

LA INVESTIGACIÓN SOBRE EL CEREBRO Y LA MEJORA DE LA EDUCACIÓN



El diálogo entre Neurociencia y Educación



El día 19 de diciembre pasado tuvo lugar en el Salón de Plenos del Consejo Escolar del Estado un acto de presentación del número extraordinario de la revista *Participación Educativa*, "La investigación sobre el cerebro y la mejora de la educación". En dicho acto se contó con la intervención del filósofo y escritor, José Antonio Marina, y el neurocientífico y presidente de la Sociedad Española de Neurociencias, Juan Lerma; ambos encarnaron el diálogo entre la Neurociencia y la Educación.

El coloquio, al que en una segunda fase se sumó el público asistente, fue moderado por Francisco López Rupérez, presidente del Consejo.

El video "El diálogo entre Neurociencia y Educación" está accesible en la web del Consejo Escolar del Estado <www.mecd.gob.es/cee>.



Las figuras de los artículos proceden de los correspondientes autores y el resto de las ilustraciones de este número están publicadas en las siguientes direcciones de internet [consulta diciembre 2012]:

<www.flickr.com/photos/azuaje/sets/72157625464845228/with/5205824363/>. El coleccionista de instantes. "El cerebro, la gran cepa azul". Un proyecto en el que la Ciencia y el Arte establecen un diálogo entre dibujos neuronales realizados por científicos coetáneos de Ramón y Cajal y obras del artista Cristóbal Guerra.

<www.flickr.com/photos/paul_garland/2292440126/>. Colección Paul Garland

<www.flickr.com/photos/estonia76/6453525355/>. Colección Estonia 76

<www.flickr.com/photos/readerwalker/>. Galería Readerwalker

<office.microsoft.com/es-es/images/MC900438558.aspx>

<office.microsoft.com/es-es/images/MC900438717.aspx>

<office.microsoft.com/es-es/images/MC900438887.aspx>

PARTICIPACIÓN EDUCATIVA

SEGUNDA ÉPOCA. NÚMERO 1. DICIEMBRE 2012

LA INVESTIGACIÓN SOBRE EL CEREBRO Y LA MEJORA DE LA EDUCACION

ÓRGANOS DE DIRECCIÓN

Consejo de Dirección

Presidencia

Francisco López Rupérez
Presidente del Consejo Escolar del Estado

Vicepresidencia

María Dolores Molina de Juan
Vicepresidenta del Consejo Escolar del Estado

Secretario

José Luis de la Monja Fajardo
Secretario General del Consejo Escolar del Estado

Vocales

M^a Luisa Martín Martín
Consejera representante de los profesores de la enseñanza pública

Roberto Mur Montero
Consejero por el grupo de personalidades de reconocido prestigio

Jesús Pueyo Val
Consejero representante de los profesores de la enseñanza privada

Consejo Editorial

María Dolores Molina de Juan
(Consejo Escolar del Estado)

José Luis de la Monja Fajardo
(Consejo Escolar del Estado)

Isabel García García
(Consejo Escolar del Estado)

Antonio Frías del Val
(Consejo Escolar del Estado)

Juan Ramón Villar Fuentes
(Consejo Escolar del Estado)

Juan Luis Cordero Ceballos
(Consejo Escolar del Estado)

Consejo Asesor

Antonio Bolívar
(Universidad de Granada)

Carmen Caffarel
(Instituto Cervantes)

Rosa M^a Capel
(Universidad Complutense de Madrid)

Elena Martín
(Universidad Autónoma de Madrid)

José M^a Merino
(Académico)

Beatriz Pont
(OCDE)

Alejandro Tiana
(OEI/UNED)

ISSN 1866-5097

NIPO 030-12-002-2

ntic.educacion.es/cee/revista

participacioneduca@mecd.es



PRESENTACIÓN

Francisco López Rupérez **3**

PRÓLOGO

Juan Lerma Gómez **5**

EL DIÁLOGO ENTRE NEUROCIENCIA Y EDUCACIÓN

Neurociencia y Educación. José Antonio Marina **7**

Claves neurocientíficas de la enseñanza y el aprendizaje. Ignacio Morgado Bernal **15**

Lectura y dislexia: un viaje desde la Neurociencia a la Educación. Manuel Carreiras **19**

ENTREVISTA

Entrevista al profesor D. Joaquín Fuster. Francisco López Rupérez **29**

INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS

Neurociencia cognitiva del desarrollo: el periodo pre-escolar. Núria Sebastián Gallés **33**

Influencia del estrés sobre las capacidades cognitivas. Carmen Sandi **39**

Mejora de la atención y de áreas cerebrales asociadas en niños de edad escolar a través de un programa neurocognitivo. Carlos Llorente, Javier Oca y Almudena Solana Tomás Ortiz **47**

Neurobiología del Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) y su implicación en Educación. Javier Quintero e Isabel Miernau **61**

Redes de percepción-acción en trastornos de aprendizaje. Jorge Muñoz Ruata **75**

Santiago Ramón y Cajal y la Instrucción Pública. Pere Brunsó Ayats **87**

EXPERIENCIAS EDUCATIVAS

Cómo enseñar Neurociencia a profanos. Carmen Cavada **89**

La Neurociencia en la formación inicial de educadores: una experiencia innovadora. M^a Pilar Martín Lobo **93**

LIBROS

Resensiones

La inteligencia ejecutiva (José Antonio Marina). Eduardo López López **103**

Cómo aprende el cerebro. Las claves para la educación (Sarah-Jayne Blakemore y Uta Frith). Luis Miguel García Moreno **106**

Reseñas **108**



Presentación

Francisco López Rupérez

Presidente del Consejo Escolar del Estado

La revista *Participación Educativa* constituye una aportación del Consejo Escolar del Estado a la reflexión sobre educación que se ha ido consolidando, progresivamente, en el correspondiente panorama bibliográfico en lengua española. Comienza su andadura en 2005 y en el momento presente acumula 19 números ordinarios y 3 números extraordinarios, con 367 artículos y 16 entrevistas.

No obstante lo anterior, los cambios producidos en nuestro país, en relación con su contexto económico, tecnológico y cultural, aconsejan iniciar una nueva época de la revista que, preservando lo esencial de la época anterior, le otorgue un enfoque renovado y adaptado a las posibilidades que ofrecen los entornos digitales para este tipo de publicaciones. Por ello, la Comisión Permanente del citado Consejo ha apoyado la transformación de *Participación Educativa* al formato de “revista-web”. Este nuevo formato no sólo gana en modernidad, amigabilidad y conectividad sino que, además, permite el aprovechamiento de toda la potencia de los objetos gráficos, amplía las posibilidades de descripción y facilita, por ello, una mejor comprensión de los textos escritos.

Estas virtualidades del nuevo formato se materializan en el número extraordinario con el que se inicia la 2ª época de la revista. El tema elegido, *La investigación sobre el cerebro y la mejora de la educación*, constituye probablemente el de mayor potencial, en el largo plazo, dentro del marco de la revolución del conocimiento que está protagonizando la humanidad. Pero, habida cuenta de su dificultad, resulta aconsejable no escatimar recursos didácticos con el propósito de facilitar un amplio acceso a la comprensión de aspectos sustantivos de esta relativamente reciente problemática. Es aquí donde las tecnologías digitales marcan claramente las diferencias, de modo que este nuevo formato se convierte en un instrumento necesario para el logro de esos dos objetivos —amplio acceso y comprensión facilitada— en relación con una temática del máximo interés en el plano internacional.

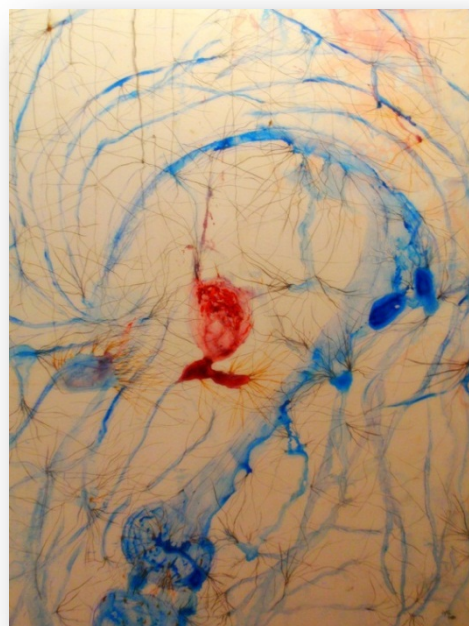
En el panorama comparado del ejercicio de las profesiones, la educación ha permanecido durante mucho tiempo bastante más cerca de los rasgos característicos de un arte que de la aplicación ordenada de una ciencia. La complejidad de la mente humana en formación, su naturaleza intrínsecamente evolutiva, la multiplicidad de factores biológicos, culturales y ambientales en general que inciden sobre ella, y sus interacciones, se dan cita en torno a los aprendizajes escolares y hacen de cada alumno un sujeto irrepetible. Cabe pensar que ese carácter irrepetible de cada niño haya contribuido a alimentar —más que en otras profesiones que trabajan también con y para personas— la dimensión de arte de la enseñanza, y es poco probable que el ejercicio de la docencia deje alguna vez de poseer esa naturaleza singular y profundamente humana que lo identifica; pero sólo podrá avanzar de un modo sistemático si incorpora progresivamente a su acervo profesional la componente científica.

Organismos internacionales y gobiernos de países avanzados han puesto el acento en la importancia de esa orientación. Por ejemplo, en el plano multilateral, la Comisión Europea ha recomendado a los países de la Unión basar las políticas y las prácticas educativas en datos empíricos y en evidencias que permitan com-

prender los fenómenos y razonar de un modo fundado sobre las causas.

En el ámbito educativo, las evidencias disponibles poseen estatutos muy diferentes. En primer lugar, están las regularidades apreciadas por los prácticos, en cuanto a la enseñanza o al aprendizaje, que les sirven para orientar espontáneamente el ejercicio de su profesión. Este tipo de conocimiento empírico suele ser propio de cada profesor y tiene un carácter, por lo general, tácito; solo ocasionalmente se hace explícito y se comparte con otros profesionales. En segundo lugar, se sitúa el conocimiento generado por investigaciones académicas basadas en metodologías, sean cualitativas sean cuantitativas, que se apoyan en el análisis de comportamientos de individuos o de muestras. En tercer lugar, cabe citar las revisiones sistemáticas y los meta-análisis que permiten identificar un conocimiento empírico consistente, en la medida en que comportan la referencia a los resultados de múltiples investigaciones comparables. Estos diferentes niveles de descubrimiento de regularidades empíricas —con un grado de consistencia creciente— no suelen aportar explicaciones desde un cuerpo organizado y suficientemente validado de conocimiento: en el caso de la educación, esas elaboraciones o marcos teóricos son, con frecuencia, poco robustos y, por lo general, externos al conocimiento propiamente educativo.

Este déficit en la comprensión profunda de los hechos no anula el interés práctico que puede tener ese tipo de conocimiento experto, vinculado a los distintos niveles empíricos antes descritos; y, si se organiza adecuadamente y se difunde mediante los procedimientos propios de una profesión —formación inicial en la profesión, formación permanente, un desarrollo profesional que lo reconozca y la constitución de una genuina “comunidad de prácticas”—, contribuirá, sin lugar a dudas, al avance de la educación y a la mejora de sus resultados. No obstante, y como corres-



ponde a un itinerario científico, el conocimiento de los porqués, desde una perspectiva más fundamental, mejorará la comprensión de lo observado y añadirá seguridad y acierto a la práctica docente. Es en este punto donde los avances de la Neurociencia, convenientemente enfocados hacia la Educación, pueden aportar bases más sólidas para la mejora de las políticas y de las prácticas educativas.

Existe un consenso amplio entre los especialistas —que se ve también reflejado en diferentes ocasiones a lo largo de este número— en el sentido de que la generación de conocimiento neurocientífico de interés para la Educación es un proceso lento, una inversión científica a largo plazo. No obstante, y a igualdad de todo lo demás, su ritmo puede ser acelerado mediante una aproximación intencional, sistemática e inteligente entre el mundo de la Neurociencia y el de la Educación. Diferentes países avanzados han asumido con convicción ese desafío y el nuestro podría hacerlo también, porque cuenta con el considerable *stock* de talento que le proporciona una pléyade de investigadores en Neurociencia de primera línea en el plano internacional, algunos de los cuales han tenido la gentileza de escribir para este número.

En esta ocasión, el propósito del Consejo Escolar del Estado es doble. En primer lugar, se trata de ofrecer a la comunidad educativa y a las instancias de decisión un conjunto de aportaciones significativas sobre las relaciones entre Neurociencia y Educación, efectuadas por autores españoles, que van desde la reflexión fundamental hasta la aportación de evidencias originales, pasando por la revisión del estado de la cuestión en diferentes ámbitos de interés. Pero, además, se pretende con ello acercar la Educación, desde un plano institucional, a la celebración del Año de la Neurociencia en España.

Detrás de dicha celebración se encuentra la Sociedad Española de Neurociencias, expresión de la correspondiente comunidad científica a nivel nacional. Impulsando la edición del presente número se halla, representada en el Consejo, la comunidad educativa. Ambas comunidades se han asociado felizmente para la materialización de este número extraordinario. Pero sólo un diálogo sistemático desde tales perspectivas facilitará una simbiosis entre ellas, una fertilización cruzada de problemáticas, de hallazgos y de soluciones que contribuirán, significativamente, al avance del conocimiento y a la mejora de nuestra educación.

Este número monográfico ha contado con la colaboración inestimable de personas y de instituciones cuya generosa disponibilidad quiero desde aquí agradecer. **Juan Lerma**, Presidente de la Sociedad Española de Neurociencias, ha apoyado desde el primer momento el proyecto y movilizó la valiosa colaboración de algunos miembros destacados de dicha Sociedad; a él debemos también el Prólogo que sigue a continuación. **José Antonio Marina** aceptó poner a disposición su experiencia en las aulas, su erudición y su ampliamente demostrada capacidad de reflexión, para mirar a la Neurociencia desde la orilla de la Educación y aclararnos qué ámbitos de la investigación neurocientífica podrían ser de máxima utilidad para, sobre una base fundada, hacer avanzar la Educación. **Ignacio Morgado** aporta, de un modo sintético, una multiplicidad de claves generales, basadas en evidencias neurocientíficas, para conseguir en los alumnos un aprendizaje efectivo, tanto de hábitos mentales como de conceptos y de significados; de ellas se desprenden valiosas sugerencias para mejorar los resultados de la enseñanza. **Manuel Carreiras** inicia su colaboración con una aproximación general al aprendizaje y a sus mecanismos neurocognitivos; facilita al lector una visión amplia sobre el marco de relaciones entre Neurociencia y Educación y profundiza sobre su naturaleza; a continuación, describe las principales técnicas de neuroimagen y especifica el tipo de información que proporciona cada una de ellas; concluye con un reco-

rrido completo y apasionante, desde la neurociencia cognitiva, por la lectura y sus dificultades.

Joaquín Fuster, un grande entre los grandes en materia de neurociencia cognitiva, atendió desde Los Ángeles (California), con generosidad y extrema diligencia, nuestra petición de entrevista y ha encarnado en ella la tradición de los “científicos-filósofos”, añadiendo al conocimiento sabiduría.

Nuria Sebastián nos introduce en la neurociencia del desarrollo en la primera infancia, nos lleva de su mano experta por el territorio de lo que se conoce sobre la adquisición del lenguaje y, finalmente, nos sitúa en el centro mismo del debate sobre el diálogo entre Neurociencia y Educación, sobre sus limitaciones o sobre sus posibilidades. **Carmen Sandi** ha elaborado una amplia revisión científica que nos acerca a los mecanismos del estrés y de su impacto sobre las funciones cognitivas; de la evidencia empírica acumulada, a la que ella misma ha contribuido, infiere consecuencias de interés para, operando sobre los niveles de estrés de los alumnos, mejorar su rendimiento cognitivo en contextos escolares. **Tomás Ortiz** y cols. presentan un ejemplo de cooperación entre prácticos de la enseñanza y neurocientíficos; describen la evaluación experimental del impacto de un programa neurocognitivo, aplicado sobre escolares, que incrementa la atención y produce una mejora en la correspondiente actividad cerebral, medida mediante electroencefalografía. **Francisco Javier Quintero** y col. centran su artículo en el Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) y en sus bases biológicas, sobre todo neurológicas; a través de una revisión significativa, nos acercan a la comprensión profunda de este trastorno psiquiátrico, de amplia incidencia, que concierne al aprendizaje y demanda una intervención precoz en el medio escolar. **Jorge Muñoz** aborda el análisis de trastornos de aprendizaje en alumnos con necesidades educativas especiales desde la concepción de redes de percepción-integración —en tanto que paradigma de funcionamiento cerebral integrado, con vinculaciones recíprocas entre la actividad perceptiva sensorial y las funciones cerebrales de carácter ejecutivo— y aporta evidencias empíricas propias, acordes con esa concepción científica del funcionamiento cerebral a cuya construcción Joaquín Fuster ha contribuido decisivamente. **Pere Brunsó** ha preparado un texto que, a modo de sencillo homenaje a la figura de D. Santiago Ramón y Cajal, padre de la Neurociencia, nos acerca a su biografía en el plano educativo y nos resume el enfoque cajalano de las relaciones entre cerebro y educación.

Carmen Cavada apela a la divulgación de la Neurociencia como un modo efectivo de operar en la interfase entre ciencia y sociedad; describe experiencias de divulgación neurocientífica, propias y de otros países, y propone una mayor implicación del personal investigador, experto o en formación, en esta valiosa tarea de aproximar al mundo de la Neurociencia a los educadores, a los alumnos y a la sociedad en general. **Pilar Martín Lobo** presenta una experiencia innovadora de introducción de la Neurociencia en la formación inicial del profesorado; la apoya en un análisis previo sobre la aplicabilidad al mundo educativo de ciertos avances neurocientíficos consolidados, y refuerza su pertinencia mediante una evaluación de la valoración y del nivel de satisfacción de los alumnos con respecto al programa académico desarrollado.

Finalmente, **Eduardo López** y **Luis Miguel García** han elaborado sendas recensiones de libros en castellano que se extienden sobre la temática de este número y que resultan de interés para el mundo educativo.

Gracias a todos ellos la Neurociencia y la Educación han dado en España un paso más de acercamiento mutuo; paso que deseamos pueda estimular otras reflexiones, otros compromisos, otros apoyos, otras iniciativas.

Prólogo

Juan Lerma Gómez

Presidente de la Sociedad Española de Neurociencias

El patrimonio científico en el campo de la neurociencia en España es notable, con figuras de renombre como Ramón y Cajal, considerado por muchos como el padre de la moderna neurociencia. Tras un análisis retrospectivo, se concluye que nuestro país ha experimentado un notable crecimiento en cuanto a inversión científica, aunque todavía va a la zaga de muchos países europeos, como Alemania, Francia y el Reino Unido. Sin embargo, en los últimos años, esa inversión no despreciable e inteligente ha llevado a la creación de nuevos institutos de investigación que han propiciado un cambio significativo en áreas tales como la genómica y el cáncer. En este contexto, han surgido también en España excelentes centros de neurociencias y las publicaciones en esta disciplina han aumentado en número y calidad, siendo ahora uno de los campos científicos más productivos en nuestro país. Pero aún existe una falta de apreciación, a nivel político, de esta disciplina integradora y un desconocimiento general sobre el impacto que la investigación neurocientífica tiene en el bienestar social y en la economía.

Para tratar de paliar este desconocimiento, la Sociedad Española de Neurociencias (SENC) promovió la designación del año 2012 como Año de la Neurociencia en España, lo que fue respaldado por unanimidad por el Pleno del Congreso de los Diputados en Octubre de 2010 mediante una Proposición No de Ley. En este contexto institucional se sitúa la iniciativa del Consejo Escolar del Estado de revisar cómo el avance de los conocimientos en torno al cerebro podría ayudar a comprender mejor y diseñar mejor una actividad tan crítica para el futuro personal y social como es la enseñanza.

Efectivamente, el conjunto de ciencias a las que denominamos Neurociencias tienen como objetivo entender cómo es y cómo funciona nuestro cerebro. Un objetivo que busca no sólo poder curar el cerebro enfermo, sino también llegar a desentrañar el funcionamiento del cerebro sano para así averiguar, por ejemplo, cómo debemos articular la enseñanza para aprender o recordar mejor lo aprendido, partiendo de las limitaciones o de las ventajas que la fisiología cerebral pudiera presentar; o, simplemente, para que el ser humano pueda ser más feliz. A este objetivo se suman ciencias clásicas y otras de desarrollo más reciente; desde la anatomía, la neurofisiología y la neuroquímica hasta la neurobiología molecular, la psicología, la psiquiatría, la neurofarmacología, la bioinformática, etc. Con el tiempo, toda esta diversidad de ciencias ha devenido en una ciencia integradora que se ha dado en llamar Neurociencia, a la que nos dedicamos todos los que pretendemos entender el sistema nervioso y nuestro cerebro. Para ello, trabajamos codo con codo médicos, biólogos, físicos, informáticos, farmacéuticos, psicólogos, matemáticos, etc.; resumen de profesionales que pueden contribuir con su conocimiento al entendimiento del cerebro. Somos neurocientíficos, poco importa la carrera que cada uno haya estudiado en la

universidad. Sólo con el trabajo coordinado de todos podremos llegar a entender algo tan complejo como el cerebro.

En este sentido, necesitamos expandir nuestro conocimiento sobre la percepción, el aprendizaje, la plasticidad cerebral y los mecanismos cognitivos que finalmente determinan un comportamiento definido, una conducta. El cómo se genera el comportamiento es una cuestión relevante. Naturalmente estas propiedades son emergentes, es decir, surgen de la interacción de moléculas, neuronas y circuitos. En la actualidad disponemos de información con buen nivel de detalle de cómo estos elementos interactúan constituyendo bloques fundamentales de organización y funcionamiento cerebral. Pero aún desconocemos cómo los circuitos y los sistemas que ellos forman son capaces de hacer que un individuo realice comportamientos, aun los sencillos, de manera tan precisa.

No cabe duda de que el conocimiento neurocientífico ha de tener un alto impacto en nuestra forma de vida y en nuestras relaciones sociales. Tarde o temprano, los sistemas de enseñanza deberán adaptarse a la capacidad cerebral de aprender. Es decir, los planes de estudio habrán de optimizarse de acuerdo con determinadas pautas biológicas cerebrales. Sirva de ilustración decir que la Neurociencia está empezando a revelar que el desarrollo del cerebro humano se puede ver influenciado, mediante mecanismos epigenéticos, por el estatus socioeconómico del entorno donde el niño se desenvuelve. Estudios en humanos y sobre modelos animales han determinado que factores tales como la salud mental o el rendimiento académico se pueden ver afectados por el trato familiar que el infante recibe. Este conocimiento podría poner en cuestión la llamada igualdad de oportunidades, en su acepción meramente formal, porque, si bien estos efectos son en parte reversibles, hay aspectos de la estructura cerebral que permanecen afectados de por vida.

Nos queda mucho por aprender, pero también conocemos mucho. Es responsabilidad de todos no cerrar los ojos al conocimiento, porque el conocimiento nos hace más humanos.





El diálogo entre Neurociencia y Educación

NEUROCIENCIA Y EDUCACIÓN

NEUROSCIENCE AND EDUCATION

José Antonio Marina

Universidad de Padres

Resumen

La neurociencia y la educación deberían establecer entre sí una colaboración más estrecha. Las iniciativas que ya se han llevado a cabo en este sentido son importantes, pero insuficientes. La escuela no sólo debería aprovechar los descubrimientos producidos en el ámbito de la neurociencia, sino también debería demandar a los neurocientíficos la aclaración de ciertos temas de interés educativo. Dicho de otro modo, la educación habría de establecer parte de la agenda de la neurociencia educativa. La neurociencia debería conseguir a este respecto cuatro objetivos: (1) ayudar a los profesores a entender el proceso educativo; (2) ayudarles a resolver trastornos del aprendizaje de origen neurológico; (3) ayudarles 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, y (4) ayudar a establecer sistemas eficientes de interacción entre cerebro humano y tecnología.

Palabras clave: inteligencia computacional, inteligencia ejecutiva, proceso cognitivo, funciones neuroevolutivas, perspicacia, neurodiversidad, cerebrocentrismo.

Abstract

Tighter collaboration between neuroscience and education should be established. The initiatives already carried out, such as the journal "Mind, Brain and Education", are important but insufficient. School should not only take advantage of the neuroscientific discoveries, but also demand neuroscientists to clarify certain topics. That is, education must set part of the educative neuroscience agenda. Neuroscience must achieve four targets: (1) help teachers understand the educative process; (2) help them solve learning disorders of neurological origin; (3) help them improve the learning processes and increase the possibilities of human intelligence by suggesting new methods and by validating those elaborated by pedagogy, and (4) help them establish efficient interaction systems between brain and technology.

Keywords: computational intelligence, executive intelligence, cognition, neurodevelopmental functions, insight, neurodiversity, braincentrism.

1. Introducción

En este momento, somos conscientes de que la educación es la gran exclusiva humana, la que nos define como especie, porque permite a cada individuo asimilar en un breve espacio de tiempo las creaciones culturales que la humanidad tardó decenas de miles de años en inventar: el lenguaje, el desarrollo de las funciones ejecutivas, la sumisión a normas, la convivencia en sociedades extensas. Todo aprendizaje cambia el cerebro, pero la educación lo hace de una manera intencionada, dirigida, aprovechando conscientemente las posibilidades que el mismo cerebro proporciona. Somos híbridos de naturaleza y cultura, sistemas plásticos y autopoieticos, que van construyéndose a sí mismos. Michel Gazzaniga piensa que el objetivo de la neurociencia cognitiva es investigar cómo el cerebro hace posible la mente (Gazzaniga, 2002). Es evidente que la neurociencia puede ayudarnos a comprender y a mejorar el trabajo educativo y cada vez se están haciendo más esfuerzos para aprovechar en la educación los descubrimientos neurocientíficos que, desde hace muchos años, ya se aprovechan en la clínica. En el 2000 se celebró en Nueva York un congreso internacional sobre la plasticidad y los períodos claves del aprendizaje. En el 2001, en Granada se volvió a tratar el modo de introducir en las escuelas los descubrimientos de la neurociencia, reconociendo que el anterior foro había dejado muchos asuntos sin tratar. Ese mismo año, en Tokio, se trató sobre la inteligencia social y sobre el aprendizaje a lo largo de la vida. En el 2002, la OCDE presentó un documento titulado *Understanding the brain*, en el que se afirmaba que la educación estaba aún en

una etapa precientífica y que convenía preguntarse si las neurociencias podían ayudar a elevarla a un estatus científico. A la vista de que uno de cada seis alumnos dice que odia la escuela, los autores se preguntaban: ¿estaremos estableciendo una escuela "hostil al cerebro"? (OCDE, 2007). La Academia Pontificia de Ciencias convocó un Congreso Internacional sobre el tema en 2003 (Battro *et al.*, 2005), y al año siguiente se constituyó la "International Mind, Brain, and Education Society" (IMBES). Su objetivo es la creación de una ciencia transdisciplinar, construida sobre los conocimientos de la neurociencia, la psicología y la educación; publica una revista con el mismo título: *Mind, Brain and Education*. Además, se ha producido una abundante bibliografía sobre "cómo enseñar pensando en el cerebro", "brain-based learning", "neurodidáctica" o "neuroeducación", motivada en parte porque la aplicación de la neurología en múltiples dominios se ha puesto de moda. Pero los lenguajes de la ciencia neurológica y de la práctica pedagógica están aún demasiado alejados. Dos expertas, Sarah-Jayne Blakemore y Uta Frith señalan que los avances de la neurociencia no han tenido todavía aplicación educativa (Blakemore y Frith, 2007). Según John T. Bruer, otro experto, hay que construir los puentes entre neurociencia y educación, pues todavía no existen, y considera que son los "psicólogos cognitivos" los que están en mejores condiciones para hacerlo (Bruer, 2008). Además, muchos científicos se quejan de que se haya producido una industria de la "brain-based-education", basada en neuromitos y no en datos científicos (Ansari Coch, De Smeth 2011). Algunos llegan a afirmar que si no se precisa el modo de colaboración entre neurociencia y educación, todos estos movimientos pueden quedarse como una nota a pie de página en la historia de la educación. Incluso hay autores que denuncian la

moda del cerebrocentrismo, y de un cierto deslumbramiento por todo lo que comience por “neuro”, negando que la neurología esté en estos momentos en condiciones de proporcionar conocimientos a la psicología (Pérez Álvarez 2011). Tal vez la mayor dificultad para la colaboración estriba en que la neurociencia ha progresado más en el conocimiento de la “sintaxis cerebral”, de su sistema de organización y transmisión, que en la “semántica cerebral”, es decir, en la formación de los significados transmitidos, que forman parte nuclear de la educación.

