al servicio del aprendizaje
CORAL LÓPEZ Y CARMEN VALLS
- **El aprendizaje basado en el pensamiento**
Cómo desarrollar en los alumnos las competencias del siglo XXI
ROBERT SWARTZ, ARTHUR COSTA, BARRY BEYER, REBECCA REAGAN Y BENA KALLICK
- **Aprendizaje emocionante**
Neurociencia para el aula
BEGOÑA IBAROLA
- **Directivos de escuelas inteligentes**
¿Qué perfil y habilidades exige el futuro?
LOURDES BAZARRA Y OLGA CASANOVA
- **Dale la vuelta a tu clase**
Lleva la clase a cada estudiante, en cualquier momento cualquier lugar
JONATHAN BERGMANN Y AARON SAMS
- **La evaluación en el aprendizaje cooperativo**
Cómo mejorar la evaluación individual a través del grupo
DAVID W. JOHNSON Y ROGER T. JOHNSON
- **Metáforas de la sociedad digital**
El futuro de la tecnología en la educación
ANTONIO RODRÍGUEZ DE LAS HERAS
- **Aprendo porque quiero**
El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), paso a paso
JUAN JOSÉ VERGARA

- **Diálogos sobre liderazgo educativo**
Recursos e ideas prácticas para la escuela
DAVE HARRIS Y JOHN WEST-BURNHAM
- **El mundo necesita un nuevo currículo**
Habilidades para pensar, crear, relacionarse y actuar
MARC PRENSKY • **Pensamiento de diseño en la escuela**
Cómo lograr que surjan ideas innovadoras y hacerlas realidad
EWAN MCINTOSH
- **La controversia constructiva**
Argumentación, escucha y toma de decisiones razonada
DAVID W. JOHNSON
- **Cooperar para aprender**
Transformar el aula en una red de aprendizaje cooperativo
FRANCISCO ZARIQUIEY
- **Diseño de espacios educativos**
Rediseñar las escuelas para centrar el aprendizaje en el alumno
PRAKASH NAIR
- **Educar para un mundo cambiante**
¿Qué necesitan aprender realmente los alumnos para el futuro?
DAVID PERKINS
- **Educar fuera del aula**
Trucos y recursos para ayudar a los docentes a enseñar al aire libre
JULIET ROBERTSON
- **Marketing educativo**
Cómo comunicar la propuesta de valor de nuestro centro
VÍCTOR NÚÑEZ
- **El riesgo de educar**
Cada acto educativo es singular y abierto a lo imprevisto
GERT J. J. BIESTA
- **Habilidades para la vida**
Aprender a ser y aprender a convivir en la escuela
ANDREA GIRÁLDEZ HAYES Y EMMA-SUE PRINCE
- **Design for Change**
Un movimiento educativo para cambiar el mundo

DESING FOR CHANGE

- **Inteligencias múltiples**

De la teoría a la práctica escolar inclusiva

BEGOÑA IBARROLA Y TXARO ETXEBERRIA

Contenido

Portadilla

Cita

Nota del editor

Prólogo

Parte I. Neurociencia y educación

Capítulo uno. ¿Qué aporta la neurociencia a la educación?

Capítulo dos. El reto de la neuropedagogía

Capítulo tres. Neuroplasticidad y educación

Capítulo cuatro. Neurodesarrollo cognitivo y educación

Capítulo cinco. Neurodesarrollo emocional y educación

Capítulo seis. Importancia del sueño en la neuroeducación

Capítulo siete. Importancia de la nutrición en la neuroeducación

Capítulo ocho. Importancia del ejercicio físico en la neuroeducación

Parte II. El programa neuroeducativo HERVAT

Capítulo nueve. Bases teóricas del programa neuroeducativo HERVAT

Capítulo diez. Estudio sobre el programa neuroeducativo HERVAT

Consideraciones finales

Agradecimientos

Referencias bibliográficas

Otros libros de la colección Biblioteca Innovación Educativa

Créditos

Dirección del proyecto: Adolfo Sillóniz
Diseño: Dirección de Arte Corporativa de SM
Corrección: Felipe Contreras
Edición: Equipo de edición de SM

© SM, 2018
© de la presente edición: Ediciones SM, 2018
Impresores, 2
Parque Empresarial Prado del Espino
28660 Boadilla del Monte (Madrid)
www.grupo-sm.com

ATENCIÓN AL CLIENTE
Tel.: 902 121 323 / 912 080 403
e-mail: clientes@grupo-sm.com

Debido a la naturaleza dinámica de internet, Ediciones SM no puede responsabilizarse por los cambios o las modificaciones en las direcciones y los contenidos de los sitios web a los que se remite en este libro.

Coordinación técnica: Producto Digital SM
Digitalización: **ab** serveis

ISBN: 978-84-910-7834-0

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.