En España han aparecido ya algunos libros sobre estos temas. Francisco Mora incluye la educación en su concepto de “neurocultura”, pero sin dar muchas explicaciones (Mora, 2007). *Neurociencia y educación*, de Tomas Ortiz es una clara introducción a los temas principales de la neurociencia, con breves aplicaciones al proceso educativo (Ortiz 2009), *Neuropedagogía*, coordinado por Ana Iglesias (Iglesias, 2008) Y *Bases Biológicas de la Educación. Introducción a la Neuropedagogía*, de Burunat y Damas, son meras introducciones a la neurología (Burunat y Damas, 2002). La obra más sistemática y completa es *Neurodidáctica*, de Jesús M^a Nieto, que está dividida en cuatro partes: 1.- La aportación de las neurociencias a la psicología y la pedagogía, 2.- Anatomofisiología del sistema nervioso central, 3.- Neuropsicología cognitiva, 4.- Neurodidáctica (Nieto 2011). La obra de Maya y Rivero *Conocer el cerebro para la excelencia de la educación* es sólo un informe sobre los centros de investigación en neurociencia aplicada a la educación, y, como tal, útil (Maya y Rivero, 2010). En general, estos libros mezclan información de diferentes niveles y procedencias, lo cual no es extraño porque en términos educativos la psicología cognitiva está más adelantada que la neuroeducación, que con frecuencia se limita a dar una explicación neurológica de los conocimientos adquiridos por otro camino.

Una idea se va abriendo paso: la colaboración entre neurociencia y educación ha de ser bidireccional. Los pedagogos tienen que aprender de los neurocientíficos lo que sea útil para mejorar sus programas de actuación, y los neurocientíficos deben validar y sacar información de los métodos experimentados por los educadores. Esta cooperación recíproca está comúnmente aceptada, pero hay una tercera forma de cooperación que pretendo exponer en este artículo. La educación debe proponer una parte de la agenda investigadora de las neurociencias.

La complejidad de la situación actual, con sus oportunidades y sus retos educativos, revela la necesidad de elaborar una “Nueva Ciencia de la Educación” a la altura de las expectativas de nuestro tiempo, y con ese objetivo hemos organizado el *Centro de estudios sobre innovación y dinámicas educativas* (CEIDE), bajo el patrocinio de la Fundación SM. En una acelerada sociedad del conocimiento, la inteligencia, su constitución y expansión, el modo de potenciar sus capacidades, de conseguir unos métodos de aprendizaje más eficientes, y mantenerlos a lo largo de toda la vida, son objetivos prioritarios. En el mundo empresarial se empieza a hablar de que el próximo gran negocio será el del IQ, el del cociente intelectual. La revista FORBES dedica su portada del 19.11.2012 a “The \$ Trillion opportunity”: la educación. Comienzan a dibujarse las líneas esenciales de ese negocio: los sistemas educativos, la educación a lo largo de toda la vida, los productos potenciadores del cerebro, las interacciones cerebro-tecnologías de la información, la selección genética de la inteligencia. La envergadura de estos retos hace necesaria la aparición de una Superciencia de la educación, encargada de orientarnos hacia el futuro. La llamo Superciencia porque no sólo debería aprender de las ciencias, sino también estar en condiciones de “ponerles deberes”. En la Edad Media se decía que la filosofía era “sierva de la teología”, es decir, debía estar a su servicio. Creo que la formulación moderna de esa jerarquización debería ser: Las ciencias son

servidoras de la educación. ¿Por qué? Porque la educación es el mecanismo de desarrollo y progreso de la especie humana. La ciencia se ocupa de lo que hay, la historia de lo que ha habido; la Nueva Ciencia de la Educación, de lo que sería bueno que hubiese y de cómo fomentar las competencias personales para conseguirlo. Es, pues, una ciencia que aprovecha los conocimientos existentes para proponer objetivos educativos rigurosamente fundamentados y para elaborar los planes de entrenamiento necesarios para alcanzarlos. Es esa Nueva Ciencia de la Educación quien debe fijar la agenda de la neurociencia educativa (Geake, 2011).

Mi propuesta es que debe cumplir cuatro objetivos:

1. Ayudarnos a comprender el proceso educativo;
2. Ayudarnos a resolver los trastornos de aprendizaje de origen neurológico;
3. Ayudarnos a mejorar los procesos de aprendizaje y a ampliar las posibilidades de la inteligencia humana, sugiriendo nuevos métodos y validando los que la pedagogía elabora;
4. Ayudarnos a establecer sistemas eficaces de interacción entre cerebro y nuevas tecnologías.

2. Objetivos de la nueva ciencia de la educación

2.1. Ayudarnos a comprender el proceso educativo

Saber cómo funciona el cerebro resulta útil para todo el mundo, porque nos permite conocer sus posibilidades y la forma de cuidarlo. “¿Importa para nuestras vidas saber cómo funciona el cerebro? –escribe Damasio- Creo que importa, y mucho, sobre todo si aparte de conocer lo que actualmente somos, nos preocupamos por aquello que podemos llegar a ser” (Damasio, 2011). En un bello librito, Catherine Malabou, sostiene que “precisamente porque, en contra de lo que creemos, el cerebro no está totalmente hecho, debemos preocuparnos por qué hacer, qué hacer con esta plasticidad, con esta disponibilidad” (Malabou, 2007). Saber que podemos esculpir nuestro cerebro, y que la educación, la experiencia, el entrenamiento convierten cada cerebro en obra única, tiene una importante influencia educativa, y por eso recomendamos que se explique en las aulas, en especial al comienzo de la adolescencia, porque recibir esta información anima a los alumnos y los lleva a interpretar el estudio y el aprendizaje de manera distinta. Libros como *El cerebro se cambia a sí mismo* de Doight, resultan muy motivadores. No olvidemos que la neurociencia es una ciencia optimista, porque cada uno de sus descubrimientos aumenta las posibilidades del ser humano. Así pues, es conveniente que estos conocimientos formen parte de la cultura general.

A partir de la neurología y de la psicología cognitiva se va configurando una imagen del cerebro de gran utilidad práctica. La función del cerebro es dirigir la conducta, utilizando la información y gestionando las emociones. La inteligencia tiene dos niveles funcionales: el *computacional*, que mediante operaciones no conscientes y automáticas genera experiencias conscientes, y el *ejecutivo*, que aprovecha esa información consciente para elegir metas y dirigir las operaciones de la *inteligencia computacional* – hasta donde puede- y, a través de ellas, la conducta. La educación se encarga de facilitar el desarrollo de ambas funciones. Este esquema nos proporciona un modelo operativo muy útil y amplio, porque nos permite introducir en la educación la formación de hábitos cognitivos, emocionales y ejecutivos. El hábito es el modo como podemos modificar la inteligencia computacional (Marina 2011a, 2011b, 2012a, 2012b). Esta dualidad de funciones – computacional y ejecutiva- es admitida por muchos neurólogos

que consideran que los lóbulos frontales son el órgano de dirección de la complejísima actividad cerebral. Daniel Kahneman ha expuesto una teoría parecida en su último libro *Pensar rápido, pensar despacio* (Kahneman, 2012).

Tener una idea clara de las posibilidades de nuestro cerebro, saber que educar es cambiarlo, porque el aprendizaje supone actividad y producción de cambios neuronales, promueve un optimista modelo educativo, que aumenta la relevancia de la tarea docente. La cultura cambia el cerebro que, a su vez, cambiará la cultura. Así funciona la coevolución y en ese proceso los educadores tenemos un definido protagonismo. El final del siglo XX fue la era de la genética, pero el comienzo de nuestro siglo es la era de la epigenética. El hecho de que la expresión genética dependa del entorno —es decir, de la experiencia y de la educación— y la convicción de que la especie humana es capaz de dirigir su propia evolución, convierte a la educación en la gran estudiosa de ese proceso evolutivo. Su objeto de estudio es la comprensión y orientación de la relación entre biología y cultura, es decir, de la coevolución. Imposible pensar en una responsabilidad mayor. Desde ese punto de vista, como humilde colaborador de una ciencia megalómana, escribo este artículo, para señalar a la neurociencia algunos problemas que necesitamos que estudien.

La neurociencia aplicada a la educación también debería ocuparse de desmontar los mitos sobre el cerebro que se han extendido y en muchas ocasiones comercializado. Como escribe Bruer, “los libros sobre 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” (Bruer, 2008). Los más frecuentes, según Tokuhama-Espinosa, son: Los humanos usan el 10% de su cerebro, el cerebro tiene capacidad ilimitada, los cerebros se diferencian por su raza, todo lo importante para el cerebro sucede antes de los 3 años, las áreas del cerebro trabajan aisladas, algunas personas trabajan más con el cerebro izquierdo y otras con el cerebro derecho, los hemisferios son sistemas separados de aprendizaje, el cerebro representa objetivamente la realidad, la memorización es innecesaria para los procesos mentales complejos, el cerebro recuerda todo lo que le ha sucedido, los periodos óptimos de aprendizaje están relacionados con la neurogénesis, la enseñanza debe estar sintonizada con los periodos de sinaptogénesis, las neuronas no pueden ser reemplazadas, el cerebro es inmutable, el aprendizaje de un idioma extranjero perturba el aprendizaje del propio, el cerebro del recién nacido es una página en blanco, el cerebro y la mente están separados, el desarrollo incompleto del cerebro explica las conductas de los adolescentes, el razonamiento es lo contrario de la emoción, el aprendizaje no estructurado es superior al estructurado porque mejora las funciones neurológicas, la plasticidad es el producto de una buena pedagogía, el aprendizaje solo ocurre en el aula, la historia del alumno no afecta su aprendizaje, el aprendizaje puede ser aislado de su contenido social y emocional (Tokuhama-Espinosa, 2011).

2.2. Ayudarnos a resolver los problemas de aprendizaje de origen neurológico

No hay un consenso claro a la hora de tipificar las dificultades de aprendizaje. Los textos suelen incluir un repertorio variado, en el que se mezclan trastornos y problemas de muchos tipos —conductuales, afectivos, cognitivos- y de distinta gravedad. Daré algunos ejemplos: Trastornos del aprendizaje específicos (disfasia, dislexia, disortografía, discalculia, trastornos de la percepción visual, de la memoria, de la motricidad, de la descodificación de información, y de las funciones ejecutivas), trastornos del aprendizaje no específicos (deficiencia intelectual, hiperactividad,

autismo, etc.) y retrasos en el aprendizaje (Golstein, Naglieri y Devries 2011; Loret, 2010). El DSM IV incluye los trastornos del aprendizaje en un campo patológico más amplio (HOUSE 2003):

- Retraso mental.
- Trastornos de aprendizaje (lectura, cálculo, escritura, trastornos no especificados y no verbales).
- Trastornos académicos.
- Trastornos de la coordinación motora.
- Problemas de comunicación.
- Trastornos generalizados del desarrollo (espectro autista).

Últimamente se investiga mucho sobre los trastornos de las funciones ejecutivas, entre los que se incluyen las conductas disruptivas, el autismo, retraso intelectual, control de movimientos, trastornos de aprendizaje, trastornos del humor, ansiedad, (Hunter y Sparrow, 2012).

Para introducir un poco de orden, debemos considerar “trastornos del aprendizaje” los que se dan en niños o adultos que tienen una inteligencia normal, y que no pueden explicarse por una educación inadecuada, diferencias étnicas o culturales, problemas en la visión o el oído o retraso mental. Lo más característico es que presentan una diferencia sustancial entre sus posibilidades teóricas y sus resultados reales, una inconsistencia entre las habilidades y los logros, entre las capacidades medidas y el desempeño en determinadas áreas. En cambio, denominamos “problemas de aprendizaje” aquellos que, aunque puedan presentar síntomas parecidos a los trastornos, tienen un origen estrictamente educativo. El caso del déficit de atención es paradigmático.

Hay casos que necesitamos poder aclarar, por su especial complejidad: Por ejemplo, la categoría de “niño desorganizado”, con manifestaciones normalmente subclínicas y confusas, incluye: problemas de déficit de atención, reducidas estrategias de afrontamiento, incapacidad de aprender de la experiencia, funciones cognitivas inconstantes, preferencia por actividades muy estructuradas, falta de organización, memoria a corto plazo limitada, sentimiento de impotencia ante estímulos complejos, inquietud y pobre atención, miedo de fracasar, comprensión reducida, inhabilidad para secuenciar la información, sensibilidad limitada hacia los demás, dificultades comunicativas y sociales, dificultad para generalizar los datos, mala gestión del tiempo, pobre motivación, preferencia por la rutina, obsesiones y rituales, pobres habilidades motoras y coordinación, personalidad restrictiva, baja estima y confianza (Stein y Chowdhury, 2006). ¿Cómo puede la neurociencia ayudarnos a entender este embrollo?

A los educadores nos preocupa que la patologización precipitada de algunas conductas nos impida ver las posibilidades educativas de esos niños. Los estudios sobre “neurodiversidad”, que se centran en esas posibilidades, nos parecen muy necesarios (Amstrong 2012, Levine 2003).

2.3. Ayudarnos a mejorar los procesos de aprendizaje, a ampliar las posibilidades de la inteligencia humana, a iniciar nuevos métodos pedagógicos y a validar los métodos elaborados por la pedagogía

La tercera función de la neurociencia educativa es la que nos interesa más en este artículo: su colaboración para aclarar y mejorar los procesos de aprendizaje. Antes de hacer mi propuesta, revisaré la bibliografía para seleccionar los temas principales sugeridos por otros autores. El estudio citado de la OCDE planteaba diez problemas:

1. ¿Cuál es el balance entre natura y “nurtura” en la promoción de un aprendizaje eficaz?
2. ¿Hasta qué punto son importantes los primeros años para un aprendizaje eficaz a lo largo de toda la vida?
3. ¿Qué diferencias hay entre “desarrollo natural” y “educación cultural”?
4. Si la distinción es relevante ¿cómo podemos promover estos dos tipos de aprendizaje?
5. ¿Cómo podemos conseguir el aprendizaje eficaz de actitudes, destrezas y conocimientos específicos relacionados con la edad?
6. ¿Por qué es tan difícil la reeducación?
7. ¿Qué queremos decir con diferentes estilos de aprendizaje?
8. ¿Qué es la inteligencia?
9. ¿Qué es la inteligencia emocional?
10. ¿Cómo funciona la motivación?

Por su parte, Blakmore y Frith seleccionan los siguientes temas: ¿Es verdad que hay periodos críticos para aprender? ¿Qué ocurre si no se aprovechan? ¿Cómo aprenden los niños sobre el mundo y sobre los demás? ¿Es necesario o útil un entorno enriquecido? ¿Es eficaz enseñar a escribir a los cinco años? ¿Cuáles son los trastornos del aprendizaje más frecuentes basados en problemas neurológicos: autismo, dislexia, hiperactividad, discalculia? Gazzaniga se pregunta si podemos aumentar la capacidad de aprender mediante fármacos. Nieves Maya y Santiago Rivero, seleccionan los siguientes temas: Mecanismos de aprendizaje y modo de actuar sobre ellos para lograr mejores rendimientos. Modos de inducir la activación de ciertas funciones o estados del cerebro: la atención, la motivación, la creatividad, el control emocional, la resolución de problemas, la estimulación de las funciones ejecutivas, etc. Realización de estudios longitudinales, con objeto de determinar la extensión y la intensidad de los periodos sensibles a lo largo de la vida. Cómo plantear la educación (incluida la formación) durante las distintas fases de la evolución del cerebro, desde la infancia hasta las edades más avanzadas (Maya y Rivero, 2010). Por otro lado, Singer señala los siguientes (SINGER 2008):

- ¿Cómo está representado el conocimiento en el cerebro?
- ¿Qué conocimientos posee el cerebro del niño al nacer?
- ¿Cómo intervienen la educación y la experiencia en el desarrollo del cerebro?
- ¿Hasta qué punto el cerebro tiene control sobre los procesos que median en su desarrollo y en la adquisición del conocimiento?
- ¿Son los procesos de aprendizaje iguales en un cerebro en desarrollo que en un cerebro adulto?

Anthony Kelly reseña los principales factores que contribuyen al interés educativo por la neurociencia:

- Un deseo de fundar la educación en datos científicos seguros y no en neuromitos.
- Un aumento de los estudios de las bases neurales del pensamiento matemático.
- Los recientes progresos en comprender las bases cerebrales para los procesos de decodificación lectora.
- Las investigaciones de la psicología cognitiva sobre lectura y matemáticas que sirven para fundamentar los estudios neurológicos.
- La frustración producida por las imprecisas teorías del aprendizaje y el deseo de contrastar los resultados de los análisis cognitivos, conductuales y sociales.
- La frustración con las medidas para resolver los problemas de aprendizaje.
- El deseo de introducir y explorar nuevos métodos e investigaciones metodológicas en las ciencias sociales.

- Una urgencia para resolver temas de ética que afectan a la neurociencia y al aprendizaje.
- La meta de mejorar los métodos de aprendizaje en todo el mundo.
- La emergencia de modelos de aprendizaje más comprensivos y estables que emergen de las ciencias cognitivas y que pueden tender puentes entre el aprendizaje y la ciencia cognitiva.
- Un deseo de comprender y promover la creatividad, y de explorar la cognición en música y en otras áreas.
- El reto de la neurociencia para ampliar los límites de las tecnologías de la imagen, para elaborar tareas clínicas de aprendizaje con científicos del aprendizaje.

Michel Ferrari, tras afirmar que los tres fines de la educación son: preparar para el trabajo, buscar la verdad y facilitar el florecimiento personal, añade que cada una de estos objetivos puede necesitar una relación diferente con la neurociencia. (Ferrari 2011).

David A. Sousa, un popular divulgador de estos temas, señala los descubrimientos más relevantes para la educación (De Sousa, 2006):

- Reafirmar que el cerebro humano se reorganiza a sí mismo continuamente a partir de los inputs. Ese proceso, denominado neuroplasticidad, continua a través de toda la vida, pero es especialmente rápido en los primeros años. Las experiencias que el cerebro infantil tiene en casa o en la escuela influyen en la construcción de los circuitos neuronales que determinan lo que el cerebro va a aprender en la escuela y cómo.
- Mostrar cómo el cerebro adquiere el lenguaje hablado.
- Desarrollar programas de ordenador científicamente fundados que ayuden espectacularmente a los niños con problemas de lectura.
- Mostrar cómo las emociones afectan al aprendizaje, a la memoria y al recuerdo.
- Sugerir que el movimiento y el ejercicio mejoran el ánimo, aumentan la masa cerebral, y potencian el proceso cognitivo.
- Seguir el crecimiento y desarrollo del cerebro para comprender mejor la conducta imprevisible de los adolescentes.
- Desarrollar una comprensión más profunda de los ciclos circadianos para explicar por qué enseñar y aprender puede resultar más difícil a ciertas horas del día.
- Estudiar los efectos de la privación de sueño y el estrés sobre el aprendizaje y la memoria.
- Reconocer que la inteligencia y la creatividad son habilidades separadas, y que ambas pueden ser modificadas por el entorno y la escuela.

2.4. Ayudarnos a establecer sistemas eficaces de interacción entre cerebro y nuevas tecnologías

Las nuevas tecnologías plantean varios problemas educativos. El primero es su utilización pedagógica en el momento actual. El segundo, saber si la utilización masiva de nuevas tecnologías está cambiando la gestión del cerebro. Por último, investigar el modo como las competencias de la inteligencia humana pueden ser mejoradas por la comunicación entre cerebros y ordenadores.

3. Conclusiones. Una petición a la neurociencia

Después de revisar la situación actual, me atrevo a hacer una “relación de deberes educativos” para la neurociencia:

3.1. Temas relacionados con la inteligencia y el aprendizaje en general

Lo primero que preocupa a los docentes es si el Cociente Intelectual está genéticamente determinado o se puede mejorar. El mercado está lleno de planes de mejora de la inteligencia, como el de Feurstein, o el de Bretnizk, o el de Doman. ¿Qué tiene que decir la neurociencia de ellos? Hay algunas características que parecen innatas, por ejemplo, la capacidad de memoria. Susumu Tonegawa y Eric Kandel identificaron un gen específico fundamental en la formación de recuerdos. ¿Significa esto una limitación insuperable? Otra característica parece ser la velocidad de transmisión del impulso nervioso. ¿Nos encontramos de nuevo con un límite genéticamente establecido?

Las investigaciones de Baumeister indican que el cerebro tiene una “energía limitada” y que, por esta razón, no funciona con la misma eficacia en un momento de descanso que en un momento de agotamiento cognitivo. (Schmeichel y Baumeister, 2007). ¿Se puede aumentar esa energía? ¿Qué relación tiene con la atención y con la motivación? La habilidad asociada a una acción cambia conforme la habilidad aumenta, con menos zonas del cerebro implicadas. Individuos muy inteligentes necesitan menos esfuerzo para resolver los mismos problemas (Kanehman 1997, 2012). ¿Qué aplicación a la escuela tienen estos descubrimientos? Para ajustar una educación diferenciada debemos conocer mejor las diferencias –si las hay– entre el cerebro masculino y femenino, los diferentes estilos de aprendizaje, la existencia o no de períodos críticos de aprendizaje, y las diferencias en el modo de aprender a lo largo de toda la vida. Para el mundo educativo es importante conocer cómo pueden afectar al aprendizaje los nuevos descubrimientos sobre la neurología del adolescente (Spear, 2010). El cerebro del bebé no es una tabla rasa, ni una página en blanco. ¿Qué conocimientos sobre el mundo están preprogramados? (Pinker, 2002)

De vital importancia es el modo de mejorar el aprendizaje y hacerlo más rápido, fácil y eficiente. Varios estudios señalan la necesidad de conceder un tiempo de asimilación entre la presentación de nuevos contenidos, y la conveniencia de periodos de ejercicio físico, porque mejorar la asimilación. Otro asunto de relevancia educativa es el carácter modular o integrado del cerebro. Esto tiene también relación con un problema educativo de primera magnitud: la posibilidad de transferir conocimientos o habilidades de un campo a otro.

Nos parece interesante la investigación de Mel Levine sobre las funciones neuroevolutivas, y su importancia en el aprendizaje, porque ha identificado ocho funciones, cuyo déficit puede causar trastornos en el aprendizaje, pero un déficit que puede prevenirse o reeducarse. Esas funciones son: control de la atención, memoria lingüística, ordenación espacial, ordenación secuencial, motora, pensamiento de orden superior y pensamiento social (Levine, 2003). Profundizar en las características neurológicas de estas funciones nos parece fundamental para la escuela. Igualmente resulta fundamental continuar las investigaciones sobre la relación del aprendizaje con las emociones y la motivación.

Necesitamos conocer mejor las posibilidades educativas o re-educativas de los trastornos y problemas de aprendizaje, a los que ya me he referido, y también comprender mejor el fenómeno de los alumnos con altas capacidades.

3.2. La educación de la inteligencia generadora o computacional

La inteligencia generadora es el conjunto de operaciones que el cerebro realiza para captar, elaborar, guardar información. Una parte de la información manejada pasa a estado consciente, en forma de ideas, imágenes, o sentimientos. La educación de la inteligencia generadora puede, pues, interpretarse como una educación del inconsciente, es decir, de todas las operaciones que el cerebro realiza (Marina, 2012b). Algunos autores han calculado que sólo el 5% de nuestro comportamiento es consciente, (Solms, M. y Turnbull, 2004; Bargh y Chartrand, 1999).

La educación del inconsciente consiste en estructurar los mapas cognitivos y los procedimientos, de tal manera que permitan que la inteligencia capte eficazmente la información y produzca ideas, sentimientos o deseos adecuados a la situación. A partir de la neurociencia, debemos saber cómo organizar la información en la memoria a largo plazo para que la actividad de la *inteligencia computacional* sea eficiente. Las ideas, imágenes, asociaciones, recuerdos proceden de operaciones no conscientes. ¿Cómo organizar esa maquinaria computacional? Sabemos que hay operaciones preprogramadas, y que otras se adquieren mediante entrenamiento. Sabemos que los hábitos nos permiten realizar operaciones complejas automáticamente, y que formamos mapas conceptuales en la memoria a partir de los cuales captamos la información. Los psicólogos distinguen entre memoria *explícita e implícita*, dividiendo a aquella en *episódica y semántica*, e identificando esta como una memoria procedimental. ¿Es neurológicamente admisible esta distinción? ¿No es todo recuerdo el resultado de una operación? La dificultad de separar en el lenguaje el léxico de su utilización sintáctica, parece indicar que ambas memorias trabajan juntas. Es importante conocer la mejor manera de organizar los contenidos en la memoria de tal manera que faciliten y promuevan las operaciones intelectuales de alto nivel (De Sousa, 2006) y, en especial, si podemos unificar la memoria semántica y la procedimental, de tal manera que los mismos contenidos lleven implícitos los procedimientos para su utilización y explotación mental. ¿No podríamos de esa manera mejorar la capacidad de comprensión y de resolver problemas?

Los procedimientos son hábitos, es decir, pautas estables de respuesta. Y es posible que toda consolidación en la memoria se haga por un proceso parecido. Los hábitos tienen la gran ventaja de automatizar las operaciones, de tal manera que no exigen carga de atención. ¿Cómo se forman los hábitos? (Marina, 2012c)

Los hábitos de pensamiento, razonamiento y creatividad también se pueden aprender. La neurociencia puede ayudarnos analizando las operaciones, y proporcionándonos indicaciones de cómo podemos aprenderlas mejor. Pondré un ejemplo referente al pensamiento creativo. Geake ha investigado el modo como el cerebro consigue pensar creativamente. Genera *insights*, compone música, hace juegos de ingenio, resuelve problemas difíciles, escribe poemas, etc. Se ha centrado en el estudio de las analogías. Los docentes deben fomentar un uso fluido de analogías, una tarea que realiza la *working memory*. La educación se interesa en cómo aumentar esa capacidad, mientras que la neurociencia investiga cómo puede el cerebro realizar esa actividad. La fMRI (imagen por resonancia magnética funcional) demuestra que la capacidad de hacer analogías es un proceso básico para todos los retos cognitivos, lo que va en contra de una simplista teoría de las inteligencias múltiples. Una consecuencia de sus investigaciones es que la creatividad necesita conocimiento, y que por eso los maestros deben animar a aprender cosas. Al ser una habilidad de la inteligencia general, sería interesante hacer una pedagogía de la analogía. Geake es muy tajante: “The pedagogic route to enhance

ing creative intelligence lies in fluid analogical thinking” (Geake, 2010)

Jeff Hawkins un gran experto en Inteligencia Artificial, también ha intentado identificar una función general del cerebro. Considera que es la formación y almacenamiento de patrones y la capacidad para recuperar un patrón completo a partir de una parte de ese patrón. De ese modo hace predicciones. “El cerebro humano –escribe– es más inteligente que el de otros animales porque puede hacer predicciones sobre tipos de patrones más abstractos y sobre secuencias más largas de patrones temporales “Somos capaces de ver analogías más profundas, más estructura en la estructura que otros mamíferos.”, dice Hawkins (Hawkins, 2005). Es fácil ver que las posiciones de Geake y de Hawkins son muy cercanas. Si queremos ayudar a formar una inteligencia creativa, tendremos que entrenarla en reconocer patrones, en su enriquecimiento, y en la capacidad de reconstruir un patrón a partir de un fragmento, lo que permite la analogía y el pensamiento metafórico.

La comprensión, el *insight*, es un fenómeno complejo, como sabemos todos los docentes. ¿Por qué tras una misma explicación unos alumnos comprenden y otros no aunque posean los conocimientos necesarios para hacerlo? El sujeto no puede darse la orden de comprender algo. Sólo puede ensayar algunas técnicas para conseguirlo: buscar un ejemplo, variar la exposición, buscar parecidos con otra cosa, etc. Si al final tiene suerte, la información bruscamente se reestructurará y aparecerá el significado. ¿Nos puede ayudar la neurociencia a explicar este fenómeno?

Existen hábitos afectivos. Las personas tienen estilos aprendidos de responder emocionalmente. Davidson ha analizado la neurología de estos perfiles afectivos, y es muy probable que se puedan educar o reeducar. Necesitamos más información sobre el modo de hacerlo (Davidson, 2012).

3.3. La educación de la inteligencia ejecutiva

A partir de la información en estado consciente, las funciones ejecutivas del cerebro fijan metas, rechazan o aceptan las sugerencias de la inteligencia generadora, toman decisiones, mantienen el esfuerzo, activan la memoria de trabajo, monitorizan el trabajo de la inteligencia computacional. La capacidad de controlar las propias actividades mentales supone en mayor salto evolutivo de la inteligencia. Estas funciones tienen su sede en los lóbulos frontales, y si sufren algún deterioro resulta afectada la capacidad de guiar adecuadamente el comportamiento. La investigación sobre las funciones ejecutivas ha aislado ocho fundamentales (Tirapu et al., 2012):

1. Inhibir la respuesta. No dejarse llevar por la impulsividad.
2. Dirigir la atención. Poder concentrarse en una tarea, y saber evitar las distracciones.
3. Control emocional. La capacidad para resistir los movimientos emocionales que perturban la acción.
4. Planificación y organización de metas.
5. Inicio y mantenimiento de la acción. Hay niños y adultos que son muy lentos en comenzar una tarea o en mantenerla.
6. Flexibilidad. La capacidad de cambiar de estrategia, de aprender cosas nuevas o de aprender de los errores.
7. Manejo de la memoria de trabajo. Capacidad para aprovechar los conocimientos que se tienen.
8. Manejo de la metacognición. Reflexionar sobre nuestro modo de pensar o de actuar, con el fin de mejorarlo. En España tenemos un importante grupo de neurólogos trabajando sobre las funciones ejecutivas.

Los pedagogos han elaborado métodos de aprendizaje para las siguientes funciones: la activación, la inhibición de la impulsividad, la flexibilidad cognitiva, la planificación, la memoria de trabajo, la regulación emocional, el control de la atención y la perseverancia (Gagne, Leblanc, Rousseau, 2009; Caron, 2011). La capacidad de autocontrol está relacionada con la gestión de la atención voluntaria, la regulación emocional, el control del esfuerzo, la construcción de la conciencia moral, la empatía, las conductas prosociales, la tolerancia a la frustración y la capacidad de aplazar la recompensa (Eisenberg, Smith, Sadovsky, Spinrad, 2007). En los programas de la Universidad de Padres (www.universidaddepadres.es) fomentamos cada una de esas competencias de manera independiente, en momentos distintos de la evolución del niño, con la convicción de que por distintos caminos estamos favoreciendo la educación de los sistemas ejecutivos. No es de extrañar que estemos asistiendo a una invasión de textos sobre educación de estas funciones (Kutscher, 2009; Dawson y Guare, 2003 y 2009; Meltzer, Cooper-Kahu, 2008, Gagne, Leblanc, Rousseau, 2009, Caron 2011).

Es en este campo donde la proximidad entre la neurociencia y la educación es más prometedor, pero también donde plantea problemas más serios, por ejemplo el de la libertad. Uno de los objetivos educativos básicos es fomentar la autonomía de las personas. Sin embargo, la neurociencia tiene dificultades para admitir la libertad. Los experimentos de Libet mostraron que 200 milisegundos antes de tomar la decisión de hacer un movimiento ya se han activado las zonas premotoras correspondientes (Gazzaniga, 2012). La conciencia, pues, va siempre un poco retrasada respecto de los acontecimientos neuronales y, por lo tanto, no tomamos decisiones libres, sino que sólo aceptamos las decisiones tomadas por nuestra inteligencia computacional. En *La inteligencia ejecutiva* he propuesto una solución a este complejo problema que necesita, sin duda, ulteriores investigaciones (Marina, 2012a). Otro tema importante de investigación neurocientífica debe ser el papel que juega el habla interior en el control de la propia conducta, su eficacia en el tratamiento de la hiperactividad (Winsler et al., 2009). En los últimos años han aparecido estudios neurológicos acerca de los comportamientos éticos, que deben ser tenidos forzosamente en cuenta en la educación (Gazzaniga, 2006). Bajo el nombre de “neuroeconomía” se están estudiando los mecanismos neuronales de la decisión, de la elección de metas, y de la percepción de valores, conocimientos que deben aplicarse no solo a la economía, sino a los procesos educativos (Glimcher et al., 2009)

La neurociencia nos ha permitido comprender que los grandes objetivos de la educación son ayudar a formar la inteligencia computacional y la inteligencia ejecutiva, y a conseguir una fluida, flexible y eficiente relación entre ambas.

3.4. Ayudarnos a establecer sistemas eficaces de interacción entre cerebro y nuevas tecnologías

Los sistemas educativos de todo el mundo se enfrentan con el problema de aprovechar de la manera más eficaz las nuevas tecnologías dentro de los procesos de aprendizaje (Fundación Telefónica, 2012). Necesitamos que la neurociencia estudie con más profundidad esta cooperación. No se trata de investigar sobre las posibilidades reales de modelos visionarios como el de Kurwheiler, de interacción cerebro- máquina, sino de una reasignación de tareas. ¿Cómo pueden hibridarse operaciones computacionales realizadas por cerebros naturales y por cerebros artificiales? ¿Cómo afectan al cerebro las multitareas facilitadas por las TIC? ¿Estamos asistiendo a una nueva gestión de nuestro cerebro, como sugieren Nicholas Carr y otros autores? (Carr, 2011).

Los problemas aumentan al compás que aumentan las oportunidades. Nos encontramos frente a una Nueva Frontera Educativa que exige de nosotros más conocimiento, más cooperación, y más esfuerzo. En este marco, la colaboración entre las neurociencias y la pedagogía resulta imprescindible. Y, aunque en este momento parezca una presunción exagerada, creo que la Nueva Ciencia de la Educación debe ocuparse de definir, conocer y explorar esa nueva frontera, pidiendo la ayuda necesaria a la ciencia, que está éticamente obligada a colaborar.

Referencias bibliográficas

- AMSTRONG, T. (2012): *El poder de la neurodiversidad*. Paidós, Barcelona.
- ANSARI, D.; COCH, D. y SMETH, B. (2011): "Connecting Education and Cognitive Neuroscience: Where will the journey take us?" en PATTEN, K.E. y CAMPBELL, S.R. *Educational Neuroscience*. Wiley. Blackwell, Chichester UK.
- BARGH, J.A. y CHARTRAND, T.L. (1999): The unbearable automaticity of being, *American Psychologist*.
- BATTRO, A.M.; FISCHER, K.W. y LÉNA, P.J. (eds.) (2008): *The educated Brain*. Cambridge University Press, Cambridge.
- BLAKEMORE, S-J, y FRITH, U. (2007): *Cómo aprende el cerebro*. Ariel, Barcelona.
- BRUER, J.T. (2008): "In Search of...Brain Based education", en *The Jossey-Bass Reader on The Brain and Learning*. Wiley, San Francisco.
- BURUNAT, E. y DAMAS, M del C. (2002): *Bases Biológicas de la Educación. Introducción a la Neuropedagogía*. Arte, Santa Cruz de Tenerife.
- CARR, N. (2011): *Superficiales. ¿Qué está haciendo internet con nuestras mentes?* Taurus, Madrid.
- CARON, L. (2011): *Être attentive, c'est bien...Persister, c'est mieux!*. Chenélière, Québec.
- DAVIDSON, R.J. (2012): *El perfil emocional*. Destino, Barcelona.
- DE SOUSA, D.A. (2006): *How the Brain Learns*. Corwin Press, Thousand Oaks, CAL.
- EISENBERG, N.; SMITH, C.L.; SADOVSKY, A.; SPINRAD, T.L. (2007): "Effortful Control", en BAUMEISTER, R.F. y VOHS, K.D. *Handbook of Self-Regulation*. The Guilford Press, Nueva York.
- FERRARI, M. (2011): "What Can Neuroscience Bring to Education", en PATTEN, K.E. Y CAMPBELL, S.R. *Educational Neuroscience*. Wiley.Blackwell, Chichester UK.
- FUNDACION TELEFONICA (2012): *Aprender con tecnología*. Ariel, Barcelona.
- GAGNÉ, P.P.; LEBLANC, N.; ROUSSEAU, A. (2009): *Apprendre: une question de stratégie*. Chenélière, Montreal.
- GAZZANIGA, M. (2002): *Cognitive Neuroscience*. Norton & Co, Nueva York.
- (2006): *EL cerebro ético*. Paidós, Barcelona.
- GEAKE, J. (2011): "Position Statement on Motivations, methodologies, and Practical Implications of Educational Neuroscience Research: fMRI studies of the neural correlates of creative intelligence", en PATTEN, K.E. Y CAMPBELL, S.R. *Educational Neuroscience*. Wiley.Blackwell, Chichester UK.
- GLIMCHER, P.W.; CAMERES, C.F.; FEHR, E. y POLDRACK, R.A. (2009): *Neuroeconomics. Decision making and the Brain*. Elsevier, Londres.
- HAWKINS, J y BLAKESLEE, s. (2005): *Sobre la inteligencia*. Espasa Calpe, Madrid.
- HOUSE, A.E. (1999): *DSM-IV. El diagnóstico en la edad escolar*. Alianza, Madrid.
- JACOBSON, L.A. y MAHONY, E, M. (2012): "Educational implications of executive dysfunction", en HUNTER, S.J. y SPARROW, E.P. (Eds) *Executive Functions and Dysfunction*. Cambridge University Press, Cambridge.
- KAHNEMAN, D. (1997): *Atención y esfuerzo*. Biblioteca Nueva, Madrid.
- (2012): *Pensar rápido, pensar despacio*. Debate, Barcelona.
- KUTSCHER, M.L. Y MORAN, M. (2009): *Organizing the Disorganized Child: Simple Strategies to succeed in School*. Harper, Nueva York.
- LEVINE, M. (2003): *Mentes diferentes, aprendizajes diferentes*. Paidós, Barcelona.
- MALABOU, C. (2007): *¿Qué hacer con nuestro cerebro?* Arena Libros, Madrid.
- MARINA, J.A. (2011): *El cerebro infantil: la gran oportunidad*. Ariel, Barcelona.
- (2011): "La educación de los sistemas ejecutivos", *Pediatría Integral*, XV, 8, pp. 794-797.
- (2012): *La inteligencia ejecutiva*, Ariel, Barcelona.
- (2012): "La educación del inconsciente", en *Pediatría integral*.
- (2012): "Los hábitos, clave de la educación", en *Pediatría integral*.
- MAYA, N. y RIVERO, S. (2010): *Conocer el cerebro para la excelencia en la educación*. Innobasque, Zamudio.
- MELTZEN, L. (2010): *Promoting Executive Function in the Classroom*, Guilford, New York.
- MORA, F. (2007): *Neurocultura. Una cultura basada en el cerebro*. Alianza, Madrid.
- NIETO, J.M. (2011): *Neurodidáctica*. CCS, Madrid.
- ORTIZ, T. (2009): *Neurociencia y Educación*. Alianza, Madrid.
- PÉREZ ÁLVAREZ, M. (2011): *El mito del cerebro creador*. Alianza, Madrid.
- PINKER, S. (2002): *La tabla rasa*. Paidós, Barcelona.
- SINGER, W. (2008): "Epigenesis and brain plasticity in education", en BATTRO, A.M.; FISCHER, K.W. y LÉNA, P.J. (eds) (2008) *The educated Brain*. Cambridge University Press, Cambridge.
- SCHMEICHEL, B.J. y BAUMEISTER, R.E. (2007): "Self-regulation Strength", en BAUMEISTER, R.F. y VOHS, K.D. *Handbook of Self-Regulation*. The Guilford Press, Nueva York.
- SOLMS, M. y TURNBULL, O. (2004): *El cerebro y el mundo interior*. FCE, Mexico.
- SPEAR, L. (2010): *The Behavioral Neuroscience and Adolescence*. Norton, New York.
- TIRAPU USTÁRROZ, J.; GARCIA MOLINA, A.; RIOS LAGO, M. y ARDILA, A. (Eds.) (2012): *Neuropsicología de la corteza prefrontal y las funciones ejecutivas*. Viguera, Barcelona.
- TOKUHAMA-ESPINOSA, T. (2011): *Mind, Brain, and education Science. A Comprehensive guide to the new brain-based teaching*. W.Norton, Nueva York.
- WINSLER, A.M.; FRENTHOUGH, C. y MONTERO, I. (2009): *Private Speech, Executive functioning, and the Development of Verbal Self-regulation*. Cambridge University Press, New York

El autor

José Antonio Marina

Estudió filosofía en la Universidad Complutense de Madrid, ejerció como catedrático de Filosofía de Instituto y es Doctor Honoris Causa por la Universidad Politécnica de Valencia. Su labor investigadora y su vocación intelectual le han permitido adentrarse en multitud de ámbitos de interés humanístico, desde una perspectiva fenomenológica y con un claro propósito pedagógico. En esta tarea ha desarrollado una incansable actividad ensayística y de alta divulgación que se ha concretado en la publicación de cerca de cuarenta libros, una decena de colaboraciones en otros tantos, y centenares de artículos, conferencias y entrevistas. Su vocación pedagógica le ha llevado a desarrollar una “movilización educativa”, con el objetivo de mejorar significativamente la educación española, tratando de involucrar en esta tarea a todos los sectores sociales concernidos; la *Universidad de Padres* ha sido una de sus concreciones más recientes. José Antonio Marina ha recibido una decena de premios en reconocimiento a su labor intelectual y divulgativa, así como la Medalla de Oro de Castilla-La Mancha, región de la que es natural.



Ignacio Morgado Bernal

Institut de Neurociència, Departament de Psicobiologia i de Metodologia de les Ciències de la Salut, Facultat de Psicologia, Universitat Autònoma de Barcelona.

Resumen

El conocimiento que nos proporciona actualmente la neurociencia sobre el modo en que el cerebro registra y almacena la información nos permite identificar los procedimientos más eficaces para conseguir una enseñanza de calidad. Si la práctica repetida es esencial para establecer hábitos motores y mentales, el conocimiento semántico requiere comparación y contraste entre informaciones diferentes. Ello pone en juego al hipocampo, una estructura del cerebro crítica para establecer memorias flexibles y relacionales. Evocar explícitamente, es decir, verbalmente o por escrito, los recuerdos es el mejor modo de reforzar y garantizar el aprendizaje.

Palabras clave: sinapsis, representaciones neuronales, hábitos, memoria semántica, hipocampo

Abstract

The knowledge that currently provides us neuroscience about the way in which the brain records and stores the information allows us to identify the most effective procedures to get a quality education. If repeated practice is essential to establish motor and mental habits, semantic knowledge requires comparison and contrast between different types of information. This comes into play the hippocampus, a brain structure critical to establish flexible and relational memories. Evoke explicitly, i.e., orally or in writing, the memories is the best way to strengthen and ensure learning.

Keywords: synapses, neural representations, habits, semantic memory, hippocampus

1. Introducción

Las estadísticas y los rankings internacionales actuales no dejan en buen lugar a la educación en nuestro país. Los cambios de planes académicos y las carencias en recursos para implementar una educación de calidad son circunstancias que promueven la preocupación, el debate y el nerviosismo entre los enseñantes. En este escenario quizá no venga mal una reflexión sobre el conocimiento científico actual relacionado con las capacidades del cerebro y la mente humana para aprender y adquirir conocimientos. Ello puede ayudarnos a potenciar, en lugar de despreciar, lo bueno que ya tengamos, y a evitar caminos equivocados o infructuosos que pudieran contribuir a empeorar la situación.

2. Qué pasa en el cerebro cuando aprendemos

En los últimos años la neurociencia nos ha enseñado mucho sobre cómo el cerebro humano representa y almacena la información. Aprender significa básicamente adquirir nuevas representaciones neuronales de información y establecer relaciones funcionales entre ellas y las ya existentes en el cerebro. Ello es posible porque cuando aprendemos se forman nuevas conexiones (sinapsis), o se fortalecen e incluso desaparecen muchas de las ya existentes entre las neuronas que albergan el conocimiento. La representación neuronal de, por ejemplo, Miguel de Cervantes, puede quedar ligada por aprendizaje a la de su obra inmortal, El Quijote, y la que representa a un buen vino puede hacerlo con la denominación Rioja. En 1894, el médico aragonés Santiago Ramón y Cajal intuyó el mecanismo fisiológico que hace posible esas conexiones o ligamientos entre las neuronas y ahora la moderna neurociencia y la psicobiología nos están desvelando los detalles. Las neuronas se conectan entre ellas emitiendo minúsculos brotes, llamados espinas dendríticas, capaces de alcanzar a otras neuronas y establecer con ellas nuevas conexiones (sinapsis funcionales). Para que eso

ocurra, la situación de aprendizaje ha de inducir en las neuronas un complicado proceso de activación simultánea o secuencial de decenas de iones y moléculas químicas. Es un proceso que puede durar de minutos hasta días, e incluye la activación de genes y la síntesis de las proteínas necesarias para crear y estabilizar nuevas espinas dendríticas y sus conexiones funcionales en los circuitos neuronales pertinentes. Además, muchas de las memorias o representaciones neuronales sufren un proceso de migración desde los lugares del cerebro, como el hipocampo, donde originalmente se forman, hasta otras partes del mismo, como la corteza cerebral. Esa migración puede durar incluso meses, y, aunque todavía no sabemos bien cómo tiene lugar, resulta crítica para establecer memorias consistentes y duraderas (para más detalles véase Morgado, 2007 y 2011).

3. Aprendizaje de hábitos versus aprendizaje relacional

Cuando aprendemos o enseñamos es por tanto muy importante establecer las condiciones que activan y facilitan dichos mecanismos, es decir, las condiciones que el cerebro requiere para hacerlo con eficacia. Para adquirir hábitos motores, como montar en bicicleta o tocar el piano, o mentales, como el cálculo matemático o aprender una lengua extranjera, de lo que se trata es de formar y fortalecer las conexiones cerebrales que conducen siempre a las respuestas requeridas. En ese caso pueden ponerse en juego estructuras como los núcleos subcorticales del cerebro, cuyas conexiones neuronales son resistentes a su formación, pero muy consistentes y duraderas una vez establecidas. La forma de conseguirlo es la repetición, pues es lo que activa suficientemente el proceso bioquímico que forma, refuerza y estabiliza las conexiones neuronales pertinentes. Si al aprender no practicamos lo suficiente, las conexiones no se estabilizan y podemos acabar por abandonar al no sentirnos ni diestros ni seguros en el oficio.

Es un hecho bien conocido que la práctica perfecciona y practicar mucho es lo que solemos hacer para adquirir un hábito motor, pero no es lo que solemos hacer cuando tratamos de adquirir hábitos mentales, como aprender una lengua extranjera, pues nos equivocamos más de una vez intentando adquirirla con dos o tres clases a la semana. Eso ya sabemos que es imposible. La neurociencia también nos enseña que en la temprana infancia el cerebro es muy plástico y tiene por tanto más capacidad para establecer conexiones rígidas y potentes entre las neuronas que en otras épocas de la vida. Eso es muy importante a la hora de adquirir una nueva lengua, particularmente su fonética, pues ya hace tiempo que disponemos de estudios científicos que muestran que nacemos con una parte de la corteza frontal del cerebro especialmente capacitada para albergar las representaciones precisas de las lenguas que adquirimos en la temprana infancia, estableciéndose en áreas diferentes y menos habilitadas para hacerlo cuando las adquirimos más tardíamente (Kim et al, *Nature*, 1997). De todo ello se deriva que sólo la inmersión lingüística temprana y la práctica continuada pueden garantizar un conocimiento preciso y fluido de una nueva lengua. Como ha sugerido el científico catalán Jorge Wagensberg, desde el punto de vista educativo, los primeros cinco o seis años de la vida deberían dedicarse preferentemente a aprender diferentes lenguas y no sólo la materna, pues el cerebro humano tiene sobrada capacidad para hacerlo.

Por otro lado, cuando tratamos de adquirir conocimiento semántico, como el correspondiente a una materia literaria o científica, caracterizada por su complejidad y versatilidad interpretativa y expresiva; más que unas pocas y rígidas conexiones, el cerebro necesita establecer múltiples y flexibles conexiones o sinapsis entre una mayor variedad de representaciones neuronales, muchas de las cuales se encuentran en la corteza cerebral. Es entonces cuando se pone en juego el hipocampo, una estructura del cerebro situada en el lóbulo temporal medial del cerebro y muy importante para poder establecer ese nuevo tipo de conexiones y representaciones neuronales. Su organización celular y sus relaciones anatómicas, particularmente con la corteza cerebral, lo hacen ideal para establecer las conexiones funcionales y la flexibilidad que caracterizan a las memorias semánticas y episódicas, es decir, a las memorias explícitas, verbalmente declarables y susceptibles de implicar relaciones diversas entre diferentes tipos de conocimiento. El hipocampo es una estructura básicamente asociativa en la que se han estudiado la mayoría de los procesos fisiológicos y moleculares que conocemos sobre la memoria. Es asimismo una de las primeras regiones del cerebro que se deterioran en enfermedades neurodegenerativas, como el Alzheimer.

Cuando el hipocampo funciona se forman memorias relacionales y flexibles, susceptibles de evocarse en situaciones o contextos variados y diferentes al que originalmente generó el aprendizaje. Pero el mejor modo de conseguirlo ahora no consiste en repetir y repetir, es decir, en practicar lo máximo posible como para formar hábitos motores o mentales, sino en la comparación y el contraste entre informaciones múltiples y diversas. Las actitudes pasivas, como la simple lectura o la toma y relectura de apuntes sin guía ni objetivos precisos, no son la mejor manera de formar memorias relacionales y flexibles, pues más bien tienden a formar memorias rígidas, que sirven de muy poco cuando se trata de evocar el recuerdo en contextos o modos diferentes a lo ya conocido. Sí lo son procedimientos como analizar las diferencias o similitudes entre textos o informaciones variadas, el buscar los datos y el conocimiento que permita dar respuesta a cuestiones concretas previamente planteadas, el tratar de resumir o sintetizar lo esencial de un texto, el hacer inferencias o deducciones sobre la información disponible o el buscar soluciones alternativas a las ya conocidas para un determinado problema. Éstas y otras muchas y posibles actividades de similar naturaleza, esta-

blecidas por el propio sujeto que aprende o sus enseñantes, tienen en común el ser formas de aprendizaje activo que incitan a la comparación y el contraste, activando por ello el hipocampo y la formación del tipo de conexiones cerebrales que albergan las memorias relacionales. Son formas útiles en todos los niveles del conocimiento, y suelen ser las que utilizan los buenos profesores para preparar sus clases o dar conferencias. La mejor forma de aprender es tratar de enseñar, por lo que la mejor forma de enseñar consiste, precisamente, en inducir a quien aprende a hacerlo del mismo modo.

Figura 1. Neuronas en el hipocampo de la rata



Fuente: Laboratorio Cajal de Circuitos Corticales, Universidad Politécnica de Madrid y Laboratorio de Psicobiología, Universidad Autónoma de Barcelona

4. Cuándo ha tenido lugar el aprendizaje

Ello nos lleva a uno de los aspectos más relevantes implicados en la adquisición del conocimiento semántico, que es el ejercicio explícito de lo aprendido. Nadie puede estar seguro de saber algo si no lo ha demostrado explícitamente, es decir, exponiéndolo verbalmente o por escrito. Nunca debemos engañarnos creyendo que ya sabemos algo simplemente porque esa es la impresión mental que tenemos. Hay que demostrarlo prácticamente y ese es también el mejor modo de aprender, es decir, reconstruyendo el conocimiento adquirido, lo que induce a su comprensión y permite además descubrir las lagunas inadvertidas sobre el mismo. Eso es también lo que permite orientar y dirigir la búsqueda de la nueva información necesaria para completar y perfeccionar lo que ya sabemos. De ahí las enormes ventajas de procedimientos como los exámenes o pruebas orales, pues incitan al tipo de estudio anteriormente indicado, el que garantiza la comprensión del conocimiento adquirido y la flexibilidad en su expresión. Los enseñantes experimentados saben muy bien cómo se aclara la lengua (o la pluma) cuando se aclara la mente, es decir, el cerebro. Un estudio reciente con 80 alumnos de instituto en los EEUU ha mostrado que la técnica de aprendizaje que produjo mejores resultados consistió precisamente en explicar lo que se ha aprendido, más que el encerrarse a releer o incluso hacer esquemas (*El País*, 30 Enero y Karpicke y Blunt, *Science*, 2011). Dicho de otro modo, el aprendizaje no sólo ocurre cuando estudiamos sino también cuando evaluamos lo estudiado pues el hecho de evocar lo conocido no solo evalúa, sino que también potencia la memoria (Pyc y Rawson, *Science*, 2010).

5. Cómo enseñar, cómo aprender

Como hemos dicho, los procesos fisiológicos de formación de la memoria y de integración de la nueva información adquirida con la ya existente en el cerebro son complejos y lentos, además de susceptibles de interferencias cuando se acumula mucha información en muy poco tiempo. Por eso el aprendizaje distribuido es más eficaz que el intensivo, pues evita interferencias y da tiempo a que cursen los lentos procesos que subyacen a la formación de memorias consistentes. Ahora sabemos también que una de las funciones del sueño consiste en favorecer y consolidar lo que aprendemos durante el día, por lo que intercalar períodos de sueño nocturno entre sesiones de aprendizaje es también una buena manera de robustecer las memorias. De ahí también que sea más útil estudiar poco con frecuencia que mucho pocas veces. El aprendizaje intensivo en vísperas de una prueba o examen puede servir para pasar la prueba si no es demasiado complicada, pero no sirve para consolidar el conocimiento adquirido ni para darle flexibilidad. El aprendizaje intensivo y poco distribuido tiende a formar memorias rígidas y hace por tanto que se fracase en las pruebas que se presentan con una estructura cambiada con respecto a la que se utilizó para adquirirlo. El experimento anteriormente citado de alumnos norteamericanos mostró también un mayor rendimiento en los que estudiaron en varias sesiones comparados con los que lo hicieron en una sola.

Hay modos diferentes de enseñar pero los más eficaces son por tanto los que, asumiendo a priori las características del conocimiento que se quiere transmitir (p.ej. rigidez *vs.* flexibilidad en la expresión del mismo) incitan a la estructura cognitiva necesaria para guiar el aprendizaje favoreciendo los procesos cerebrales

requeridos en cada caso. El aprendizaje activo es siempre la clave, tanto si se trata de repetir para adquirir hábitos como si se trata de reconstruir la información para establecer las relaciones funcionales que dan flexibilidad a las memorias. Nada de ello se opone a la llamada libertad de cátedra, pues son muchos y variados los procedimientos pedagógicos que permiten alcanzar esos objetivos. Pero sí se oponen a ello las rigideces en la planificación académica y los procedimientos que impidiendo esa libertad acaban convirtiendo la enseñanza en rutinas burocratizadas. En definitiva, no son muchas las reglas verdaderamente críticas para una enseñanza de calidad, incluida la que permite a cada enseñante adaptarlas a sus propias condiciones y experiencia.

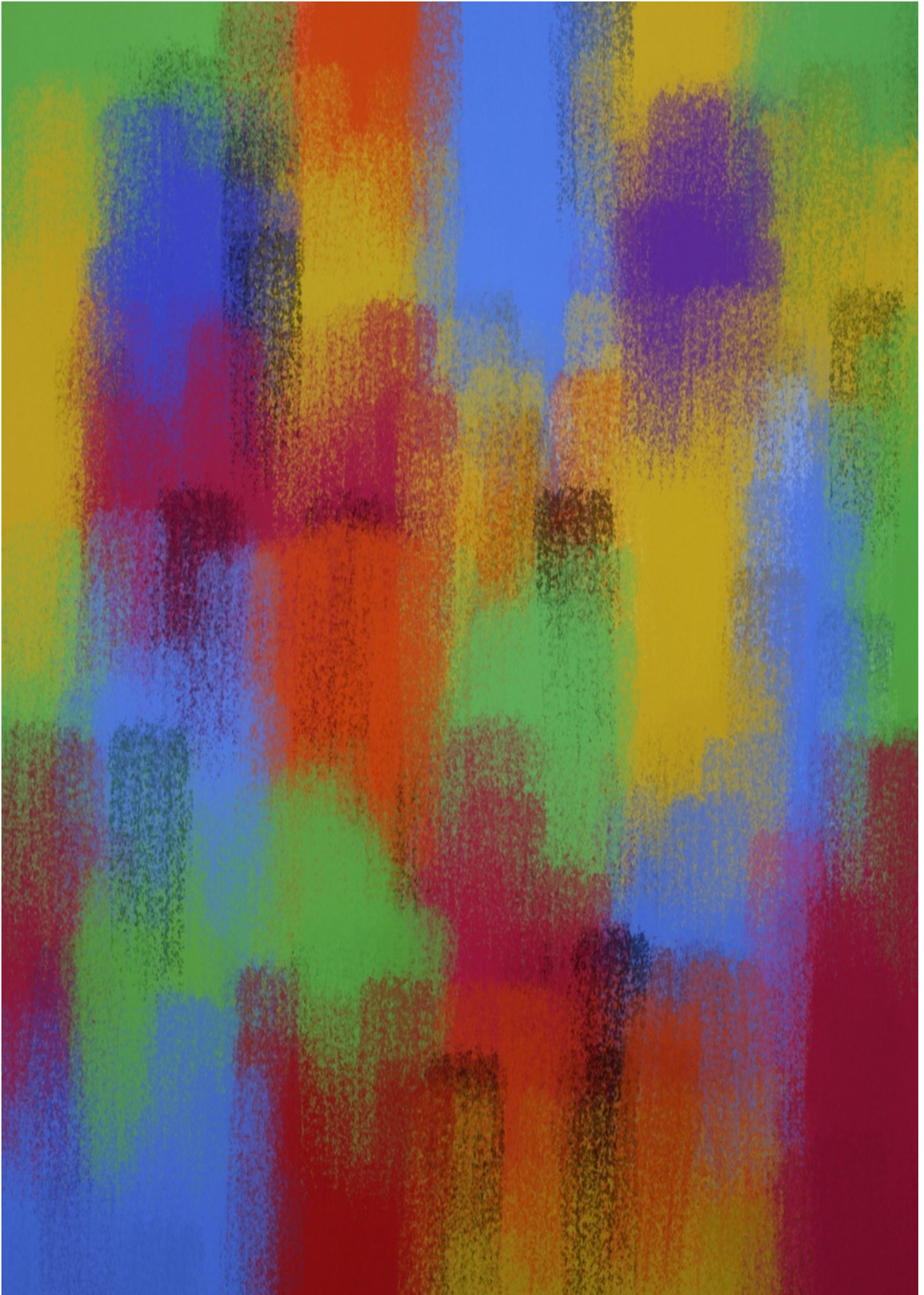
Referencias bibliográficas

- KIM K.H.S.; RELKIN N.R.; LEE K.M., y HIRSCH J. (1997): "Distinct cortical areas associated with native and second languages". *Nature*, 388, pp. 171-174.
- KARPICKE J.D. y BLUNT J.R. (2011): "Retrieval Practice Produces More Learning than Elaborative Studying with Concept Mapping". *Science*, 331, pp. 772-775.
- MORGADO BERNAL, I. (2005): "Psicobiología del Aprendizaje y la Memoria: Fundamentos y Avances Recientes". *Revista de Neurología*, 40 (5), pp. 289-297
- (2011): "Learning and memory consolidation: Linking molecular and behavioral data". *Neuroscience*, 176, pp. 12-19.
- PYC M.A. y RAWSON K.A. (2010): "Why Testing Improves Memory: Mediator Effectiveness hypothesis". *Science*, 330, p. 335.

El autor

Ignacio Morgado Bernal (ignacio.morgado@uab.es)

Es catedrático de Psicobiología en el Instituto de Neurociencia de la Universidad Autónoma de Barcelona. Tiene estancias de investigación en Alemania, Reino Unido y EEUU. Investiga mecanismos cerebrales del aprendizaje y la memoria en ratas. Varios premios académicos y de divulgación. Ha sido miembro del comité ejecutivo de la *European Brain and Behaviour Society* (EBBS). Ha publicado los libros "Emociones e Inteligencia Social: Las claves para una alianza entre los sentimientos y la razón" (Ariel, 2007 y 2010) y "Cómo percibimos el mundo: una aproximación a la mente y los sentidos" (Ariel, 2012).



Manuel Carreiras

Basque Center on Cognition, Brain and Language (BCBL), Donostia, San Sebastián.

IKERBASQUE, Basque Foundation for Science, Bilbao (www.bcbl.eu)

Resumen

Comprender el fracaso escolar es un reto que probablemente no está a nuestro alcance en estos momentos, porque sus causas son múltiples y variadas. La lectura, habilidad instrumental sobre la que se asienta una buena parte del edificio educativo, es una de ellas. La neurociencia cognitiva puede ayudar a clarificar las causas de las dificultades lectoras y a diseñar nuevos métodos de intervención basados en un conocimiento científico y riguroso sobre el funcionamiento del sistema cognitivo y de las redes cerebrales que lo sustentan. Además, puede ayudar a delimitar qué factores posibilitan un desarrollo típico y una escolarización exitosa para mejorar la educación. La programación de contenidos y actividades en la escuela debería tener en cuenta cómo funcionan los procesos de asimilación y consolidación de la información en los niños y cómo cambian sus redes neuronales con el aprendizaje. Finalmente, puede ayudarnos a determinar qué factores neuro-cognitivos predicen con antelación diferencias individuales en el aprendizaje y dominio de ciertas habilidades como la lectura, y por tanto a anticipar posibles problemas y recomendar acciones de mejora que permitan sentar las bases de un aprendizaje eficaz.

Palabras clave: lectura, dislexia, neurociencia cognitiva, aprendizaje.

Abstract

Understanding school failure is probably not an easy challenge to address nowadays, due to the multiple causes of this problem. However, problems with reading, which is an instrumental ability underlying education, is one of the principle causes. Cognitive neuroscience may help to clarify the underlying causes of reading disabilities and to design new intervention methods based on scientific and rigorous knowledge of how the cognitive system and the underlying brain networks operate. In addition, it may help to delineate the factors that allow typical development and successful schooling, and thus to improve education. The programming of content and activities in schools should take into account how processes of assimilation and consolidation of information work in children and how their brain networks change with learning. Finally, research in cognitive neuroscience may help to determine what neuro-cognitive factors predict individual differences in learning abilities such as reading, and therefore anticipate potential problems and make recommendations for improving the learning process.

Keywords: reading, dyslexia, cognitive neuroscience, learning.

1. Introducción

La educación hoy en día no es un privilegio, sino un derecho de los ciudadanos. De acuerdo con los informes PISA, la educación necesita mejoras urgentes en España. Además, debe enfrentarse con desafíos como la intervención específica ante trastornos y dificultades del aprendizaje, especialmente en habilidades instrumentales como la lectura o el cálculo matemático, o los cambios en el aprendizaje a través de las nuevas tecnologías, o la integración de los inmigrantes en el aula. España es uno de los países de la OCDE con más fracaso escolar, ocupando el número 23 en un *ranking* de 26 países de la OCDE en cuanto al abandono escolar sin finalizar la educación secundaria obligatoria. Más del 30% de los estudiantes abandonan la escuela antes de acabar la enseñanza secundaria obligatoria. Esto supone un problema grave, dado que los informes de la OCDE indican claramente que los jóvenes con mayor educación tienen más posibilidades de obtener trabajo y mejores salarios. Por otra parte, aproximadamente entre el 10 y el 15% de la población sufre dificultades de aprendizaje, lo cual requiere una atención especial, máxime si esas dificultades se muestran en alguna de las habilidades instrumentales para el proceso de aprendizaje, como son la lectura o el cálculo matemático, que son otra fuente potencial de fracaso escolar. Por último, mientras que la diversidad cultural incrementa nuestra experiencia y conocimiento del mundo y promueve actitudes positivas hacia los otros, los profesores tienen en clase a niños con distintos grados de adquisición del español y con un bagaje muy diverso, lo que aumenta el riesgo de fracaso escolar de esta población. El número de estudiantes inmigrantes se ha multiplicado en los últimos años y ya supera el 6% en educación primaria y secundaria, y en algunas zonas, el porcentaje de niños

inmigrantes en el aula es del 60%. La neurociencia cognitiva puede ayudar a mejorar la situación y a paliar el fracaso escolar informando sobre cómo nuestro cerebro procesa información durante el aprendizaje de procedimientos y contenidos para que sea tenido en cuenta por el profesorado y por los diseñadores de políticas científicas.

2. El aprendizaje y sus mecanismos neuro-cognitivos

La educación y el aprendizaje están íntimamente relacionados con los mecanismos de desarrollo neuronal. Por ello, las políticas educativas pueden beneficiarse de los nuevos hallazgos en el campo de la neurociencia cognitiva sobre los mecanismos de adquisición del conocimiento. Es importante explotar los recientes avances teóricos y tecnológicos en este campo multidisciplinar, dado que ofrecen a los padres, a los profesores y a los investigadores de la educación la posibilidad de entender dónde, cuándo, y cómo el cerebro ejecuta funciones necesarias para el aprendizaje. Entre dichas funciones cabe citar: atender a la información, controlar la atención, regular las relaciones entre emoción y cognición, codificar, organizar y recuperar información, etc. Estas funciones, que pueden estar deterioradas en un desarrollo atípico por causas genéticas o socioeconómicas, apuntalan la adquisición de habilidades instrumentales para la educación como la lectoescritura, o el cálculo matemático en un desarrollo normal. Por todo ello, supondría un gran avance para la mejora de la educación tener en cuenta, a la hora de diseñar programas y políticas educativas, los conocimientos que existen sobre el proceso de aprendizaje. Ello implica considerar parámetros básicos del desarrollo cerebral que afectan a habilidades fundamentales en el proceso

educativo como la lectura, o a procesos emocionales y atencionales, cuya importancia es capital para el aprendizaje.

En concreto, hay tres áreas en las que la neurociencia cognitiva puede contribuir significativamente a la educación: a) en el proceso de aprendizaje, tanto en niños normales como en niños con trastornos del aprendizaje, de destrezas cognitivas como la lectoescritura –dislexia– y el cálculo numérico –discalculia–, b) en el diseño de entrenamientos e intervenciones específicos así como en el uso de nuevas tecnologías para la mejora del proceso de aprendizaje, y c) en la capacidad para la detección precoz de posibles trastornos del aprendizaje en poblaciones de riesgo teniendo en cuenta factores genéticos y socio-económicos. Estas áreas se entrelazan con cuestiones capitales como las necesidades educativas específicas o el binomio enseñanza-aprendizaje que han de ser tenidos en cuenta a la hora del diseño de los currícula.

La investigación educativa está dirigida a mejorar los métodos, técnicas y materiales de enseñanza, mientras que el interés básico de la neurociencia cognitiva es comprender el funcionamiento cognitivo y sus bases neuronales, las relaciones mente-cerebro, siendo una parte importante de los mismos los procesos de aprendizaje y asimilación de información nueva. Son dos mundos que pueden fertilizarse mutuamente, pero todavía están alejados. Por ello, es importante tomar en consideración que no podemos esperar de forma inmediata una aplicación directa de la neurociencia a la educación, y que hemos de prestar mucha atención a la supuesta eficacia de hipotéticos hallazgos neurocientíficos en el campo educativo, que pueden no ser más que simples neuromitos, productos y creencias sin base científica pero que están siendo trasladados a la educación bajo el paraguas de un supuesto aval científico. Sin duda, la creciente información sobre cómo ocurre el aprendizaje y otras funciones en el cerebro es valiosa para quien trabaja en educación, pero su traslado tanto a la teoría como a la práctica de la enseñanza no es obvio ni automático (Bauer, 2005; Goswami, 2006; Posner y Rothbart, 2007).

En los últimos años, ha habido iniciativas para establecer puentes entre la neurociencia cognitiva y la educación. Esta es una empresa a largo plazo, dado que el conocimiento sobre el funcionamiento de nuestro cerebro y de nuestro sistema de procesamiento de la información puede ser muy informativo para diseñar programas de intervención o currícula específicos, pero no puede proporcionar directamente un proyecto de cómo educar. La información sobre el desarrollo del cerebro y sobre el manejo de la información en el proceso de aprendizaje típico y atípico puede y debe asistir al diseño educativo, pero no suplantarlos. El diseño educativo podría asemejarse al diseño de un rascacielos en el que colaboran ingenieros y arquitectos, que a la hora de realizar los diseños y los cálculos de la estructura tienen en cuenta las restricciones impuestas por los materiales y las necesidades de la estructura en relación al lugar en donde se va a realizar la construcción. De la misma forma, los diferentes actores de la educación, incluyendo los educadores, pero también los que diseñan las políticas educativas, deberían tener en cuenta el conocimiento acumulado dentro del ámbito de la neurociencia cognitiva sobre la naturaleza del proceso de aprendizaje y del procesamiento de la información, así como de la adquisición de habilidades en desarrollos típicos y atípicos. La neurociencia cognitiva está contribuyendo cada día a entender mejor y con mayor profundidad los procesos implicados en la adquisición de habilidades instrumentales, como la lectura, o a evaluar los efectos de las intervenciones educativas; y proporciona guías para la diagnosis, la clasificación y la intervención en trastornos del aprendizaje. De hecho, se ha lanzado recientemente una revista científica titulada *Mind, Brain and Education* (mente, cerebro y educación) con el objetivo de crear un foro de encuentro y de diseminación de información en

este campo emergente en donde se cruzan la neurociencia cognitiva, la psicología experimental, y la práctica educativa.

En las páginas que siguen desgranaremos algunos nuevos avances conceptuales, en las ciencias cognitivas y del cerebro, susceptibles de interés para la educación; en concreto, sobre la adquisición y el dominio de la lectura, que han sido posibles gracias a los avances tecnológicos que describimos a continuación.

3. Los nuevos avances tecnológicos

En los últimos años, la ciencia ha realizado avances sustanciales en la comprensión de la mente y del cerebro (Gazzaniga, 2004). Los hallazgos recientes en el ámbito de la neurociencia cognitiva, gracias a la utilización de avances tecnológicos e instrumentales, nos han permitido conocer mejor cómo funciona y cambia el cerebro durante la adquisición de habilidades como la lectura, tanto en niños con un desarrollo normal, como en niños que sufren trastornos del aprendizaje, y por tanto, estamos en mejor disposición para diseñar entrenamientos adecuados. Por ejemplo, hoy en día se emplean medidas neurobiológicas y conductuales integradas para determinar qué cambios cerebrales estructurales y funcionales predicen dificultades de aprendizaje de la lectura. Dos de las técnicas que se han venido empleando en los últimos años con éxito son el electroencefalograma (EEG) y la resonancia magnética, sobre todo la resonancia magnética funcional (fMRI).

El EEG se ha utilizado fundamentalmente para registrar los potenciales evocados corticales mediante electrodos ubicados en determinados lugares del cráneo. Los potenciales evocados son correlatos de la actividad eléctrica cerebral (microvoltios) producida por el disparo de neuronas ante la recepción sensorial de estímulos, generalmente visuales o auditivos, como la lectura de palabras. Los parámetros estudiados en los potenciales evocados corticales son la latencia, que refleja el tiempo transcurrido desde el inicio de la presentación del evento, como por ejemplo la palabra, y permite diferenciar si el efecto que registramos es temprano o tardío; es decir, la diferencia entre condiciones experimentales puede ocurrir a los 150, 200 o 400 milisegundos; la amplitud, que se refiere al voltaje positivo o negativo del componente de onda respecto a la línea base. De esta forma, componentes clásicos como la P/N150, o la N250, P300 o la N400 se definen por la polaridad (positiva P o negativa N) de la onda y el momento de aparición del componente tras la presentación del estímulo. Otro índice importante es la distribución del efecto en el cráneo. Hoy en día sabemos que diferentes tipos de componentes ocurren ante la presentación de determinados tipos de estímulos. Por ejemplo, el procesamiento semántico se asocia con la N400 mientras que el procesamiento subléxico con la N250, o el procesamiento sintáctico con la P600. Una gran ventaja de los potenciales evocados corticales es que proporcionan medidas en tiempo real y, además, no intrusivas de los procesos del lenguaje. Nuestro cerebro procesa la información a la velocidad de milisegundos, y por tanto, ese curso temporal del procesamiento de la información es susceptible de ser captado mediante esta técnica.

Los potenciales evocados corticales, aunque tienen una muy buena resolución temporal, tienen una resolución espacial muy baja. Por el contrario, la resonancia magnética funcional proporciona una muy buena resolución espacial sobre las zonas del cerebro donde se producen cambios de activación, aunque tiene una resolución temporal más baja. La resonancia magnética funcional mide la actividad neuronal de forma no invasiva “in vivo” detectando cambios locales específicos en el flujo sanguíneo que acompañan la actividad neuronal. Para detectar dichos cambios, cualquier paradigma de resonancia magnética funcional

debe incluir medidas de dos o más estados cerebrales. Por ejemplo, el área cerebral asociada con el proceso cognitivo de interés (producción del habla) se identifica mediante la comparación de una tarea de activación (lectura en voz alta) que implica el proceso de interés con una tarea de línea base que no la implica (lectura silenciosa). La resonancia magnética funcional es una herramienta muy valiosa para medir la activación de las regiones del cerebro durante la ejecución de una tarea cognitiva. Examinando los efectos de varias manipulaciones experimentales en la activación de diferentes áreas, esperamos entender no sólo qué áreas contribuyen a la realización de determinados procesos, sino también cómo contribuyen.

Muchos procesos cognitivos como la atención, el lenguaje, la memoria, etc., han sido investigados en términos de cambios electrofisiológicos y de activación cerebral, así como de conectividad funcional entre diferentes áreas del cerebro (Kutas y Ferdermeier, 2000; Price, 2000; Posner y Raichle, 1994). La combinación de manipulaciones experimentales apropiadas de determinadas tareas con el uso de técnicas como los potenciales evocados corticales o la resonancia magnética funcional han comenzado a arrojar luz sobre el proceso de aprendizaje y la adquisición de conocimiento humano, y sugieren cómo puede ser más efectiva la práctica educativa. El impacto de la educación en el cerebro ha

sido puesto de manifiesto de diversas formas. Por ejemplo, durante el reconocimiento de pseudopalabras (palabras inventadas), las personas alfabetizadas activan regiones del cerebro diferentes que los analfabetos (Castro-Caldas *et al.*, 1998). La adquisición de la lectura provoca no sólo cambios funcionales transitorios, sino además cambios cerebrales estructurales (Carreiras *et al.*, 2009) (véase figura 1a), tal como se ha documentado también con otros tipos de aprendizaje (Draganski *et al.*, 2004). Curiosamente, los circuitos neuronales se adaptan y cambian de forma dramática con el aprendizaje, lo que abre la oportunidad de asociar el aprendizaje con cambios neuronales causados por éste (Posner y Rothbart, 2005, 2007). Además, la neurociencia cognitiva ha proporcionado nuevas perspectivas a los educadores (Ansari y Coch, 2006). Las técnicas de neuroimagen nos permiten observar cambios y ausencias de activación neuronal en determinados trastornos, así como documentar qué tipos de entrenamiento pueden ser más efectivos. Estas técnicas pueden utilizarse también para observar qué tiempos de entrenamiento son más efectivos para mejorar la actividad de áreas o circuitos específicos asociados con un determinado trastorno o el impacto del estatus socioeconómico en el desarrollo lector (Noble *et al.*, 2007). En su conjunto, proporcionan una oportunidad única para entender el proceso de aprendizaje y la adquisición de habilidades cognitivas, así como para explorar las diferencias individuales.

Figura 1a.- Incremento de materia gris en los alfabetizados en comparación con los analfabetos en diversas regiones del cortex temporoparietal

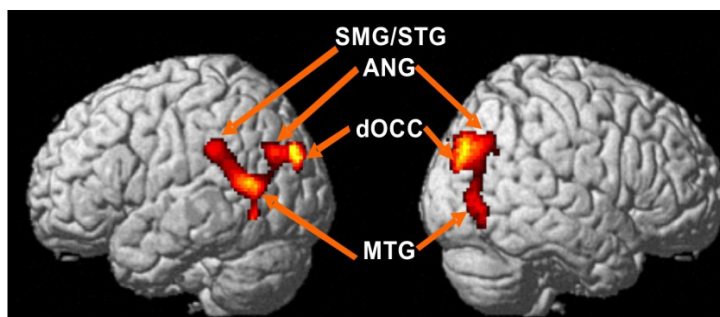
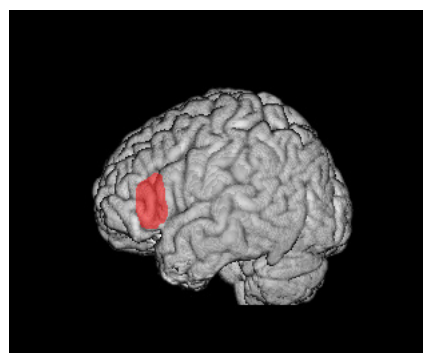
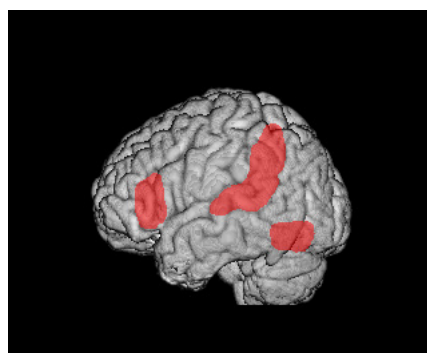


Figura 1b.- Resumen de las regiones del cerebro activadas durante la realización de tareas de lectura en lectores con un desarrollo normal (giro frontal inferior, cortex temporoparietal y cortex inferotemporal) y en lectores con dislexia (sólo giro frontal inferior)

Lectores estándar

Lectores con dislexia



Fuente: Figura 1b cortesía de G. Eden del *Center for the Study of Learning, Georgetown University, Washington, USA*

4. Lectura, dislexia y comprensión

Una de las habilidades capitales que se adquiere durante el proceso educativo es la lectura. La adquisición y consolidación de una

habilidad lectora adecuada es importante para paliar el fracaso escolar, dado que la lectura es uno de los pilares básicos sobre los que se asienta el andamio del sistema educativo. Es una habilidad instrumental que nos permite acceder a la información y asimilar nuevos conceptos. Necesitamos aprender a leer porque es una

actividad necesaria para seguir aprendiendo. Además, en una sociedad de la información como la nuestra, saber leer es imprescindible para poder desarrollar nuestras capacidades y ejercer plenamente nuestros derechos como ciudadanos. En el mundo desarrollado, la mayoría de los trabajos requieren un dominio adecuado de la lectura. Por tanto, la lectura es una habilidad humana capital y un ingrediente de éxito en nuestra sociedad, en la que mucha información se transmite mediante la palabra escrita. Hoy día nadie duda que la lectura sea una actividad fundamental para conseguir el éxito académico y social. Además, la lectura no sólo es un ingrediente esencial en la educación, sino que, como apuntó Mario Vargas Llosa, al recibir el premio Nobel en su discurso titulado “Elogio de la lectura”, es la cosa más importante que nos pasa en la vida, dado que pone a nuestro alcance un mundo inimaginable.

En tiempos no muy lejanos, la lectura no estaba muy extendida entre la población. Sin embargo, hoy en día, en los países desarrollados, la gran mayoría de las personas aprende a leer y lo hace sin mayor dificultad. Llega a tener un buen dominio de la lectura con uno, dos o como mucho tres años de práctica, dependiendo del sistema ortográfico. Sin embargo, el camino hacia el dominio de la lectura no ha sido ni es fácil, y no todos los niños lo consiguen con idéntica eficacia. Una de cada diez personas tiene dificultades para leer o para leer con una cierta fluidez. Dependiendo de las estimaciones, la prevalencia de las dificultades lectoras se cifra en torno al 10-15% de la población.

A pesar de poseer una inteligencia normal y a veces elevada, algunos niños tienen problemas con la adquisición de la lectura. La lectura es una actividad compleja, en buena parte dependiente del dominio del lenguaje oral, pero que requiere además establecer vínculos entre letras y sonidos. En algunos casos, las dificultades relacionadas con el lenguaje oral se manifiestan claramente o incluso se intensifican cuando los niños se incorporan al sistema educativo y pueden desembocar en un aprendizaje ineficiente de la lectura, lo que a su vez tiene consecuencias sobre el aprendizaje de otras habilidades cognitivas. En otros casos, el trastorno de adquisición de la lecto-escritura, que se denomina dislexia evolutiva, se debe fundamentalmente a una dificultad con la representación y uso de la información fonológica: correspondencia letras-sonidos (Snowling, 2000; Stanovitch y Siegel, 1994; Ramus, 2001, 2006).

En un sistema de escritura alfabético, el principio clave que ha de apresar el niño para aprender a leer es la idea de que las letras (grafemas) se asocian con sonidos (fonemas) del habla. Aprender a leer palabras, que es el logro central de la lectura, requiere un conocimiento de las estructuras fonológicas del lenguaje, lo que se denomina conciencia fonológica. De hecho, la relación entre conciencia fonológica y aprender a leer se ha establecido en numerosas lenguas (Lundberg *et al.*, 1980), y además, se ha demostrado que los códigos fonológicos se activan automáticamente en los lectores expertos (Carreiras *et al.*, 2005). Los modelos computacionales actuales sobre cómo procesamos las palabras escritas (Coltheart *et al.*, 2001; Harm y Seidenberg, 2001) asumen que la fonología juega un rol importante, aunque el peso de la fonología dependerá de la lengua de que se trate, dado que en algunas lenguas la correspondencia entre letras y sonidos es muy transparente, una letra con un sonido como en el caso del español, y en otras muy opaca como en el caso del inglés, en donde no existe una correspondencia uno a uno entre letras y sonidos.

Dada la gran evidencia que existe sobre la importancia de la fonología en la adquisición de la lectura, no es extraño que la hipótesis más aceptada sobre la causa de la dislexia evolutiva ponga el énfasis en un déficit en la representación y uso de la información fonológica (Ramus, 2001, 2006; Ramus *et al.*, 2003;

Snowling, 2000; Stanovitch y Siegel, 1994). No obstante, no existe un consenso universal sobre si el déficit fonológico es la causa última (Ramus *et al.*, 2003). Por ejemplo, se ha propuesto que la dislexia se origina en: a) un déficit en el procesamiento rápido de información ante estímulos tanto visuales como auditivos (Hari y Renvall, 2001; Tallal, 1980; 2004), de forma que el déficit fonológico tiene su causa última en la incapacidad para discriminar indicios acústicos de bajo nivel que son importantes para la discriminación de fonemas (Goswami, *et al.*, 2002); b) un déficit en el sistema magnocelular (Stein, 2003); o c) una disfunción en el cerebelo que causa un trastorno generalizado de la automatización de destrezas (Nicolson, *et al.*, 2001). En todo caso, estas teorías aceptan que el déficit fonológico está presente, incluso aunque se considere como un déficit secundario, por lo que el entrenamiento fonológico puede ser un buen candidato para favorecer la adquisición de la lectura, aunque el entrenamiento específico pueda depender de la ortografía particular (transparente u opaca) que se vaya a adquirir (Ziegler y Goswami, 2005). No obstante, es preciso constatar que también se han reportado dificultades lectoras, dislexias, que parecen no obedecer a problemas fonológicos, sino de tipo atencional, aunque con una prevalencia mucho menor (Bosse *et al.*, 2007). De cualquier manera, el desarrollo de estrategias de enseñanza novedosas y de tratamientos específicos de este trastorno requiere comprender los mecanismos cognitivos y neuronales subyacentes.

La dislexia es fundamentalmente un problema de índole neurológica, con base genética, que se manifiesta de forma diferente en diferentes lenguas. Por ejemplo, los estudios post-mortem han mostrado que los cerebros de los disléxicos muestran ectopias a nivel molecular en áreas perisilvianas del hemisferio izquierdo (Galaburda, *et al.*, 1985, 2006), anomalías en el cuerpo calloso (Duara *et al.*, 1991), en los tractos de materia blanca que subyacen a la unión temporo-parietal izquierda (Klingberg *et al.*, 2000), y el cerebelo (Rae *et al.*, 2002). Además, estudios genéticos con gemelos han demostrado el carácter hereditario de la dislexia, y los estudios de genética molecular han identificado una serie de genes candidatos vinculados con la dislexia (e.g., Grigorenko, 2003; Schumacher *et al.*, 2006; Taipale *et al.*, 2003). Por tanto, una fuente importante de diferencias individuales en la lectura proviene de factores genéticos que, en la medida de lo posible, deberíamos detectar precozmente para poder actuar cuanto antes con intervenciones apropiadas.

Además de la genética, otra causa importante de diferencias individuales y de una ejecución lectora pobre en la escuela es el estatus de inmigrante y el nivel socioeconómico. La evidencia sugiere que el nivel socioeconómico predice tanto la decodificación de palabras, como la comprensión lectora y que modula la asociación entre conciencia fonológica y habilidad lectora (Noble *et al.*, 2005). Cuando un niño tiene una buena conciencia fonológica logrará leer, sin embargo cuando un niño tiene una mala conciencia fonológica, el nivel socioeconómico juega un papel muy importante. Uno de los mediadores potenciales de la influencia del bajo nivel socioeconómico en la habilidad lectora es la estimulación más pobre y a veces inadecuada que reciben los niños que crecen en contextos empobrecidos (Bracken y Fischel, 2008). De hecho, se ha sugerido que uno de los determinantes principales de las relaciones entre nivel socioeconómico y habilidad lectora es el gradiente de experiencias relacionadas con la lectura, tales como el ambiente de lectura en casa, el grado de exposición temprana a la letra impresa y la calidad de las etapas tempranas en la escuela (Hecht *et al.*, 2000). Por tanto, tanto la detección temprana de problemas genéticos como socioeconómicos, que sabemos tienen una incidencia clara en la adquisición de la habilidad lectora, debería conllevar el diseño de inter-

venciones adecuadas para facilitar a estos niños la empresa de adquisición de la lectura.

Finalmente, es preciso apuntar que las diferencias individuales en lectura pueden estar causadas también por otros problemas como las dificultades de integración de información durante la comprensión lectora. Aparte del dominio de la conversión de grafemas a fonemas (letras a sonidos), los lectores expertos necesitan realizar una lectura comprensiva. La comprensión lectora es un proceso que requiere tanto la habilidad de decodificar palabras escritas como la de construir significados nuevos conectando e integrando información de palabras y oraciones, realizando inferencias hasta crear una representación coherente del discurso. Probablemente, las fuentes más importantes de información para los estudiantes se presentan en forma de textos. Sin embargo, algunos estudiantes no logran una comprensión adecuada de los mismos. Los fallos en las estrategias de comprensión de textos tienen consecuencias dramáticas, no sólo para comprender conceptos, sino también para la formulación y la comprensión de problemas en otras áreas, como la física, las matemáticas, etc. Algunos niños no alcanzan una buena comprensión lectora, aunque sus habilidades de lectura de palabras son buenas, porque no realizan inferencias adecuadas durante la comprensión, y tienen problemas con los procesos de integración de alto nivel de la estructura global del texto. Los problemas de comprensión pueden estar causados por una dificultad para integrar frases y extraer inferencias, por la capacidad de la memoria de trabajo para mantener información relevante en memoria, o la habilidad para inhibir y suprimir información relevante. La construcción de una representación semántica del texto implica la generación de inferencias para establecer relaciones de coherencia referencial, y para lograr el procesamiento de una estructura global se requiere la interacción de diferentes procesos (Perfetti, *et al.*, 2008). La comprensión lectora es un aspecto muy relevante dentro del proceso educativo, no obstante, debido a la restricción de espacio, en las páginas que siguen nos centraremos en los hallazgos de la neurociencia cognitiva relativos a la lectura de palabras.

5. La lectura desde la neurociencia cognitiva

La lectura de palabras activa determinadas regiones y circuitos cerebrales susceptibles de ser estudiados con las nuevas técnicas de neuroimagen. Los métodos modernos de neuroimagen nos proporcionan información nueva y convergente sobre la neuroanatomía funcional de la lectura. Varios estudios han encontrado que variables relacionadas con los procesos ortográficos y léxicos activan el cortex infero-temporal-posterior izquierdo (Cohen *et al.*, 2000, 2002), mientras que variables relacionadas con los procesos de ensamblaje fonológico incrementan la activación en las áreas frontales inferiores y temporo-parietales del hemisferio izquierdo (Fiebach *et al.*, 2002; Price, 2000). Información complementaria con técnicas que ofrecen una mejor resolución temporal, tales como el EEG, sugiere que los procesos léxicos aparecen muy temprano, en torno a los 150-200 milisegundos después del inicio de la presentación de la palabra (Carreiras, *et al.*, 2005; Maurer *et al.*, 2005). Por tanto, estos estudios muestran que podemos empezar a detallar los sistemas neuronales responsables de la lectura y de su adquisición.

El conocimiento obtenido con los métodos de la neurociencia también es informativo con respecto a las dificultades y trastornos de la lectura. Como hemos apuntado, existe una amplia evidencia que indica que los trastornos de lectura tienen una base neurológica y el déficit fundamental de las dificultades lectoras radica en las operaciones con las estructuras fonológicas del lenguaje. Estos déficits provocan, como consecuencia, limitaciones severas en la

calidad de las representaciones léxicas de las palabras escritas, que dependen de una integración adecuada de rasgos ortográficos, fonológicos y semánticos, es decir, de combinaciones de letras, sonidos y significados (Harm y Seidenberg, 1999; Perfetti y Hart, 2002). La ausencia de unas representaciones estables integradas impide el desarrollo de la lectura fluida. Los estudios de neuroimagen han mostrado de forma consistente que, en relación con los niños con desarrollo estándar, los lectores con dificultades muestran diferencias tanto estructurales como funcionales en el hemisferio izquierdo, tanto en regiones corticales como subcorticales que subyacen al circuito de lectura (procesamiento ortográfico, fonológico y semántico). Una de las diferencias claras entre disléxicos y controles es que las regiones asociadas con la fonología muestran patrones de activación muy diferentes (Paulesu *et al.*, 1996, 2001; Shaywitz *et al.*, 1998, 2002) (véase figura 1b). Asimismo, varios estudios han examinado el impacto de algunos programas de intervención en lectura en niños con dificultades lectoras y los cambios de activación cerebral antes y después de la intervención. Estos estudios muestran que los programas de intervención provocan cambios en los patrones atípicos de actividad cerebral de los disléxicos, de forma que los hacen más similares a los patrones de actividad de los niños normales (Simos *et al.*, 2002; Aylward *et al.*, 2003; Eden *et al.*, 2004, Shaywitz *et al.*, 2004). Por tanto, estos resultados están comenzando a proporcionar información muy útil sobre el desarrollo de la lectura y de sus déficits como la dislexia, y ponen de manifiesto la utilidad de las técnicas de neuroimagen para poder estudiar las bases neuronales de los cambios educativos.

Las técnicas de neuroimagen han ayudado a comprender también cómo se modula la adquisición de la lectura en función de si la ortografía que se adquiere es transparente u opaca. Por una parte, es más fácil aprender a leer en una ortografía transparente, como el español, que en una opaca, como en inglés. Por otra, la dislexia tiene una base neurológica, y por tanto, este trastorno debería afectar universalmente a la adquisición de la lectura en todas las ortografías, aunque su manifestación conductual pueda ser diferente: errores de lectura en una ortografía opaca, y lentitud, más que errores de lectura, en una ortografía transparente. Una teoría neurobiológica adecuada debería explicar tanto patrones específicos del lenguaje como invariantes asociados con desarrollo típico y atípico en diferentes lenguas (Bolger *et al.*, 2005; Paulesu *et al.*, 2000, 2001). En este sentido es importante documentar que las trayectorias neurocognitivas de niños con varios perfiles de riesgo son similares cuando adquieren sistemas de escritura que contrastan en su transparencia de ortografía-fonología. Se han observado similitudes trans-lingüísticas tanto a nivel neurobiológico (Paulesu *et al.*, 2001) como cognitivo (Ziegler y Goswami, 2006) en patrones que discriminan entre niños con desarrollo típico y atípico, lo que fortalece la perspectiva universal. De hecho, aunque las destrezas fonológicas específicas se sustentan con mayor o menor facilidad, dependiendo de si la ortografía en cuestión es transparente u opaca, el aprendizaje de la lectura en último término depende de la cualidad y la combinación de los sistemas y circuitos de la visión y el lenguaje oral que subyacen a la reorganización del cerebro para que la lectura sea posible.

Cada vez hay más datos empíricos que apoyan la caracterización de las dificultades lectoras como un problema con base neurológica. La evidencia actual apunta a vínculos entre el desarrollo cerebral atípico y los déficits lectores. Ahora el desafío reside en desarrollar modelos de cerebro-conducta predictivos y poner a prueba predicciones sobre los patrones de estructura y activación cerebral que promuevan componentes específicos del aprendizaje bajo condiciones experimentales controladas. En otras palabras, se trataría de usar las técnicas de neuroimagen para generar

perfiles de neuro-fenotipos estructurales y funcionales (regiones y circuitos) para predecir diferencias individuales en lectura; es decir, aislar marcadores neuronales que puedan predecir el aprendizaje de las conexiones entre ortografía, fonología, y semántica. Modelos neuronales de aprendizaje y de plasticidad en poblaciones típicas y atípicas. Para ello, es imprescindible pensar en el cerebro como un conjunto intrincado de redes y adoptar una filosofía que vaya más allá de vincular funciones a regiones específicas del cerebro. La especialización para la lectura no está en la dedicación de unas determinadas regiones, sino en las interacciones entre combinaciones únicas de regiones cerebrales que participan en varias funciones. En este sentido, por ejemplo, la evaluación de las herramientas de intervención educativas debe ir más allá del enfoque de la segregación (activación-deactivación de un área cerebral determinada) y observar si el entrenamiento provoca cambios de conectividad entre áreas.

En suma, el desarrollo de estrategias de intervención específicas para niños que sufren, o con riesgo de sufrir, dificultades en la adquisición de la lectoescritura debería partir de una comprensión adecuada y actual de los mecanismos cognitivos que subyacen al aprendizaje lector. Como hemos visto, los avances en la comprensión de la lectura y sus bases cerebrales tienen implicaciones directas en relación con cómo debería ser enseñada la lectura, cómo debería mejorarse la ejecución lectora, y cómo deberían remediarse los trastornos lectores. Estos conocimientos proporcionan información importante a los educadores, a los clínicos y a los padres implicados en la educación.

6. La detección temprana desde la neurociencia cognitiva

La posibilidad de detectar y de intervenir tempranamente en alumnos con riesgo de presentar dificultades lectoras es un gran reto, ya que supone evitar o paliar futuros fracasos, adecuando la respuesta educativa a las necesidades del alumno y abaratando el alto coste personal y social que implica la intervención tardía. Actualmente la identificación de alumnos que presentan dificultades lectoras se realiza a partir del segundo ciclo de la educación primaria, cuando el problema se presenta de forma dramática porque la lectura es una actividad fundamental para el desarrollo educativo. Por tanto, es necesario poner el énfasis en la diferenciación diagnóstica y no solo en la respuesta educativa. Para ello tenemos que conocer los problemas que puedan presentar los niños en riesgo de presentar dificultades lectoras para proporcionar un diagnóstico preciso y desarrollar una estrategia de intervención específica.

Como hemos indicado, las dificultades lectoras están caracterizadas por una dificultad neurológica para la adquisición de una decodificación fluida de palabras. La sintomatología de dislexia refleja una conducta con una variación genética (Plomin y Kovas, 2005) y una distribución normal, y por tanto, debería entenderse como un trastorno dimensional, más que como un trastorno discreto (Fletcher, 2009). Las dificultades de adquisición de la lectura tienen una relación importante con el procesamiento fonológico que puede ser detectado antes de la instrucción formal (Byrne, *et al.*, 2008). Sin embargo, los orígenes neurocognitivos de los déficits fonológicos todavía no se entienden bien. La identificación de los marcadores de riesgos tempranos para las dificultades lectoras tienen una prioridad alta para investigadores, educadores, y clínicos, pero hasta ahora hay pocos estudios que hayan examinado niños en riesgo con medidas neurobiológicas y cognitivas desde la percepción del habla o de sonidos hasta las conciencia fonológica y la adquisición de la lectura (Lyytinen *et al.*, 2004). La cuestión es si los problemas de conciencia fonológi-

ca y de aprendizaje ortográfico se pueden retrotraer a una organización deficiente de los mecanismos subyacentes a la percepción y producción del habla.

Aprender a leer es uno de los principales ejercicios de neuroplasticidad (Dehaene, 2009). Un desafío temprano e importante para la reorganización cerebral se presenta cuando los niños comienzan a desarrollar destrezas analítico-fonológicas, una precondition crítica para aprender a leer. Esencialmente, esto implica una modificación de las representaciones fonológicas para hacerlas disponibles para los análisis cognitivos. Las teorías actuales sugieren que la reorganización fonológica depende en gran medida de la integridad de los mecanismos del sistema perceptivo-motor del habla (Hickok *et al.*, 2011). Es probable, por tanto, que podamos obtener los marcadores más tempranos de riesgo de dificultades lectoras en los índices neurobiológicos y cognitivos de la organización sensorio-motora del habla.

A nivel conductual, se han encontrado problemas de percepción y producción del habla en niños con riesgo elevado de dislexia (Lyytinen *et al.*, 2004; Preston *et al.*, 2010), y a nivel neurobiológico, estudios histológicos (Galaburda *et al.*, 1985, 2006), y más recientemente, estudios volumétricos y con técnicas de tensores de difusión con resonancia magnética (Hoeft *et al.*, 2007; Niogi y McCandliss, 2006; Silani *et al.*, 2005) han reportado anomalías en la organización micro y macro de los sistemas corticales y subcorticales del hemisferio izquierdo asociadas con el habla. Además, algunos estudios de resonancia magnética funcional sugieren que niños con una conciencia fonológica empobrecida y malos lectores con trastornos moderados del habla no muestran una activación estándar ante palabras presentadas auditivamente (Frost *et al.*, 2009; Preston *et al.*, 2010). Por tanto, para la identificación de marcadores tempranos de la adquisición de la lectura es necesario considerar la posible contribución de los procesos sensoriomotores de percepción del habla y su posible relación con el aprendizaje lector. Esta es una línea de investigación en auge dentro de la neurociencia cognitiva que, sin duda, tendrá un gran impacto en los años venideros en la educación. La identificación de esos marcadores tempranos de niños con riesgo de sufrir dificultades lectoras es asimismo de gran trascendencia para poder anticipar un entrenamiento adecuado y así paliar posibles problemas durante el proceso de adquisición lectora.

7. Recapitulando

La investigación en neurociencia cognitiva muestra que comenzamos a entender los sistemas neuronales que subyacen al aprendizaje de la lectura, tanto en las trayectorias de desarrollo típicas, como atípicas (dislexia); cómo estos se modifican con el entrenamiento, o cómo podemos predecir a partir de algunos marcadores tempranos si un niño determinado presenta factores de riesgo, y consecuentemente diseñar una intervención preventiva. Estos son grandes avances de la neurociencia cognitiva que pueden ser muy informativos y que deberían de tenerse en cuenta para diseñar políticas educativas. Sin embargo, debemos de ser conscientes que aunque estos estudios dan pautas muy importantes sobre elementos del proceso de aprendizaje que se deberían tener en cuenta en diseños educativos concretos - como los métodos de la adquisición de la lectura, por poner un ejemplo - no se pueden traducir en indicaciones precisas a los maestros sobre qué es lo que funciona en la clase. Por otra parte, hemos de romper barreras y desmontar susceptibilidades entre disciplinas con visiones muy diferentes de la realidad y con métodos de trabajo muy dispares. El diálogo entre neurociencia cognitiva y educación no es

fácil, pero es posible y sin lugar a dudas será fructífero, aunque queda mucho camino que recorrer.

Agradecimientos

Proyecto COEDUCA financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación dentro del programa CONSOLIDER-INGENIO2010 CSD2008-00048.

Referencias bibliográficas

- ANSARI, D. & COCH, D. (2006): "Bridges over troubled waters: education and cognitive neuroscience". *Trends in Cognitive Sciences*, 10, pp. 146-151.
- AYLWARD, E.H.; RICHARDS, T.L.; BERNINGER, V.W.; NAGY, W.E.; FIELD, K.M., & GRIMME, A.C. (2003): "Instructional treatment associated with changes in brain activation in children with dyslexia". *Neurology*, 61, 212-9.
- BYRNE, B.; COVENTRY, W. L.; OLSON, R. K.; HULSLANDER, J.; WADSWORTH, S.; DEFRIES, J. C., *et al.* (2008): "A behavior-genetic analysis of orthographic learning, spelling, and decoding". *Journal of Research in Reading*, 31, 8-21.
- BRACKEN, S.S. & FISCHER, J.E. (2008): "Family Reading Behavior and Early Literacy Skills in Preschool Children from Low-Income Backgrounds". *Early Education and Development*, 19, pp. 45-67.
- BOLGER, D.J.; PERFETTI, C.A., & SCHNEIDER, W. (2005): "A cross-cultural effect on the brain revisited: Universal structures plus writing system variation". *Journal of Human Brain Mapping*, 25(1), pp. 83-91.
- BOSSE, M.L.; TAINURIER, M.J., & VALDOIS, S. (2007): "Developmental dyslexia: the visual attention span deficit hypothesis". *Cognition*, Vol.104, No.2, pp. 198-230, ISSN 0010-0277.
- BRUER J.T. (2005): "Points of view: on the implications of neuroscience research for science teaching and learning: are there any?". *Life science education*, 5 (2), pp. 104-110.
- CASTRO-CALDAS A.; PETERSSON K.M.; REIS A.; STONE-ELANDER S., & INGVAR M. (1998): "The illiterate brain. Learning to read and write during childhood influences the functional organization of the adult brain". *Brain*, 121(6), 1053-63.
- CARREIRAS, M.; FERRAND, L.; GRAINGER, J. & PEREA, M. (2005): "Sequential effect of phonological priming in visual word recognition". *Psychological Science*, 16 (8), pp. 585- 589.
- CARREIRAS, M.; SEGHIER, M.; BAQUERO, S.; ESTÉVEZ, A.; LOZANO, A.; DEVLIN, J.T., & PRICE, C. J. (2009): "An anatomical signature for literacy". *Nature*, 461, 983-U245.
- CARREIRAS, M.; VERGARA, M.; BARBER, H. (2005b): "Early ERP effects of syllabic processing during visual word recognition". *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, pp. 1803-1817.
- COHEN, L.; DEHAENE, S.; NACCACHE, L.; LEHERICY, S.; DEHAENE-LAMBERTZ, G.; HENAFF, M.A., & MICHEL, F. (2000): "The visual word form area: spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients". *Brain*, 123, pp. 291-307.
- COHEN, L.; LEHERICY S.; CHOCHON F.; LEMER C.; RIVAUD S., & DEHAENE S. (2002): "Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the visual word form area". *Brain*, 125, pp. 1054-1069.
- COLTHEART, M.; RASTLE, K.; PERRY, C.; LANGDON, R. & ZIEGLER, J. (2001): "DRC: A Dual Route Cascaded model of visual word recognition and reading aloud". *Psychological Review*, 108, pp. 204-256.
- DEHAENE, S. (2009): *Reading in the brain*. Penguin, New York.
- DRAGANSKI, B.; GASER, C.; BUSCH, V.; SCHUIERER, G.; BOGDHANN, U., & MAY, A. (2004): "Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training". *Nature*, 427, pp. 311-312.
- DUARA, R.; KUSHCH, A.; GROSS-GLENN, K.; BARKER, W. W.; JALLAD, B., & PASCAL, S. (1991): "Neuroanatomic differences between dyslexic and normal readers on magnetic resonance imaging scans". *Archives of Neurology*, 48(4), pp. 410-416.
- EDEN, G.F.; JONES, K.M.; CAPPELL, K.; GAREAU, L.; WOOD, F.B.; ZEFFIRO, T.A.; DIETZ, N.A.; AGNEW, J.A., & FLOWERS, D.L. (2004): "Neural changes following remediation in adult developmental dyslexia". *Neuron*, 44, 411-22.
- FIEBACH, C.J.; FRIEDERICI, A.D.; MÜLLER, K., & VON CRAMON, D.Y. (2002): "fMRI Evidence for Dual Routes to the Mental Lexicon in Visual Word Recognition". *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, pp. 11-23.
- FLETCHER, J. (2009): "Dyslexia: The evolution of a scientific concept". *Journal of the International Neuropsychological Society*, 15, pp. 501-508.
- FROST, S.J.; LANDI, N.; MENCL, W.E.; SANDAK, R.; FULBRIGHT, R.K.; TEJADA, E.T.; JACOBSEN, L.; GRIGORENKO, E.L.; CONSTABLE, R.T., & PUGH, K.R. (2009): "Phonological awareness predicts activation patterns for print and speech". *Annals of Dyslexia*, 59, pp. 78-97.
- GALABURDA, A.M.; SHERMAN, G.F.; ROSEN, G.D.; ABOITIZ, F., & GESCHWIND, N. (1985): "Developmental dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies". *Annals of Neurology*, 18, pp. 222-233.
- GALABURDA, A.M.; LOTURCO, J.; RAMUS, F.; FITCH, R.H., & ROSEN, G.D. (2006): "From genes to behavior in developmental dyslexia". *Nature Neuroscience*, 9(10), pp. 1213-1217.
- GAZZANIGA, M.S. (2004): *The Cognitive Neurosciences*. MIT Press.
- GOSWAMI, U. (2006): "Neuroscience and education: from research to practice?". *Nature Reviews Neuroscience*, 7, pp. 406-411.
- GOSWAMI, U.; THOMSON, J.; RICHARDSON, U.; STAINTHORP, R.; HUGHES, D.; ROSEN, S., & SCOTT, S.K. (2002): "Amplitude envelope onsets and developmental dyslexia: a new hypothesis". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99 (16), 10911-10916.
- GRIGORENKO, E.L. (2003): "The first candidate gene for dyslexia: Turning the page of a new chapter of research". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(20), 11190-11192.
- HARI, R. & RENVALL, H. (2001): "Impaired processing of rapid stimulus sequences in dyslexia". *Trends in Cognitive Sciences*, 5, pp. 525-532.
- HARM, M.W. & SEIDENBERG, M.S. (1999): "Reading acquisition, phonology, and dyslexia: Insights from a connectionist model". *Psychological Review*, 106, pp. 491-528.
- HECHT, S.A.; BURGESS, S.R.; TORGESEN, J.K.; WAGNER, R.K., & RASHOTTE, C.A. (2000): "Explaining social class differences in growth of reading skills from beginning kindergarten through fourth grade: the role of phonological awareness, rate of access, and print knowledge". *Reading and Writing*, 12 (1-2), pp. 99-127.
- HICKOK, G.; HOUDE, J., & RONG, F. (2011): "Sensorimotor Integration in Speech Processing: Computational Basis and Neural Organization". *Neuron*, 69(3), pp. 407-422.
- HOEFT, F.; UENO, T.; REISS, A.L.; MEYLER, A.; WHITFIELD-GABRIELI, S.; GLOVER, G.; KELLER, T.A.; KOBAYASHI, N.; MAZAIKA, P.; JO, B.; JUST, M.A.; AND GABRIELI, J.D.E. (2007): "Prediction of children's reading skills using behavioral, functional and structural neuroimaging measures". *Behavioral Neuroscience*, 121(3), pp. 602-613.
- KLINGBERG, T.; HEDEHUS, M.; TEMPLE, E.; SALZ, T.; GABRIELI, J.; MOSELEY, M., & POLDRACK, R., (2000): "Microstructure of Temporo-Parietal White Matter as a Basis for Reading Ability: Evidence from Diffusion Tensor Magnetic Resonance Imaging". *Neuron*, 25, pp. 493-500.
- KUTAS, M. & FEDERMEIER, K.D. (2000): "Electrophysiology reveals semantic memory use in language comprehension". *Trends in Cognitive Science*, 4, pp. 463-470.
- LYYTINEN, H.; ARO, M.; EKLUND, K.; ERSKINE, J.; GUTTORM, T.K.; LAAKSO, M.L.; LEPPÄNEN, P.H.T.; LYTTINEN, P.; POIKKEUS, A.M.; RICHARDSON, U., & TORPPA, M. (2004): "The development of children at familial risk for dyslexia: birth to school age". *Annals of Dyslexia*, 54, pp. 184-220.

- LUNDBERG, I.; OLOFSSON, A., & WALL, S. (1980): "Reading and spelling skills in the first school years predicted from phonemic awareness skills in kindergarten". *Scandinavian Journal of Psychology*, 21, pp. 159-173.
- MAURER, U.; BREM, S.; BUCHER, K. & BRANDEIS, D. (2005): "Emerging Neurophysiological Specialization for Letter Strings". *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17:10, pp. 1532-1552.
- NICOLSON, R.I., & FAWCETT, A.J. (2006): "Do cerebellar deficits underlie phonological problems in dyslexia?" *Developmental Science*, 9 (3), pp. 259-262.
- NIOGI, S.N. & MCCANDLISS, B.D. (2006): "Left lateralized white matter microstructure accounts for individual differences in reading ability and disability". *Neuropsychologia*, 44, pp. 2178-2188.
- NOBLE, K.G.; NORMAN, M.F., & FARAH, M.J. (2005): "Neurocognitive correlates of socioeconomic status in kindergarten children". *Developmental Science*, 8(1), pp. 74-87.
- NOBLE, K.G.; MCCANDLISS, B.D., & FARAH, M. (2007): "Socioeconomic gradients predict individual differences in neurocognitive abilities". *Developmental Science*, 10, pp. 464-480.
- PAULESU, E.; DEMONET, J.F.; FAZIO, F.; MCCRORY, E.; CHANOINE, V.; BRUNSWICK, N.; CAPP, S.F.; COSSU, G.; HABIB, M.; FRITH, C.D., & FRITH, U. (2001): "Dyslexia: cultural diversity and biological unity". *Science*, 291, 2165-7.
- PAULESU, E.; FRITH, U.; SNOWLING, M.; GALLAGHER, A.; MORTON, J.; FRACKOWIAK, R.S.J., & FRITH, C.D. (1996): "Is developmental dyslexia a disconnection syndrome? Evidence from PET scanning". *Brain*, 119, pp. 143-157.
- PAULESU, E.; MCCRORY, E.; FAZIO, F.; MENONCELLO, L.; BRUNSWICK, N.; CAPP, S.F.; COTELLI, M.; COSSU, G.; CORTE, F.; LORUSSO, M.; PESENTI, S.; GALLAGHER, A.; PERANI, D.; PRICE, C.; FRITH, C.D. & FRITH, U. (2000): "A cultural effect on brain function". *Nature Neuroscience*, 3, pp. 91-96.
- PERFETTI, C.; YANG, C.L. & SCHMALHOFER, F. (2008): "Comprehension Skill And Word-To-Text Integration Processes". *Applied Cognitive Psychology*, 22, pp. 303-318.
- PERFETTI, C.A. & HART, L. (2002): "The lexical quality hypothesis". In L. Vehoeven, C. Elbro, & P. Reitsma (Eds.). *Precursors of functional literacy*, (pp. 189-213). Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins.
- PLOMIN, R. & KOVAS, Y. (2005): "Generalist genes and learning disabilities". *Psychological Bulletin*, 131, 592
- POSNER, M.I. & RAICHLE, M.E. (1994): *Images of Mind*. Scientific American Books, New York.
- POSNER, M.I. & ROTHBART, M.K. (2005): "Influencing brain networks: implications for education". *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 3, pp. 99-103.
- POSNER, M.I. & ROTHBART, M.K. (2007): *Educating the human brain*. DCAPA Books, Washington.
- PRESTON, J.L.; FROST, S.J.; MENCL, W.E.; FULBRIGHT, R.K.; LANDI, N.; GRIGORENKO, E.; JACOBSEN, L. & PUGH, K.R. (2010): "Early and late talkers: school-age language, literacy and neurolinguistic differences". *Brain*, 133,
- PRICE, C.J. (2000): "The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging". *Journal of Anatomy*, 19, pp. 335-359.
- RAE, C., HARASTY, J.A.; DZENDROWSKYJ, T.E.; TALCOTT, J.B.; SIMPSON, J.M.; BLAMIRE, A.M.; DIXON, R.M.; LEE, M.A.; THOMPSON, C.H.; STYLES, P.; RICHARDSON, A.J., & STEIN, J.F. (2002): "Cerebellar morphology in developmental dyslexia". *Neuropsychologia*, 40(8), 1285-92.
- RAMUS, F. (2001): "Dyslexia. Talk of two theories". *Nature*, 412 (6845), 393-5.
- RAMUS, F.; ROSEN, S.; DAKIN, S.C.; DAY, B.L.; CASTELLOTE, J.M.; WHITE, S., & FRITH, U. (2003): "Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults". *Brain*, 126, pp. 841-865.
- RAMUS, F. (2006): "A neurological model of dyslexia and other domain specific developmental disorders with an associated sensorimotor syndrome". In G. D. Rosen (Ed.), *The Dyslexic Brain: New Pathways in Neuroscience Discovery* (pp. 75-101). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- SCHUMACHER, J.; ANTHONI, H.; DAHDOUH, F.; KONIG, I.R.; HILLMER, A.M.; et al. (2006): "Strong genetic evidence of DCDC2 as a susceptibility gene for dyslexia". *Am. J. Hum. Genet.* 78:52-62
- SHAYWITZ, S.E.; SHAYWITZ, B.A.; PUGH, K.R.; FULBRIGHT, R.K.; CONSTABLE, R.T.; MENCL, W.E.; SHANKWEILER, D.P.; LIBERMAN, A.M.; SKUDLARSKI, P.; FLETCHER, J.M.; KATZ, L.; MARCHIONE, K.E.; LACADIE, C.; GATTENBY, C., & GORE, J.C. (1998): "Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia". *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 95, pp. 2636-2641.
- SHAYWITZ, B.A.; SHAYWITZ, S. E.; PUGH, K. R.; EINAR MENCL, W.; FULBRIGHT, R. K.; SKUDLARSKI, P.; TODD CONSTABLE, R.; MARCHIONE, K.E.; FLETCHER, J.M.; REID LYON, G., & GORE, J.C. (2002): "Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia". *Biological Psychiatry*, 52, pp. 101-110.
- SHAYWITZ, B.A.; SHAYWITZ, S.E.; BLACHMAN, B.A.; PUGH, K.R.; FULBRIGHT, R.K.; SKUDLARSKI, P.; MENCL, W.E.; CONSTABLE, R.T.; HOLAHAN, J.M.; MARCHIONE, K.E.; FLETCHER, J.M.; LYON, G.R., & GORE, J.C. (2004): "Development of left occipitotemporal systems for skilled reading in children after a phonologically based intervention". *Biological Psychiatry*, 55, pp. 926-33.
- SILANI, G.; FRITH, U.; DEMONET, J. F.; FAZIO, F.; PERANI, D.; PRICE, C.; FRITH, C.D.; PAULESU, E. (2005): Brain abnormalities underlying altered activation in dyslexia: A voxel based morphometry study. *Brain*, 128, pp. 2453-2461.
- SIMOS, P.G.; FLETCHER, J.M.; BERGMAN, E.; BREIER, J.I.; FOORMAN, B.R.; CASTILLO, E.M.; DAVIS, R.N.; FITZGERALD, M., & PAPANICOLAOU, A.C. (2002): "Dyslexia-specific brain activation profile becomes normal following successful remedial training". *Neurology*, 58, pp. 1203-1213.
- SNOWLING, M. (2000): *Dyslexia: A cognitive-developmental perspective*. Blackwell, Oxford, England.
- STANOVICH, K.E., & SIEGEL, L.S. (1994): "Phenotypic performance profile of children with reading disabilities: A regression-based test of the phonological-core variable-difference model". *Journal of Educational Psychology*, 86, pp. 24-53.
- STEIN, J. (2003): "Visual motion sensitivity and reading". *Neuropsychologia*, 41(13), pp. 1785-1793
- TAIPALE, M.; KAMINEN, N.; NOPOLA-HEMMI, J.; HALTIA, T.; MYLLYLUOMA, B.; LYYTINEN, H.; MULLER, K.; KAARANEN, M.; LINDSBERG, P.J.; HANNULA-JOUPPI, K., & KERE, J. (2003): "A candidate gene for developmental dyslexia encodes a nuclear tetratricopeptide repeat domain protein dynamically regulated in brain". *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 100(20), 11553-8.
- TALLAL, P. (1980): "Auditory temporal perception, phonics and reading disabilities in children". *Brain & Language*, 9,182-98.
- (2004): "Improving language and literacy is a matter of time". *Nature Reviews Neuroscience*, 5, pp. 721-728.
- ZIEGLER, J. & GOSWAMI, U. (2005): "Reading Acquisition, Developmental Dyslexia, and Skilled Reading Across Languages: A Psycholinguistic Grain Size Theory". *Psychological Bulletin*, 131, pp. 3-29.
- (2006): "Becoming literate in different languages: Similar problems, different solutions". *Developmental Science*, 9, pp. 429-436.

El autor

Manuel Carreiras

Es catedrático de Universidad, actualmente dentro del programa IKERBASQUE, y director científico del “Basque Center on Cognition, Brain and Language”, ubicado en Donostia-San Sebastián. Ha publicado numerosos artículos y diversos libros sobre lectura, comprensión, bilingüismo y aprendizaje de segundas lenguas. En su investigación utiliza diversas técnicas, incluyendo, técnicas avanzadas de neuroimagen. Es editor de revistas internacionales prestigiosas del área de Neurociencia Cognitiva como *Frontiers in Languages Sciences* y *Language and Cognitive Processes*. Ha dirigido diversos proyectos de investigación, entre los que destaca COEDUCA, financiado dentro del programa CONSOLIDER-INGENIO 2010, y BILITERACY financiado por el “European Research Council”.





ENTREVISTA AL PROFESOR D. JOAQUÍN FUSTER

Francisco López Rupérez



El Profesor D. Joaquín Fuster, investigador del “Semel Institute for Neuroscience & Human Behavior” de la UCLA (Universidad de California. Los Ángeles), es uno de los grandes entre los grandes dentro de la comunidad científica internacional que trabaja en Neurociencia. Su impresionante currículum profesional (www.joaquinfuster.com) es imposible resumir sin perder en el proceso algo interesante. El hecho de que sus contribuciones fundamentales a la investigación sobre el cerebro se agrupen en torno a la Neurociencia cognitiva y a la naturaleza y dinámica de las memorias, hace de su amable aportación a este número monográfico de la revista-web *Participación educativa* un privilegio –que le reconocemos muy sinceramente- y una oportunidad para, en el contexto español, avanzar en ese diálogo necesario entre Neurociencia y Educación.

Francisco López Rupérez (F.L.R.) — *Particularmente en esta última década, la divulgación de la importancia del factor emocional se ha extendido hasta alcanzar a la Educación. La emoción influye sobre los aprendizajes; pero, ¿qué sabemos de la influencia de la cognición sobre la emoción en cuanto a la efectividad del proceso de aprender?*

Joaquín Fuster (J.F.) — El rendimiento cognitivo de un estudiante, con todas sus consecuencias académicas y sociales, tiene una influencia decisiva sobre la estabilidad emocional de aquel estudiante, su auto-estima y su confianza en el futuro, en la escuela y en la sociedad. El éxito aumenta y perpetúa el éxito, y el fracaso aumenta y perpetúa el fracaso. El primero, es un círculo “virtuoso”, el segundo un círculo vicioso. Aquí hay que recalcar la intercambiabilidad de los factores influyentes a través de maestros y materias, un hecho ampliamente constatado que pone de manifiesto la importancia de los factores emocionales. El niño que descubre su habilidad en la aritmética, por ejemplo, especialmente si ésta es excepcional, y recibe la debida recompensa por ello, probablemente será bueno también con la historia y las ciencias, aunque uno suele oír decir que al niño “se le da bien una cosa y no la otra”, y un maestro sí y el otro no. Lo mismo puede decirse *mutatis mutandis* con respecto al fracaso escolar, el cual, con respecto al estudiante, fácilmente se propaga entre asignaturas y entre maestros. Claro está, hay diferencias entre alumnos, entre maestros, y entre materias y el esfuerzo que éstas requieren. Pero aquí sólo trato de exponer los principios generales de interacción entre factores cognitivos y emocionales en la educación.

La base neurobiológica de estas interacciones está en lo que yo llamo el “ciclo percepción-acción”, el cual no es otra cosa que la “tele-encefalización” en la corteza cerebral de la relación circular del organismo con su medio externo, relación que ya existe en el cerebro interno (límbico) de animales inferiores. A su nivel más bajo es el sustrato de la homeostasis, a saber, el equilibrio auto-regulado entre el medio interno y el medio externo. La importante diferencia es que en el hombre, el medio interno cortical –la corteza cerebral asociativa– contiene internalizado en forma de memoria una buena parte del medio externo. “Yo soy yo y mi circunstancia”, nos decía Ortega. Por “circunstancia” él justamente entendía toda la experiencia que llevamos adquirida dentro de

nuestro cerebro desde que nacemos: todas nuestras memorias, todo lo que hemos aprendido en el curso de la vida, nuestras costumbres, tradiciones, y la ética social y personal; en resumidas cuentas, nuestra “cultura” en sentido amplio. Esa “cultura” está groseramente dividida en dos sectores de la corteza. La experiencia vital adquirida por medio de los órganos de los sentidos está mayormente distribuida en un entramado de redes neuronales de corteza asociativa posterior (memoria perceptual); por otra parte, la memoria del que-hacer, la memoria ejecutiva, lo está en redes de la corteza asociativa frontal, también llamada corteza prefrontal.

Ahora bien, en la dinámica del proceso educativo, como en el diálogo hablado, el ciclo percepción/acción literalmente circula a través del medio externo, o del interlocutor, y de la corteza asociativa perceptual, con su memoria adquirida, donde la información externa se procesa en función de “lo que ya se sabe”. El resultado de este proceso “informa” a la corteza frontal, la cual, en función de lo que “sabe” del quehacer, ejecuta acciones sobre el medio ambiente, o sobre el interlocutor, las cuales acciones ejercen cambios ambientales, o expresiones del interlocutor, los cuales generan nuevos impulsos sensoriales y nueva información que se procesará en la corteza para producir nuevos cambios ambientales, etcétera. Y así el ciclo continúa entre persona y ambiente hasta que aquella alcanza su objetivo, bien sea éste un objetivo biológico como es la satisfacción de una función vital, el acuerdo intelectual con el dialogante, o el aprendizaje de una tarea nueva.

En el proceso educativo, el ciclo percepción/acción del discípulo pasa por el educador, y el del educador por el discípulo. Los dos están engarzados, mutuamente estimulados uno por el otro, en una misión conjunta con un objetivo común, que es el aprendizaje del discípulo. En una clase de muchos alumnos, los ciclos son otros tantos, cada uno de ellos pasando por el educador.

Cada ciclo cognitivo individual, sin embargo, circula por el cerebro en paralelo con otro, también individual, de carácter emocional. Este involucra no sólo la corteza sino también las estructuras del sistema límbico del interior del cerebro (incluidos el hipotálamo, la amígdala, el tálamo anterior y la corteza orbitaria). El ciclo emocional pasa por estadios semejantes a los del ciclo cognitivo, e interactúa con el mismo en varios lugares del cerebro. Las influencias entre los dos pueden ser de refuerzo mutuo beneficioso, como es el caso del educando recompensado por su tarea bien

hecha. Pero también pueden ser adversas e incluso destructivas, como es el caso del estudiante frustrado que fracasa en su esfuerzo y cae en una fobia o ansiedad desmesurada ante una asignatura concreta o un educador determinado. Ambos, maestro y discípulo, pueden caer así juntos en un círculo vicioso de antagonismo y fracaso, donde las reacciones emocionales de ambos interfieren severamente con el aprendizaje.

Cuando las cosas van bien, el educador juega un papel esencialmente positivo en el ciclo cognitivo y emocional del escolar. Es más, el cognitivo se hace imprescindible para el progreso del emocional, y viceversa. Ciertamente es debido al funcionamiento positivo del ciclo emocional que el ciclo cognitivo puede progresar con éxito. No hay sustituto eficaz para los signos de aprobación y de aliento, como tampoco los hay para la corrección juiciosa a su tiempo. Aquí no quiero quitar importancia al uso de la informática y los ordenadores como instrumentos educativos. Algunos de ellos, sobre todo los que ponen énfasis en la “educación natural” progresiva, con sus dispositivos programados de “feedback” positivo, son extraordinariamente útiles. En última instancia, sin embargo, la participación humana del maestro o la maestra es imprescindible. ¿Por qué? Porque solo ellos, entrando a tiempo en el ciclo del alumno, pueden proporcionar el ajuste y atención continuos a la tarea del mismo, por medio naturalmente de la intervención oportuna y del apoyo emocional que tan importantes son para el progreso del alumno.

F.L.R. — *Una de las claves del éxito escolar, según la opinión de los prácticos de la enseñanza y la evidencia empírica generada por la investigación educativa, consiste —particularmente en los entornos sociales desfavorecidos— en combinar exigencia y altas expectativas, apoyo personal y afecto. ¿Disponemos de evidencias neurocientíficas que nos aproximen a una comprensión fundamental de este hecho?*

J.F. — Con respecto a estas cuestiones, ya me he pronunciado en mi respuesta anterior. Sin embargo, usted hace referencia tangencial a un hecho de importancia cardinal que creo requiere alguna aclaración de mi parte. La educación del niño es tanto la responsabilidad de la escuela como lo es, si cabe más todavía, de la familia. Esto se ha dicho repetidamente en muchas ocasiones. Es claramente un truismo, pero también, ¡cuántas veces se ha tratado de reducir a cifras y presupuestos la solución de lo que no es un problema económico sino social! El ciclo percepción/acción del aprendizaje empieza a funcionar en casa, mucho antes de que el niño entre en la escuela. Y es en casa donde se forman las redes corticales de memoria filética más elementales de convivencia social, como son la confianza en el prójimo y el sentido de afiliación, ambos de gran trascendencia en el proceso educativo. Desgraciadamente, la escuela llega casi siempre tarde para poder inculcar esos principios en el niño de familia rota, donde no hay más que desconfianza y soledad. Es espectáculo patético el que ofrecen algunas reuniones de padres y educadores, donde los padres de los niños más problemáticos brillan por su ausencia y donde alguno de ellos aparece sólo para achacar a la escuela problemas que tienen su origen en un hogar enfermo. Ahí, más dinero y mejores maestros no sirven de nada, porque el problema no es la educación del niño sino la educación de la sociedad. De todas maneras, qué duda cabe, no hay educación eficaz sin una combinación cognitiva y emocionalmente inteligente de amor y disciplina por parte de todos, en la familia y en la escuela. El amor, solo, crea niños tontos y mimados. La disciplina, sola, crea delinquentes.

F.L.R. — *En el contexto de una crisis económica y social feroz y de unos resultados mediocres de nuestro sistema educativo, los medios informativos españoles han revalorizado el papel, en los alumnos, del esfuerzo y de la perseverancia. ¿Pueden los avances producidos sobre los mecanismos de construcción de la memoria a largo plazo ayudarnos a comprender por qué el esfuerzo individual, la atención y la perseverancia resultan inevitables para un aprendizaje intelectual efectivo? ¿Podrían tener dichos avances implicaciones sobre la manera de organizar la enseñanza, en cuanto al tiempo de dedicación a las materias o a los procedimientos pedagógicos?*

J.F. — Con perdón, su pregunta me recuerda una *matruschka*, una de esas muñecas rusas encapsulantes y encapsuladas, con una muñeca dentro de la otra, y otra dentro de aquella..., y otra... Empecemos con la grande, ¡vaya muñeca!, que es el contexto de “crisis económica y social feroz” de que usted habla... A mi modo de ver, su asociación “económica-social” bajo el mismo adjetivo es exacta. No se puede separar bien una cosa de la otra. Mucha miseria económica y desempleo se deben, en buena parte y en última instancia, a la falta de valores fundamentales, como son la ética del trabajo, el ahorro, y la confianza en uno mismo y en los demás. Parte del problema son muchos “derechos” y pocas responsabilidades. Los políticos y los demagogos se aprovechan de estas circunstancias para promocionar engaños colectivos, como son el independentismo regional y el espejismo de que un “estado de bienestar” Keynesiano, todavía más grande que el actual, nos llevará a la prosperidad. Esta última idea está fracasando rotundamente en la civilización occidental, cada vez más sumergida en la deuda a pesar de los “estímulos” de los gobiernos. Es curioso que el “estado de bienestar” solo parece funcionar en el país que inventó la seguridad social (con Bismarck). El motivo es que ese país conserva la ética del trabajo en su cultura y vive dentro de sus medios. Además tiene —¡por el momento!— una política laboral sana: participación del empleado en el consejo de administración y en las ganancias de la empresa. En estas condiciones, los sindicatos, el litigio laboral y la huelga se hacen obsoletos, innecesarios. Supongo que los datos de la educación del niño alemán respaldan mi conjetura, cuanto menos en lo que respecta a la ética del trabajo y a lo que usted llama “los valores del esfuerzo y la perseverancia”. Estos nacen en casa, y no en los medios informativos. Y lo que mejor funciona en casa es la armonía familiar y el buen ejemplo. Los “sermones” paternos o maternos no sirven para nada.

Efectivamente, los avances de la neurociencia ponen de manifiesto cada vez más la importancia de la atención y de la perseverancia para la consolidación de la memoria a largo plazo. Como también ponen de manifiesto la importancia del equilibrio emocional y del ambiente afectivo para que el aprendizaje intelectual sea eficaz. En líneas generales, sin embargo, el conocimiento neurocientífico nos lleva simplemente a la confirmación de lo que ya sabíamos: El ambiente social del niño, que la familia establece para empezar, es el crisol imprescindible en el cual, con la intervención de la escuela, el aprendizaje intelectual del niño da su fruto. El perfeccionamiento racional de los protocolos de dedicación a las distintas materias y de los procedimientos pedagógicos son elementos necesarios pero no suficientes para el éxito escolar.

Y aquí añadiría yo dos elementos que también la neurociencia nos dice son imprescindibles para el aprendizaje cognitivo: educación física e higiene alimenticia. Es simplemente escandaloso el observar como en muchas escuelas elementales y secundarias de occidente, el *currículum* cognitivo desplaza el deporte y la gimnasia. ¿Es que las autoridades docentes no saben que sin el ejercicio físico en paralelo el cerebro no puede absorber el conocimiento?

Aquí la neurociencia cognitiva se pronuncia claramente: el niño que aprende necesita no solo recreo sino también ejercicio físico. Curiosamente, la misma ciencia parece indicar que el ejercicio físico ayuda al recordar del anciano que se olvida de las cosas.

Lo mismo puede decirse, en el niño y en el adulto, con respecto a la alimentación. Las neuronas no funcionan bien ni desarrollan sus contactos sin una dieta equilibrada. Ésta ha de contener las proporciones idóneas de proteínas, grasas e hidratos de carbono, con los suplementos adecuados de vitaminas y minerales. Los excesos, especialmente de grasas y carbohidratos, llevan al desastre: mal desarrollo, mal aprendizaje, malas relaciones sociales, y una caterva de posibles enfermedades, entre ellas la obesidad, la arteriosclerosis y la diabetes. Pero concretamente, para nuestro alumno, aquellos excesos llevan a la formación y funcionamiento deficientes de las redes corticales de la memoria y el conocimiento.

F.L.R. — Los que reflexionamos de modo sistemático acerca de las políticas educativas no podemos eludir nuestra preocupación y nuestra responsabilidad sobre su grado de acierto. ¿Puede considerarse la plasticidad cerebral un recurso natural suficiente para atemperar el impacto individual y social de las políticas erróneas?

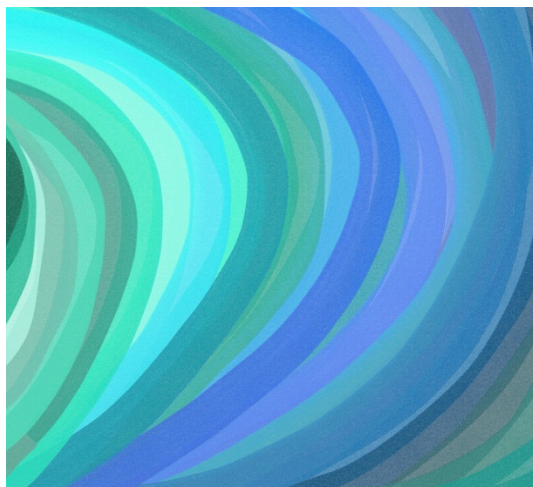
J.F. — Lo mismo puedo decir de la plasticidad cerebral que he dicho acerca de los protocolos didácticos: necesaria pero no suficiente. Sin embargo puedo recalcar aquí algo que es ya casi de conocimiento común. Se trata de la formación de los contactos entre neuronas, de la que hablaba Cajal en su teoría sobre la memoria, la cual está hoy día ampliamente corroborada por la neurociencia cognitiva. Hoy sabemos que tales contactos son la base de la estructuración de la memoria a largo plazo en las redes de la corteza asociativa, las cuales sustentan no sólo la memoria sino también todas las demás funciones cognitivas, redes a las que yo llamo *cógnitos*. Los *cógnitos*, o redes cognitivas de la corteza, son el sustrato fundamental del paradigma reticular de la memoria cortical. Esos *cógnitos* están organizados de modo jerárquico, un poco también “a la *matruschka*”, con las ideas generales, abstractas, por encima de, y conteniendo, las más concretas. Por esto las conexiones lógicas son más estables y más útiles que las “mnemónicas”. Estas últimas se basan generalmente en relaciones superficiales (v. g., fonéticas). Las relaciones lógicas son de

mayor utilidad en la cognición y en el lenguaje, por lo cual es más importante razonar con el niño que enseñarle trucos mnemónicos.

El razonamiento se basa en el lenguaje, el cual, como todas las funciones cognitivas, está jerárquicamente organizado. A nivel más bajo están la comunicación más elemental, emocional, incluso onomatopéyica, y la gramática universal filética (chomskiana), la cual no es otra cosa que un caso particular de la “sintaxis de la acción” en general. Por encima de ellas están las categorías semánticas al servicio de todas las funciones cognitivas, incluida la adquisición de memoria y conocimiento. Son éstas las que tiene que formar y movilizar la escuela en la corteza cerebral del niño.

F.L.R. — Desde su atalaya internacional privilegiada ¿cómo ve el presente y el futuro del diálogo entre Neurociencia y Educación?

J.F. — Aquí no hay ni atalaya ni privilegio alguno, sino sentido común y la experiencia de un investigador que durante casi medio siglo se ha dedicado a explorar las redes cognitivas de la corteza cerebral y la influencia sobre ellas de factores metabólicos, ambientales y sociales. Mi actitud con respecto al futuro del que usted habla, del diálogo entre Neurociencia y Educación, es francamente optimista. Sin embargo, aquí se trata de un proceso racional lento de concienciación colectiva —aunque no necesariamente consciente— de inducción y de deducción, que son el “diástole” y el “sístole” esenciales de todas las ciencias. Se trata de comprender que el organismo humano es un sistema adaptativo



complejo, donde las variables se relacionan entre sí a todos los niveles. Se trata de que el neurocientífico comprenda bien, con todas sus implicaciones, que el código del conocimiento que tratamos de inculcar en el niño es fundamentalmente un código relacional, donde las cosas se definen por relaciones entre neuronas, entre redes, entre sensaciones, entre actos, entre climas emotivos y entre seres humanos y sus “circunstancias” respectivas. Los avances de la neurociencia a sus niveles más básicos son sólo aplicables a la educación en función de aquellas relaciones. Pretender reducir la educación a mecanismos biofísicos elemen-

tales es como pretender entender lo que dice la carta estudiando la composición química de la tinta.



NEUROCIENCIA COGNITIVA DEL DESARROLLO: EL PERIODO PRE-ESCOLAR

DEVELOPMENTAL COGNITIVE NEUROSCIENCE: THE PRE-SCHOOLING PERIOD

Núria Sebastián Gallés

Universitat Pompeu Fabra

Resumen

En los primeros meses de vida la interrelación entre el desarrollo cognitivo y cerebral es particularmente evidente. Los avances tecnológicos en la capacidad para obtener imágenes del cerebro en vivo, como por ejemplo a través de la resonancia magnética funcional, han permitido una mejor comprensión de la complejidad del desarrollo cerebral. En este artículo presento una breve introducción a conceptos básicos sobre cómo cambia el cerebro como producto de la programación genética y la interacción con el entorno. El desarrollo temprano del lenguaje ejemplifica de manera clara diversos aspectos de dicha interacción. Aunque en numerosos campos es temprano para aplicar una buena parte de los conocimientos neurocientíficos a la escuela, un conocimiento fundamentado (y libre de todos los neuromitos y palabrería pseudocientífica) sin duda ayudará a los profesionales de la educación a comprender mejor el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Palabras clave: Infancia, desarrollo del cerebro, periodos críticos, lenguaje, neuromitos.

Abstract

During the first months of life, the cross-talk between cognitive development and brain development is particularly clear. Recent advances in brain imaging techniques, such as functional magnetic resonance, have allowed a better understanding of how the human brain develops. Here I present a short introduction to some basic concepts on how our brain changes as a function of genetic pre-programming and environmental interaction. Early language development is a clear showcase of such complex interaction. Although it is likely too early to apply most of our current knowledge to the school context, a well-grounded knowledge (free of neuromyths and pseudoscience) will help educational professionals to better understand the learning process.

Keywords: *Infancy, brain development, critical periods, language, neuromyths*

1. Introducción

La idea de que en los primeros años de vida los bebés son sujetos activos es relativamente reciente. Ahora sabemos que, contrariamente a lo que se pensaba hace unas décadas, la estimulación específica que recibe un bebé o un niño pequeño va a jugar un papel muy importante (aunque no definitivo) en su desarrollo posterior. Así y todo, la mayoría de los pediatras y maestros reciben una información o bien no actualizada o bien escasa acerca del desarrollo cognitivo y neural temprano en estas etapas.

A mediados del siglo pasado aparecieron dos influyentes corrientes acerca del desarrollo temprano, aunque con énfasis teóricos bastante distintos: la etología, con los influyentes trabajos de K. Lorenz o N. Tinbergen y la psicología del desarrollo de J. Piaget o L. Vigotsky. Los trabajos desde la etología supusieron un énfasis en la existencia de patrones específicos de conducta característicos de nuestra especie, como algunos reflejos existentes al nacer o la preferencia de los bebés por la voz humana o por óvalos en los que se sitúen círculos que se asemejen a una disposición “normal” de ojos y boca, en comparación a una que simule un rostro invertido. Dado el carácter poco flexible de los patrones descritos por los etólogos en el comportamiento animal, no es de extrañar que este tipo de formulaciones tuviera poco eco en el ámbito de la educación. Por el contrario, el énfasis en el papel de la interacción con el medio (o de la interacción social) como mecanismo fundamental de construcción del conocimiento resultó de gran atractivo para los investigadores en educación, ya que proporcionaba un marco teórico en el que ubicar el impacto del entorno en el desarrollo infantil. No obstante, las propuestas de Piaget y de Vigotski al poner un gran énfasis en la acción como uno de los motores del

desarrollo infravaloraron las capacidades y los cambios que ocurren en los primeros años de vida. Por ejemplo, Piaget propuso que antes de los dos años si bien los niños pueden reconocer y manipular objetos, no pueden tener conceptos o ideas abstractas, afirmaciones que ahora sabemos que no son correctas.

Como se ha comentado más arriba, tanto los trabajos originales de la etología, como los de Piaget o Vigotsky aparecieron hace ya mucho tiempo (en las décadas de los 40, 50 y 60) cuando la psicología cognitiva se estaba empezando a desarrollar y muchísimo antes de que la neurociencia cognitiva hiciera su aparición. Lorenz recibió un premio Nobel y nadie duda que Piaget o Vigotsky fueron unos genios. Sus aportaciones fueron fundamentales en cuanto que establecieron un modelo teórico y una agenda de trabajo para el campo que tuvo una larga vigencia, pero como tiene que ocurrir en ciencia, investigaciones posteriores han permitido mostrar las limitaciones de sus estudios aportando nuevos conocimientos y abriendo nuevas perspectivas.

El objetivo de este artículo es proporcionar algunos conocimientos generales acerca de cómo el cerebro se desarrolla en los primeros años de vida, así como elementos de discusión y reflexión en torno a la relación entre la neurociencia cognitiva y la práctica educativa. Espero también poder proporcionar elementos que permitan discernir, entre las distintas afirmaciones que se suelen escuchar, aquellas que no son más que mitos sobre el desarrollo del cerebro (los denominados “neuromitos”). Como vamos a ver a continuación, en los primeros meses de vida el desarrollo del cerebro, y en consecuencia de su cognición, pasa por un periodo de profundos cambios.

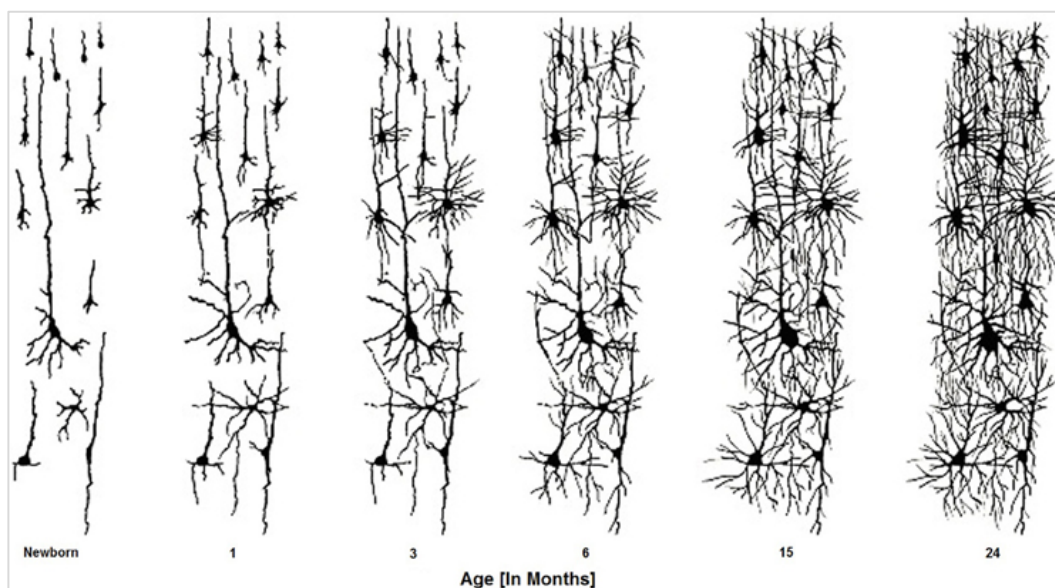
2. El desarrollo del cerebro: neuronas, conexiones, áreas y redes

La idea más popular acerca del desarrollo del cerebro en los primeros años de vida es que éste va incrementando numéricamente su complejidad, permitiendo conductas cada vez más sofisticadas: a más neuronas y más conexiones, mayor capacidad y eficiencia del cerebro.

Imágenes como la de la figura 1 (Huttenlocher & Dabholkar, 1997) ilustran de manera muy gráfica esta idea de incremento cuantitativo de la complejidad. Sin embargo, un mayor número de neuronas y conexiones no equivale a un mejor funcionamiento. Los seres humanos nacemos con un cerebro inmaduro, de hecho es justamente esta inmadurez la que permitirá que la experiencia lo moldee de manera fundamental. En los primeros meses de vida, la corteza cerebral experimenta una importante proliferación de sinapsis (*sinaptogénesis*), que va a verse seguida por un

periodo de “poda” (eliminación de sinapsis, a menudo por falta de uso). Un aspecto importante es que la dinámica temporal de estos dos procesos varía de manera significativa en distintas áreas de la corteza cerebral. Así, en áreas sensoriales visuales o auditivas (la parte de la corteza cerebral que se encuentra más directamente conectada con los órganos sensoriales), el número máximo de sinapsis se alcanza a las pocas semanas después del nacimiento, mientras que en la corteza prefrontal (la parte de la corteza cerebral con un desarrollo relativo mayor en la especie humana, cuando se compara con otras especies) el incremento es mucho más lento. De hecho, la densidad sináptica en la corteza prefrontal no tendrá valores máximos equivalentes a la auditiva hasta el cuarto año de vida. Estas diferencias entre distintas áreas de la corteza se observan también en otros aspectos del desarrollo cerebral, como las medidas de arborización dendrítica, el metabolismo regional y la mielinización (Chugani & Phelps, 1986).

Figura 1.- Desarrollo de conexiones entre las células del cerebro en los dos primeros años de vida del niño



Al igual que ocurre con los cables de la electricidad, los axones de las neuronas se recubren de un “aislante”, en este caso, una sustancia grasa, la mielina. Aquellos axones cuya capa de mielina sea más gruesa van a permitir una transmisión de la señal mucho más efectiva que aquellos otros con una capa de mielina más fina. Especialmente en el cerebro en desarrollo, la cantidad de mielina en una determinada área puede ser una buena medida indirecta del uso que se hace de dicha área. Para hacernos una idea de la importancia de la mielina, la causa de los síntomas observados en la esclerosis múltiple es una patología de la mielina. Al igual que ocurre con la sinaptogénesis y los procesos posteriores de poda, la mielinización tiene también ritmos temporales distintos según las áreas del cerebro. Así pues, no solamente importa cuántas neuronas o conexiones sinápticas existan, sino que también van a importar la estructura de la sustancia blanca (los axones y la mielina), las dendritas o la neuroquímica de la sinapsis a la hora de moldear el funcionamiento cerebral.

Como resultado de estas diferencias en el ritmo de maduración entre distintas áreas del cerebro, el impacto del entorno y las posibilidades de compensar experiencias iniciales atípicas van a variar también a través de ellas. Una estimulación visual deficiente en los primeros años de vida (como la que se produce en el caso de niños nacidos con cataratas monoculares o con problemas de ambliopía u “ojo vago”) si no se corrige rápidamente va a producir

consecuencias en la organización cerebral que serán prácticamente imposibles de corregir más tarde. Por el contrario, el prolongado desarrollo de las áreas prefrontales va a permitir una extensa ventana temporal en la que el entorno va a poder modificar la organización del cerebro (lo que implica también posibilidades de reparación en el caso de estimulaciones desafortunadas). Un concepto muy popular es el de la existencia de “periodos críticos” en el desarrollo. La visión radical del periodo crítico es la de una ventana temporal única y estricta en la que si no se produce la estimulación adecuada, los resultados son catastróficos. Si bien es cierto que determinadas áreas del cerebro requieren de una estimulación precisa en un momento preciso, estas son muy pocas. Como el lector habrá podido deducir, deberán corresponderse a las áreas del cerebro en las que se producen procesos de índole madurativo (como la sinaptogénesis y posterior poda) de manera muy rápida. Así y todo, no es cierto que la estimulación fuera de la ventana temporal (antes o después) no sea en absoluto efectiva, de hecho los investigadores de este ámbito prefieren hablar de “ventanas de oportunidad” caracterizadas por el hecho de que una cantidad de estimulación pequeña produce grandes cambios; fuera de la ventana de oportunidad, puede ocurrir que ingentes cantidades de estimulación tengan un impacto prácticamente despreciable. La sinaptogénesis y la poda están determinadas por mecanismos neuroquímicos. La presencia de determinadas molé-

culas (en áreas cerebrales concretas) “potencia o frena” la aparición o desaparición de sinapsis, condicionada a que haya actividad en las neuronas. Estos son los tipos de mecanismos que modulan el impacto de la experiencia de manera temporalmente diferencial en las distintas áreas del cerebro (Bavelier *et al.*, 2010).

Los distintos ritmos de maduración de las diferentes estructuras corticales vienen determinados tanto por la genética, como por la estimulación específica. Estudios con animales que han sido criados en entornos de carencia sensorial muestran organizaciones de la corteza visual aberrante, lo que indica la necesidad de estimulación sensorial para un desarrollo normal incluso para cómputos de naturaleza sensorial (como, por ejemplo, poder discriminar líneas verticales de horizontales; D. Hubel y T. Wiesel recibieron el premio Nobel en 1981 por sus descubrimientos acerca de los cambios inducidos en la corteza sensorial visual debidos a la carencia sensorial). Por otra parte, aunque el cerebro es extraordinariamente plástico, su estructura impone restricciones a los posibles cambios inducidos por el entorno. Por ejemplo, en los individuos oyentes, la red cerebral implicada en el procesamiento del lenguaje tiene su epicentro en las áreas sensoriales auditivas, lo que tiene un gran sentido en términos de arquitectura funcional. Dado que el lenguaje es un estímulo acústico, es lógico que su procesamiento implique estructuras cercanas a esa área. Por esa misma razón, en el caso de individuos hablantes de la lengua de signos (y sordos desde su nacimiento), la red cerebral implicada en el lenguaje debería ser distinta y localizarse cerca de las zonas del cerebro responsables del procesamiento visual y espacial. Sin embargo, no es así. Los hablantes de la lengua de signos, sordos de nacimiento, reclutan las mismas áreas del cerebro que los oyentes para procesar el lenguaje, con la salvedad de que como es lógico, implican ciertas estructuras de procesamiento sensorial viso-espacial. Esto indica que el cerebro tiene un sesgo para realizar ciertos tipos de cómputos característicos del lenguaje en determinadas áreas específicas, independientemente de si la estimulación es visual o auditiva (Neville *et al.*, 1998), aunque la exposición a una lengua específica va a producir una cierta modulación en los circuitos neurales.

Mediante distintas técnicas de neuroimagen se ha podido constatar qué zonas del cerebro consumen más oxígeno (y por lo tanto están más activas) en la realización de determinadas actividades (los populares “cerebros en colores” que suelen aparecer en la prensa). Estas activaciones cambian en función del desarrollo cerebral. Siguiendo con las áreas antes descritas (áreas sensoriales primarias y la corteza prefrontal) es evidente que los cambios en el número de sinapsis, el grado de mielinización, así como diversos cambios en los neurotransmisores que ocurren a lo largo de la vida, van a comportar patrones de activación distintos en distintos momentos del desarrollo. Mientras que los cambios de activación en las áreas sensoriales van a ser muy pocos transcurridos los primeros meses de vida, en la corteza prefrontal vamos a poder observar cambios muy importantes a lo largo de toda la vida (ya que es una zona que empieza a deteriorarse muy pronto también). Sin embargo, una visión de que el funcionamiento del cerebro y su relación con la conducta se limita a describir los distintos patrones de activación en diferentes áreas al llevar a cabo distintas tareas es muy limitada y no refleja de manera cabal el funcionamiento del cerebro.

Un error conceptual bastante generalizado es presuponer que las distintas áreas del cerebro se activan de manera más o menos exclusiva en la realización de determinadas tareas, es común oír “las áreas del lenguaje” o “el cerebro emocional”... Una visión más acertada es considerar que determinadas estructuras cerebrales juegan un papel privilegiado en determinadas tareas, pero las mismas estructuras suelen jugar papeles importantes en distintas

tareas. Una noción fundamental para comprender cómo opera el cerebro es entender que éste forma redes o sistemas, que conectan estructuras tanto cercanas como lejanas. Existen diferentes métodos que nos permiten ver como se conectan a nivel físico distintas áreas. Mediante el estudio de tractos cerebrales y cambios en la sustancia blanca podemos “dibujar” mapas de conectividad física del cerebro. Otro tipo de métodos permiten observar lo que se denomina la *conectividad funcional*. Mientras que los métodos previos tan solo mostraban qué áreas del cerebro estaban especialmente activas durante la realización de una tarea, estos métodos nuevos nos permiten observar la direccionalidad de la activación e incluso establecer relaciones de causalidad. El desarrollo de estas técnicas es muy reciente y el número de investigaciones que las ha utilizado para explorar el desarrollo temprano es realmente muy reducido.

El estudio del desarrollo es el estudio del cambio como producto de la información contenida en el genoma y su interacción con el entorno (lo que ahora conocemos como “epigenética”); además, la educación es fundamentalmente la realización de actividades que pretenden cambios específicos (aprendizaje). Este tipo de metodologías nos van a permitir poner a prueba distintas hipótesis y ayudarnos a comprender mejor diferencias en efectividad de programas, diferencias individuales, etc.

3. Un caso paradigmático: el desarrollo temprano del lenguaje

Uno de los ámbitos de investigación que más claramente puede ilustrar la compleja interrelación entre predisposiciones innatas del cerebro y la influencia del entorno es el del estudio del lenguaje humano. La lingüística ha mostrado que las distintas lenguas que hablamos los seres humanos comparten una serie de estructuras subyacentes (nombres, verbos, concordancias, etc.), lo que indica que el cerebro se encuentra especialmente diseñado para procesar dicho tipo de estructuras. Pero, por otra parte, las lenguas presentan una gran variedad y la exposición a una lengua en concreto va a determinar que se aprenda una estructura u otra. Así, un niño expuesto al castellano, al catalán o al gallego aprenderá que las preposiciones van antes de los nombres, pero un niño que aprenda vasco aprenderá que van detrás.

Al nacer, los seres humanos vienen equipados con un cerebro que le permitirá empezar a aprender el lenguaje (cualquier lenguaje) ya en el momento del nacimiento (si no antes) y que en pocos meses le hará descubrir las primeras palabras y las propiedades gramaticales fundamentales de la lengua. Diversos estudios llevados a cabo con neonatos (bebés todavía en la maternidad, estudiados entre las 4 horas y los 4 días de vida) han mostrado que pueden percibir las diferencias entre la práctica totalidad de los fonemas de todas las lenguas del mundo, aunque sus padres no los produzcan o no puedan percibirlos (un bebé nacido en una familia china o japonesa no tiene ningún problema en percibir las diferencias entre las palabras “cara” y “cala”). También pueden notar las diferencias entre lenguas que suenen muy distinto, como el japonés y el holandés, pero no lenguas que suenen más parecido, como el inglés y el holandés o el castellano y el italiano. Estas capacidades no dependen de la lengua de los padres (Kuhl, 2004). Por lo que respecta al substrato biológico, se ha observado que ya en los primeros meses de vida cuando los bebés escuchan el lenguaje se pone en funcionamiento una red similar (aunque menos madura) a la que se pone en marcha en el caso de los adultos: estructuras fronto-temporales y con una mayor actividad en el hemisferio izquierdo que en el derecho (Leroy *et al.*, 2011). Estos resultados muestran una cierta especialización cortical para el lenguaje ya presente en el nacimiento.

A partir del 5.º o 6.º mes de vida se observa un cambio importante en la capacidad para discriminar fonemas. Los bebés empiezan a tener dificultades para percibir fonemas que no se encuentran presentes en la lengua de los padres, a la par que mejoran la capacidad para percibir los que sí forman parte del repertorio de la lengua materna (empezando con las vocales y finalizando con las fricativas –las consonantes /s/, /f/, etc.). Este tipo de desarrollo es totalmente compatible con el tipo de evolución del cerebro descrito en la sección anterior en el que el papel de la exposición “poda” conexiones que no se utilizan (dificultando discriminaciones anteriormente posibles) y “pavimenta” las que sí (mejorando las que se practican) (Kuhl *et al.*, 2006; Sebastian-Galles, 2006).

También a partir del 6.º mes de vida los bebés empiezan a reconocer palabras familiares, aunque van a necesitar que las pronuncie una persona a la que estén acostumbrados a oír (Bergelson & Swingley, 2012). Los bebés van a seguir incrementando su vocabulario y al mismo tiempo van a ir descubriendo distintas propiedades de las palabras de su propia lengua. Por ejemplo, entre los 8 y 10 meses de vida los bebés aprenden cuáles son los patrones de acento característicos en su lengua (el acento en la primera sílaba de las palabras para el inglés, o en la penúltima para el español), o cómo pueden empezar o acabar las palabras (“tr” puede aparecer al principio de una palabra en español, pero no al final). Tomado en su conjunto, nuestro conocimiento sobre desarrollo inicial del lenguaje es elegantemente consistente con lo que ahora mismo sabemos acerca del desarrollo del cerebro (incluso considerando los aspectos moleculares y su papel en el establecimiento de las categorías fonéticas de la lengua materna, Weikum *et al.*, 2012).

Los bebés no solo utilizan la información estrictamente lingüística (los fonemas, los cambios de intensidad y duración que indican el acento...) sino que también van a emplear información social para acelerar el aprendizaje. Los bebés emplean ya en el primer año de vida información de tipo social como la dirección de la mirada para deducir a qué objeto (de varios que puede estar presentes) corresponde la palabra a la que se está refiriendo un adulto. A los 6 meses de edad los bebés prefieren escuchar a alguien que hable su propia lengua que una lengua desconocida, a los 10 meses prefieren coger un objeto de una persona que hable su lengua materna que de una que hable una lengua desconocida (Kinzler, Dupoux, & Spelke, 2007). Dado que las personas que padecen de autismo tienen una baja capacidad para utilizar información de tipo social, es evidente que no van a poder emplear este tipo de información para aprender palabras nuevas, teniendo pues un hándicap para aprender el vocabulario

Una situación que suele suscitar numerosas preguntas (y dudas) relacionada con la adquisición del lenguaje, es el bilingüismo. Hay muchas situaciones distintas en las que un individuo aprende dos lenguas: porque ya en su hogar coexisten las dos lenguas (porque ambos progenitores son bilingües o porque cada uno habla lenguas distintas), porque, aunque en su hogar solo hay una lengua, vive en una sociedad multilingüe (como ocurre en una parte muy importante de la sociedad española), porque ha emigrado a otro país y tiene que aprender la lengua de dicho lugar, porque la necesita por su trabajo... etc. Desde el punto de vista del desarrollo cada situación tiene características bastante diferentes y explorar cada una de ellas aquí es materialmente imposible. Alrededor del bilingüismo hay diversos mitos que merecen aclararse. En primer lugar, no hay ninguna evidencia empírica sólida de que antes de empezar a aprender una segunda lengua, los niños tienen que tener bien aprendida la primera. Los datos existentes indican que los bebés que crecen en entornos bilingües tienen un desarrollo del lenguaje equivalente al de los que crecen en entornos monolingües. Aunque se han documentado algunas diferencias en el desarrollo en el primer año de vida, la conclusión

es que alcanzan los mismos hitos, a través de caminos algo diferentes (Sebastian-Galles, 2010; Werker, Byers-Heinlein, & Fennell, 2009). De hecho, existen numerosas evidencias de que una exposición bilingüe reporta beneficios en diferentes aspectos de la cognición (incluso fuera del ámbito del lenguaje) a lo largo de toda la vida (Bialystok, Craik & Luk, 2011). El ejercicio constante que tiene que realizar el bilingüe para poder aprender y manejar sus dos lenguas acarrea una “gimnasia cognitiva” que conllevaría un desarrollo más rápido de áreas de la corteza prefrontal en los niños y un mayor enlentecimiento en el deterioro debido al envejecimiento.

Otro de los mitos es que las personas que son bilingües tienen más facilidad para aprender lenguas nuevas. La verdad es que la evidencia a favor de esta afirmación es escasa y no supera una prueba de escrutinio científico serio. Veamos con un ejemplo un estudio en concreto para analizar el tipo de evidencias y los problemas que conlleva. Un trabajo que recientemente ha recibido una cierta difusión en los medios como dando soporte a la hipótesis de que los bilingües aprenden mejor lenguas nuevas que los monolingües es el publicado por S. Abu-Rabia y E. Sanitsky en 2010. Para poner a prueba esta hipótesis se seleccionaron dos grupos de niños israelitas que aprendían como segunda o tercera lengua el inglés. Un grupo era monolingüe hebreo y el otro bilingüe hebreo-ruso. Los resultados mostraron que los estudiantes bilingües sacaban mejores puntuaciones en las pruebas de inglés que los monolingües. Si ambos grupos fueran exactamente idénticos, sería un resultado apoyando la hipótesis de la ventaja de los bilingües. Pero los dos grupos no eran equivalentes en factores que podrían influir en el aprendizaje. Veamos un par. En primer lugar, los bilingües eran emigrantes nacidos en Rusia. Por lo tanto, estos niños habían pasado por situaciones en las que se habían tenido que adaptar a una nueva sociedad, costumbres, etc., circunstancias por las que los niños monolingües no habían tenido que pasar. Habría que ver si estos niños bilingües eran mejores que los monolingües en otros tipos de aprendizaje, no relacionados con el aprendizaje del lenguaje. Si fuera así, podría no ser el bilingüismo lo que daría una ventaja en el aprendizaje del inglés. En segundo lugar, es posible que estos niños tengan una mayor motivación para aprender en general, dado que sus padres habían emigrado y (es posible) que tuvieran una mayor cultura del esfuerzo. A favor de esta hipótesis está el hecho de que sus puntuaciones en numerosas pruebas que miden el conocimiento lingüístico, así como, en especial, su conocimiento del vocabulario hebreo, eran mejores que los de los niños monolingües. Este último dato es especialmente llamativo (y sorprendente), ya que existe una amplia literatura que muestra que aun cuando el número total de palabras (sumando ambas lenguas) que conocen los bilingües es similar al de los monolingües –si no superior– cuando se considera solo una lengua, es menor. Este estudio no demuestra si el bilingüismo es o no beneficioso a la hora de aprender una tercera lengua. Pudiera ser que lo fuera, pero el diseño del estudio no permite descartar otras hipótesis alternativas. Lo que lleva a concluir que no hay evidencia a favor de la hipótesis de que el bilingüismo facilite el aprendizaje de terceras lenguas (ni de que no lo haga).

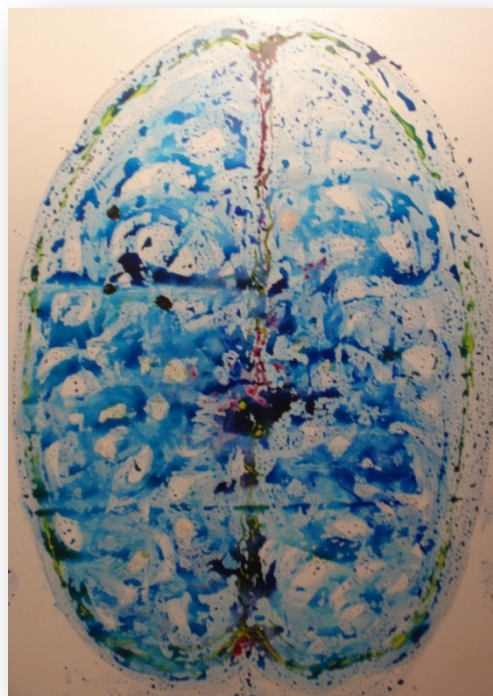
4. Elementos para discusión y prospectiva

El tema de este monográfico es la relación entre investigación en neurociencia y mejora en la educación. Lo que la investigación en neurociencia cognitiva ya nos proporciona es un marco conceptual para comenzar a comprender la cognición humana (entendida en un sentido amplio, lo que incluye los aspectos emocionales y sociales). En este sentido nos empieza a proporcionar herramientas muy precisas para diagnosticar y para evaluar la efectividad de distintas intervenciones. La neurociencia cognitiva es una ciencia muy joven (como también lo es la psicología científica), con apenas unas décadas de vida. La mayoría de los métodos descritos son también el producto de avances científicos y tecnológicos muy recientes y su uso para el estudio del desarrollo cognitivo (neurotípico o atípico) es en muchos casos tan reciente que no supera los 3-4 años. Las promesas son muchas y las expectativas son muy altas.

Para que la investigación en neurociencia cognitiva pueda ser útil en el contexto de la escuela, es también necesario un cambio en la manera de abordar la investigación en educación por parte de sus especialistas. Los neurocientíficos (que incluye un amplio abanico no solo de psicólogos, sino también biólogos, médicos, físicos, matemáticos,...) estamos empezando a poder describir los cambios que ocurren en el cerebro como consecuencia del aprendizaje de la lectura o de padecer maltratos en la primera infancia; o en qué se diferencia el funcionamiento cerebral de un individuo que padece un trastorno del espectro autista de otro que no lo padece (o incluso, qué diferencias existen entre los diversos tipos de autismos). También, en colaboración con especialistas en genoma, estamos empezando a identificar las causas precisas de por qué ciertos individuos son más sensibles a ciertos tipos de exposiciones (o intervenciones) que otros. Por ejemplo, existe numerosa evidencia que relaciona la presencia del polimorfismo COMT con la aparición de determinados trastornos de la personalidad. Los neurocientíficos proporcionan modelos teóricos y herramientas de diagnóstico muy precisas, pero no son ellos los que determinan su uso en el contexto escolar.

Un concepto que ha aparecido de manera recurrente en todo este capítulo es el de “precisión”. A menudo se dice que los descubrimientos provenientes del laboratorio no son pertinentes para el entorno escolar, porque la situación en la escuela es muchísimo más compleja que la de un laboratorio y por consiguiente su validez está muy limitada. Como suele ocurrir con las cuestiones importantes, la respuesta es compleja, de hecho, quienes defienden estas afirmaciones tienen razón y están equivocados al mismo tiempo. Los resultados de las investigaciones no son directamente extrapolables y no dan cuenta de toda la complejidad de una interacción educativa ciertamente, pero sí son pertinentes. A modo de analogía sería como decir que los avances en biología que han permitido desarrollar tratamientos efectivos contra distintas enfermedades no son pertinentes porque en la aparición y desarrollo de las mismas juegan un papel fundamental aspectos como la alimentación previa del enfermo y, en general, condiciones de salubridad (directamente relacionadas con la pobreza), porque el enfermo no sigue la pauta marcada, porque ingiere otro tipo de medicamentos, etc. Un medicamento que es muy efectivo en un paciente puede no serlo en otro. Un tratamiento muy agresivo con quimioterapia puede ser la mejor opción contra un cierto cáncer, pero el médico puede decidir que no es la mejor opción para un paciente porque el nivel de leucocitos es muy bajo y dicho tratamiento podría ser fatal. ¿Quiere esto decir que la investigación llevada a cabo en el laboratorio que ha permitido mostrar que dicho tratamiento es el más efectivo no es válida? También en educación, un programa puede ser en principio óptimo y así y todo fracasar estrepitosamente por una plétora de razones. Exis-

ten procedimientos científicos para determinar la validez de un tratamiento médico (que pueden ser muy dispares, métodos clínico, epidemiológico, etc.). Una cuestión abierta es el establecimiento en la comunidad educativa de protocolos de evaluación de intervenciones. A veces se argumenta que tales protocolos no pueden establecerse porque cada situación de enseñanza es única (cada clase es única, cada niño es único). También lo es cada tratamiento médico, cada enfermo y se han podido establecer procedimientos aceptados a nivel mundial.



Para finalizar, una crítica frecuente es que la neurociencia no aporta nada nuevo (o casi nada nuevo), que tan solo se “redescubren” cosas que los maestros y padres ya saben. Cuando Isaac Newton formuló las leyes de la gravitación universal, estableciendo las bases de la mecánica clásica, su aportación no fue la de darse cuenta de que las manzanas caían de los árboles al suelo (podemos imaginarnos que mucha gente antes ya se había dado cuenta de ello). Lo importante fue que proporcionó un marco teórico que explicaba el porqué. Con el paso de los años, sus propuestas se demostraron parcialmente erróneas, pero también se demostraron capitales para que hoy podamos disfrutar de internet o del láser. Comprender el porqué de las cosas es importante a nivel personal (saber que llevamos media hora parados en la autopista porque ha habido un accidente más adelante reduce el nerviosismo, si lo comparamos con la situación en la que no sabemos qué ha pasado) y a nivel social (permite incrementar el conocimiento, lo que nos llevará a vivir mejor –como con medicamentos mejores o con energías más sostenibles). El objetivo de la neurociencia cognitiva del desarrollo es explicar de una manera integrada con otras disciplinas como el ser humano partiendo del momento del nacimiento se desarrolla hasta alcanzar la vida adulta y más tarde a lo que conocemos como tercera edad. Espero haber mostrado que en esta empresa estamos construyendo todos juntos un cuerpo de conocimiento único que se nutre y aporta conocimientos de la psicología, la biología molecular, la genética e incluso la física y las matemáticas (mediante la neurociencia computacional). La cuestión es si es posible tender puentes hacia la educación y si lo es, por dónde empezar.

Referencias bibliográficas

- ABU-RABIA, S. & SANITSKY, E. (2010): "Advantages of bilinguals over monolinguals in learning a third language". *Bilingual Research Journal*, 33, pp. 173-199.
- BAVELIER, D.; LEVI, D.M.; LI, R.W.; DAN, Y., & HENSCH, T.K. (2010): "Removing brakes on adult brain plasticity: from molecular to behavioral interventions". *Journal of Neuroscience*, 30, 14964-14971.
- BIALYSTOK, E.; CRAIK, F.I., & LUK, G. (2012): "Bilingualism: consequences for mind and brain". *Trends in Cognitive Sciences*, 16, 240-250.
- BERGELSON, E. & SWINGLEY, D. (2012): "At 6-9 months, human infants know the meanings of many common nouns". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, pp. 3253-3258.
- CHUGANI, H.T. & PHELPS, M.E. (1986): "Maturational changes of cerebral function in the infant determined by FDG positron emission tomography". *Science*, 231, pp. 840-843.
- HUTTENLOCHER, P.R. & DABHOLKAR, A.S. (1997): "Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex". *Journal of Comparative Neurology*, 387, pp. 167-178.
- KINZLER, K.D.; DUPOUX, E., & SPELKE, E.S. (2007): "The native language of social cognition". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 12577-12580.
- KUHL, P.K. (2004): "Early language acquisition: cracking the speech code". *Nature Reviews Neuroscience*, 5, pp. 831-843.
- KUHL, P.K.; STEVENS, E.; HAYASHI, A.; DEGUCHI, T.; KIRITANI, S., & IVERSON, P. (2006): "Infants show a facilitation effect for native language phonetic perception between 6 and 12 months". *Developmental Science*, 9, F13-F21.
- LEROY, F.; GLASEL, H.; DUBOIS, J.; HERTZ-PANNIER, L.; THIRION, B.; MANGIN, J.F., & DEHAENE-LAMBERTZ, G. (2011): "Early maturation of the linguistic dorsal pathway in human infants". *Journal of Neuroscience*, 31, pp. 1500-1506.
- NEVILLE, H.J.; BAVELIER, D.; CORINA, D.; RAUSCHECKER, J.; KARNI, A.; LALWANI, A.; BRAUN, A.; CLARK, V.; JEZZARD, P., & TURNER, R. (1998): "Cerebral organization for language in deaf and hearing subjects: biological constraints and effects of experience". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95, pp. 922-929.
- SEBASTIAN-GALLES, N. (2006): "Native-language sensitivities: evolution in the first year of life". *Trends in Cognitive Sciences*, 10, pp. 239-241.
- (2010): "Bilingual language acquisition: Where does the difference lie?". *Human Development*, 53, pp. 245-255.
- WEIKUM, W.M.; OBERLANDER, T.F.; HENSCH, T.K., & WERKER, J.F. (2012): "Prenatal exposure to antidepressants and depressed maternal mood alter trajectory of infant speech perception". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 17221-17227.
- WERKER, J.F.; BYERS-HEINLEIN, K., & FENNELL, C.T. (2009): "Bilingual beginnings to learning words". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364, pp. 3649-3663.

La autora

Núria Sebastián Gallés

Es catedrática de Psicología en la Universitat Pompeu Fabra (Barcelona). Especialista en adquisición y procesamiento del lenguaje ha publicado numerosos trabajos en revistas internacionales, como *Science*, *PNAS*, etc. Entre 2002 y 2006 fue miembro del grupo consultivo de la iniciativa "Cerebro y Aprendizaje" de la OCDE. Entre 2002 y 2008 presidió la comisión de Ciencias de la Educación en la ANEP. En la actualidad es miembro del "Scientific Council del European Research Council" (ERC).

INFLUENCIA DEL ESTRÉS SOBRE LAS CAPACIDADES COGNITIVAS

STRESS EFFECTS ON COGNITIVE FUNCTION

Carmen Sandi

Brain Mind Institute. École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Suiza

Resumen

El estrés es un importante modulador de la función cognitiva, cuando se experimenta tanto de forma aguda como crónica. El estrés puede influir en el rendimiento cognitivo de maneras distintas, dependiendo de una combinación de factores relacionados, tanto con el propio estrés, como con el tipo de la función cognitiva en juego. Entre los factores especialmente importantes para definir los efectos cognitivos del estrés figuran su intensidad y su duración. En el extremo cognitivo, la operación cognitiva concreta (memoria implícita o explícita, memoria operativa, etc.) es esencial para definir los efectos del estrés. El estrés leve o moderado tiende a facilitar el rendimiento cognitivo en general. El estrés alto tiende a deteriorar las operaciones cognitivas implicadas en la formación de memorias explícitas o que requieren un razonamiento flexible y complejo mientras que, por el contrario, mejora el rendimiento en pruebas de memoria implícita y en tareas bien ensayadas. Además de estos principios generales, existen diferencias individuales importantes en cuanto a los efectos cognitivos del estrés. Actuar sobre el estrés de los individuos puede ser una estrategia eficaz para mejorar el rendimiento cognitivo, tanto en el contexto general de aprendizaje como en las situaciones de examen.

Palabras clave: estrés, aprendizaje, memoria, neurofisiología.

Abstract

Stress is a strong modulator of cognitive function, both when acutely or chronically experienced. Stress can affect cognition in many ways, depending on a combination of factors related to both stress and the cognitive function under study. Among the factors identified as particularly relevant to define the cognitive effects of stress are the intensity or magnitude of stress and its. At the cognitive end, the specific cognitive operation (e.g., implicit or explicit memory, working memory, etc) is essential to define stress effects. Overall, mild or moderate stress tends to facilitate cognitive function. High stress tends to impair cognitive operations involved in the formation of explicit memories and, more generally, of those that require complex, flexible reasoning, while improving performance of implicit memory and well-rehearsed tasks. In addition to these general principles, there are important individual differences in the cognitive impact of stress. Tackling individuals' stress can be an efficient strategy to improve cognitive function, both in the general learning context and in exams' situations.

Keywords: stress, learning, memory, neurophysiology.

1. Introducción

Las funciones cognitivas se ven influidas notablemente por el estrés. De hecho, la capacidad moduladora del estrés sobre las funciones cognitivas es bien conocida por todos, normalmente a partir de la propia experiencia, con situaciones que van desde la interferencia leve en tareas de atención o aprendizaje cuando tenemos una preocupación o un pequeño problema, hasta la capacidad de las experiencias traumáticas de inducir la aparición de recuerdos duraderos y perturbadores. Así pues, el espectro de funciones cognitivas que pueden verse afectadas por el estrés es amplio, desde la atención a la toma de decisiones, incluidos diferentes procesos de aprendizaje y memoria.

Desde un punto de vista evolutivo, la existencia de interacciones intrínsecas y, en gran medida, el solapamiento entre los sistemas fisiológicos responsables del estrés y de la función cognitiva tiene mucho sentido. Podría decirse que ambos sistemas fisiológicos, son los mecanismos de adaptación más potentes que han aparecido a lo largo de la evolución, permitiendo que nuestros ancestros hayan sobrevivido en situaciones extremadamente difíciles, adaptándose a circunstancias múltiples y complejas. Así pues, conocer cómo el estrés influye en las capacidades cognitivas resulta esencial tanto para lograr una comprensión neurobiológica de las operaciones básicas que explican el procesamiento de la información, como para hacer propuestas neurocientíficas con el fin de mejorar los programas educativos.

Como veremos más adelante, aunque con frecuencia se supone que los efectos cognitivos del estrés son perjudiciales, hay

muchos casos en los que las funciones cognitivas no resultan alteradas por el estrés o incluso mejoran. Según se detalla posteriormente, el efecto específico inducido por el estrés depende de varios factores relacionados con sus características y con aspectos concretos de la función cognitiva en cuestión. Conocer cómo el estrés afecta las capacidades cognitivas, tanto a nivel fenomenológico como a nivel de los mecanismos neurobiológicos que posibilitan la interacción, puede ayudar a desarrollar programas educativos centrados en la mejora del rendimiento de los estudiantes.

2. Concepto de estrés

Definir el estrés es complicado, ya que se trata de un concepto complejo. En general, el estrés puede considerarse una reacción adaptativa que ayuda al organismo a afrontar y responder a cambios y situaciones que suponen un reto para el equilibrio del individuo. A lo largo de la vida nos exponemos a situaciones cambiantes y complejas, cuyo efecto frecuentemente se va acumulando. Sin exagerar, podemos decir que prácticamente todos los organismos vivos experimentan estrés, con mayor o menor frecuencia, durante su vida. Al definirlo, es importante distinguir tres componentes que, en conjunto, definen cada experiencia de estrés: (i) el factor estresante, (ii) la evaluación de la situación y (iii) la respuesta del individuo.

Los factores estresantes son estímulos, en general aversivos y potencialmente perjudiciales, que influyen en el individuo. Pueden dividirse en *exteroceptivos* (como temperaturas extremas,

descargas eléctricas o situaciones sociales) e *interoceptivos* (desde problemas de salud, como molestias gástricas, a problemas psicógenos, como temor injustificado o dificultades de aprendizaje). En nuestras sociedades, gran parte del estrés que experimentamos es de naturaleza psicosocial, siendo los retos derivados de las interacciones sociales y de la competencia social, importantes factores desencadenantes de reacciones de estrés en el individuo.

Es importante señalar que un factor estresante puede ejercer un efecto diferente en cada persona. Así pues, el modo en que cada uno interpreta una situación potencialmente estresante constituye un paso esencial para determinar si un estímulo concreto actúa o no como factor estresante. Para una persona, un ruido súbito puede ser peligroso, mientras que otra lo puede experimentar como algo inocuo. Sus reacciones respectivas van a depender de numerosos factores, como su experiencia previa con ruidos parecidos, o las expectativas que cada persona genere respecto a las posibles consecuencias derivadas de ese ruido particular. Son diversos los procesos psicológicos importantes para determinar los efectos del estrés en el individuo, entre los cuales la controlabilidad -o capacidad real para afrontar la situación- es uno de los factores que afectan de manera crítica al impacto que las situaciones estresantes ejercen en el individuo (Maier y Watkins, 2005).

3. Respuestas fisiológicas al estrés

La respuesta del estrés es una reacción compleja del organismo que comprende reacciones fisiológicas y conductuales a la situación estresante. Entre las reacciones conductuales figuran las respuestas directas a los factores estresantes concretos y las respuestas adaptativas, que generalmente tienen una estrecha relación con las que se han seleccionado a lo largo de la evolución para optimizar la supervivencia (Steckler, 2005). La respuesta fisiológica al estrés consiste en respuestas generadas en circuitos cerebrales específicos (procesamiento sensorial, emocional y cognitivo de los estímulos por el sistema nervioso central) y en sistemas periféricos. La mayor parte de los circuitos neurales no solo tienen la capacidad de procesar información, sino también de influir finalmente en el grado y la dirección de la activación de los sistemas fisiológicos periféricos (Ulrich-Lai y Herman, 2009). En lo que respecta a las respuestas periféricas, los dos sistemas más importantes que se activan en situaciones de estrés son la rama simpática del sistema nervioso autónomo y el sistema neuroendocrino consistente en el eje hipotálamo-hipófiso-suprarrenal (HHS).

3.1. Sistema nervioso simpático

A diferencia de la rama parasimpática del sistema nervioso autónomo, que interviene en funciones vegetativas relacionadas con la tranquilidad, el crecimiento, la digestión y las respuestas de relajación del organismo, el sistema nervioso simpático se estimula ante situaciones activadoras y estresantes. Este sistema consta de proyecciones que llegan a prácticamente todos los órganos del cuerpo, donde secretan el neurotransmisor noradrenalina.

Una proyección importante del sistema nervioso simpático es la que llega a la médula de las glándulas suprarrenales, donde se secretan las hormonas adrenalina y noradrenalina a la circulación. Muchas de las respuestas conocidas al estrés están causadas por la activación del sistema nervioso simpático que produce aumento, entre otras funciones, en la frecuencia cardíaca, la presión arterial, la concentración de glucosa, la tensión muscular y la transpiración. En paralelo, la activación de este sistema fisiológico retrasa funciones que no son directamente necesarias para sobrevivir en ese momento particular; algunos ejemplos típicos

son la reducción o suspensión de la digestión y de las funciones reproductivas. Las concentraciones circulantes en la sangre de las hormonas de la médula suprarrenal -adrenalina y noradrenalina- no atraviesan normalmente la barrera hematoencefálica. A fin de influir en la función cerebral y cognitiva, estas hormonas de secreción periférica actúan mediante la activación de vías de señalización intermedias (por ejemplo, activando el nervio vago y el núcleo del tracto solitario) que, a su vez, son capaces de desencadenar la estimulación de vías noradrenérgicas centrales en el encéfalo (McGaugh y Roozendaal, 2002).

3.2. Eje hipotálamo-hipófiso-suprarrenal (HHS)

Este sistema neuroendocrino incluye la activación secuencial de moléculas mensajeras producidas por el hipotálamo, la hipófisis y la corteza suprarrenal. Los principales mensajeros hipotalámicos del eje HHS, corticoliberina (CRH) y vasopresina (AVP), se sintetizan en el núcleo paraventricular. Con el estímulo apropiado se liberan estos péptidos, que actúan sobre la hipófisis estimulando la producción y la liberación de corticotropina (ACTH) a la circulación sanguínea. En breves minutos, la ACTH llega a la corteza suprarrenal, donde estimula la secreción y producción de glucocorticoides (cortisol en los seres humanos; corticosterona en diversos animales, incluidos los roedores). Los glucocorticoides son hormonas esteroideas con amplios efectos sobre prácticamente todos los sistemas fisiológicos. El control regulador adecuado del eje HHS resulta esencial para la salud y la supervivencia y se lleva a cabo mediante mecanismos de retroalimentación negativa que incluyen acciones rápidas y genómicas de los glucocorticoides en la hipófisis y otros muchos lugares del cerebro, como el hipocampo (área cerebral que juega un papel esencial en la formación de memorias, así como en el procesamiento de emociones). Esta retroalimentación negativa es crucial para disminuir las concentraciones excesivas de estos esteroides, cuya acción breve puede ser muy adaptativa, pero cuyo mantenimiento en concentraciones elevadas durante períodos prolongados puede resultar muy perjudicial para el organismo. Por el contrario, las aferencias procedentes de la amígdala (área cerebral críticamente implicada en el procesamiento emocional, incluido el procesamiento del miedo tanto innato como adquirido) provocan una activación del eje HHS.

Es importante señalar que, gracias a su naturaleza lipófila, los glucocorticoides pueden acceder fácilmente al encéfalo. Además de acciones no genómicas rápidas a través de receptores de membrana, los glucocorticoides actúan sobre el cerebro a través de dos receptores intracelulares de corticosteroides, que ejercen efectos genómicos. Se trata de los receptores de mineralocorticoides (RM) y de glucocorticoides (RG). El cortisol y la corticosterona se unen con una afinidad 10 veces mayor a los RM que a los RG. En el hipocampo es donde hay una mayor densidad de receptores de corticosteroides, mientras que algunos núcleos de la amígdala y la corteza prefrontal (área cerebral que juega un papel esencial en funciones cognitivas que requieren organización, control y flexibilidad) también presentan concentraciones moderadas o altas de RG (de Kloet y cols., 2008).

Normalmente, al unirse un agonista, los receptores de corticosteroides activados pueden influir (potenciar o inhibir) en la expresión de determinados genes. Los receptores de corticosteroides activados pueden ejercer sus efectos mediante contacto directo con secuencias específicas de ADN, denominadas elementos de respuesta a los glucocorticoides (ERG), en su región promotora o mediante interacción con otros factores de transcripción. Por otro lado, los glucocorticoides también pueden ejercer acciones no genómicas rápidas al actuar sobre lugares de reconocimiento de esteroides en la membrana plasmática.

Es importante indicar que los sistemas corticosteroides interaccionan con otros sistemas de estrés en la producción de algunos de sus efectos cognitivos. Entre los más importantes, se encuentra su interacción con los sistemas adrenérgicos, que se ha identificado como un mecanismo mediador esencial en una amplia variedad de acciones que ejerce el estrés sobre la función cognitiva (Roozendaal y McGaugh, 2011).

4. Importancia de las diferencias individuales

Antes de abordar los principios generales según los cuales el estrés influye en la función cognitiva, hemos de reconocer en primer lugar la existencia de diferencias importantes en el modo en que se ven afectadas las capacidades cognitivas de las personas cuando se exponen a situaciones de estrés. Mientras que algunos individuos son especialmente ‘vulnerables’, otros parecen bastante ‘resistentes’ a los efectos del estrés (Sandi y Richter-Levin, 2009). Estas diferencias podrían obedecer a factores predisponentes, experiencias vitales previas o, más probablemente, a ambos. Entre los factores del individuo, el sexo, la dotación genética, los rasgos de personalidad y la edad influyen de manera importante las consecuencias cognitivas del estrés. Además, aunque la mayor parte de los estudios se han realizado con varones y, por tanto, la información relativa a los efectos del estrés en las mujeres sigue siendo bastante escasa, parece que hay importantes diferencias entre ambos sexos en cuanto a los efectos cognitivos del estrés. En general, los estudios efectuados en animales suelen revelar que los machos son especialmente propensos a mostrar cambios cognitivos cuando actúan en condiciones de estrés.

5. La intensidad del estrés es un factor esencial para las interacciones entre el estrés y la memoria

Desde hace mucho se acepta la idea de que la ‘intensidad’ del estrés que se experimenta durante o como consecuencia del aprendizaje de cierta información, o de una tarea concreta, es un factor fundamental a la hora de determinar la dirección de los efectos del estrés sobre la formación de la memoria. Uno de los estudios pioneros, publicado por Yerkes y Dodson en 1908, tuvo que ver con el aprendizaje de la discriminación en ratones. Sus datos indicaron que el rendimiento de los ratones en tareas “difíciles” fue máximo cuando el aprendizaje tuvo lugar en condiciones de estrés óptimo, mientras que se deterioró cuando se llevó a cabo por encima o por debajo de unos niveles óptimos de estrés. Así pues, la denominada ley de Yerkes-Dodson sostiene que la relación entre la intensidad del estrés y la memoria sigue una función en forma de U invertida; es decir, tanto los niveles bajos como los niveles altos de estrés deterioran la memoria, mientras que los niveles intermedios la facilitan. Aunque los experimentos de estos autores fueron criticados posteriormente debido a sus importantes limitaciones metodológicas, el atractivo de la fuerza intuitiva de esta propuesta hizo que obtuviera gran popularidad.

Recientemente, se han presentado datos experimentales que confirman la existencia de una relación en forma de U invertida en la interacción entre intensidad del estrés y rendimiento en tareas “con esfuerzo o difíciles”. Se trata de un estudio realizado en ratas que demuestra el espectro total de efectos en U invertida, por primera vez, bajo las mismas condiciones experimentales. El estudio se realizó utilizando una tarea de aprendizaje dependiente del hipocampo, el laberinto de agua de brazos radiales (Salehi y cols., 2010). En esta tarea, los animales han de encontrar una

plataforma oculta al final de uno de los seis brazos de un laberinto de agua circular (2 m de diámetro). Los animales deben orientarse espacialmente para realizar la prueba guiados por la presencia de pistas visuales en las inmediaciones del laberinto. En este estudio concreto, la intensidad del estrés se manipuló introduciendo variaciones de la temperatura del agua. En primer lugar se comprobó que cuando los animales navegan en el laberinto a distintas temperaturas, las respuestas de estrés (definidas a partir de las concentraciones en sangre de corticosterona) varían. En el trabajo, se estudió el aprendizaje espacial en distintos grupos de animales: un grupo entrenado bajo condiciones poco estresantes (temperatura del agua a 25 °C), otro grupo entrenado en condiciones de estrés intermedias (19 °C) y un tercero bajo condiciones de alto estrés (16 °C). Durante la fase de aprendizaje, las ratas entrenadas a 19 °C cometieron menos errores que los animales entrenados en condiciones de mayor (16 °C) o menor (25 °C) estrés, corroborando la existencia de un efecto del estrés sobre el aprendizaje en forma de U invertida. Es importante señalar que este efecto no solo se observó durante el aprendizaje, sino también en una prueba de memoria a largo plazo, lo que indica que esta función bifásica también explica los efectos del estrés sobre la formación de la memoria. No obstante, cuando se aumentó el entrenamiento de los animales, desaparecieron finalmente las diferencias debidas a las variaciones del nivel de estrés. Estas observaciones, que indican que el aprendizaje inicial se ve influido por el nivel de estrés y que el aumento de las sesiones de entrenamiento puede compensar las diferencias en el rendimiento inicial, son particularmente relevantes por sus posibles implicaciones en el contexto educativo.

Continuando con la evidencia neurobiológica del fenómeno de U invertida, es importante destacar que los principales sistemas fisiológicos del estrés se han podido implicar como mediadores esenciales de los efectos que acabamos de describir. Así, en estudios en los que se aplicaron manipulaciones de los sistemas noradrenérgico y glucocorticoideo se pudo también corroborar la relación en forma de U invertida entre las concentraciones de estas hormonas y los niveles asociados de aprendizaje o plasticidad sináptica (Lupien y McEwen, 1997; Joëls, 2006). Algunos datos recientes indican que los efectos facilitadores del estrés y los glucocorticoides incluyen una facilitación del tráfico de receptores (receptores de glutámico) que desempeñan una función esencial en el aprendizaje y la plasticidad sináptica (Conboy y Sandi, 2010), así como con cambios estructurales rápidos en los lugares de contacto entre las neuronas (específicamente, aumento de la espinogénia, siendo las espinas lugares principales para el contacto interneuronal) a través de los RG (Komatsuzaki y cols., 2012).

No obstante, hay que señalar que, aunque la función en forma de U invertida se aplica a los efectos del estrés sobre tareas que requieren “esfuerzo cognitivo o difíciles”, el efecto de la intensidad del estrés sobre tareas “fáciles o más automáticas” tiende a seguir una relación lineal, de modo que unos niveles crecientes de estrés desencadenado por el proceso de aprendizaje ejercen un efecto facilitador sobre el rendimiento. Esto se observa característicamente en tareas procedimentales sencillas y en estudios de condicionamiento clásico (Merino y cols., 2000). Un ejemplo típico es el condicionamiento del miedo, en el que los individuos aprenden a asociar un estímulo acústico con una situación aversiva. En este caso, a mayor estrés generado por la situación aversiva, mayor suele ser la intensidad de la memoria de miedo generada. De nuevo, son diversos los estudios que han implicado los glucocorticoides en los efectos del estrés; en este caso, en la relación lineal existente entre estrés e intensidad del condicionamiento (Sandi, 2011).

6. Efecto del estrés agudo producido fuera del contexto de aprendizaje

La relación entre intensidad del estrés y las funciones de aprendizaje y memoria que se ha comentado en la sección anterior se centró en las situaciones en las que el estrés es generado por la tarea de aprendizaje (en nuestra terminología, estrés 'intrínseco' a la tarea). A continuación, analizaremos el modo en que el estrés producido por circunstancias ajenas a la tarea de aprendizaje influye en la formación de la memoria. Es decir, en esta sección nos preguntaremos por aquellas situaciones en las que el individuo viene ya estresado (estrés 'extrínseco' a la tarea) a la situación de aprendizaje.

Puesto que, como hemos visto anteriormente, el estrés parece ejercer efectos diferenciales dependiendo del tipo de proceso cognitivo en juego, al discutir los efectos del estrés 'extrínseco' distinguiremos entre **memoria 'explícita' o 'declarativa'** (es decir, memoria relacionada con hechos y episodios) e **'implícita' o 'no declarativa'** (es decir, memoria que se expresa por medio de la ejecución o el rendimiento, como el aprendizaje de destrezas y hábitos) (Squire, 2009). No obstante, hay que señalar que, aun cuando en aras de la claridad, analizaremos estos sistemas de memoria por separado, ambos sistemas de memoria no deben considerarse necesariamente independientes, ya que interactúan con frecuencia y pueden solaparse en ciertas ocasiones (Berry y cols., 2012).

En general, la exposición al estrés poco antes de entrenar a personas en tareas de **memoria implícita** induce una mejora del rendimiento. Así se ha observado de forma sistemática en tareas de condicionamiento clásico: el estrés experimentado antes del entrenamiento facilita distintos tipos de condicionamiento (Shors, 2006), incluido el condicionamiento al miedo (Jackson y cols., 2006). Los efectos encontrados suelen depender del tipo de estímulos; por ejemplo, diversos estudios han señalado que la exposición al estrés antes del aprendizaje mejora el condicionamiento clásico para estímulos negativos, pero no positivos, así como las respuestas en tareas de primado o 'priming' (se trata del aprendizaje en el que la exposición a determinados estímulos influye en la respuesta que se da a estímulos presentados posteriormente) (Ehlers y cols., 2006; Hidalgo y cols., 2012). A nivel anatómico, los datos apuntan a la amígdala como sustrato clave de estos efectos, habiéndose observado indicios de alteraciones estructurales que aparecen rápidamente, tras la exposición a situaciones estresantes o a concentraciones elevadas de glucocorticoides, en prolongaciones dendríticas neuronales de la amígdala (en su núcleo basolateral) (Mitra y Sapolsky, 2008).

Sin embargo, los efectos del estrés agudo sobre la **memoria explícita** son más complejos. Según el estudio, se han identificado efectos mixtos, observándose ejemplos tanto de facilitación como de deterioro de la memoria. Varios estudios han indicado que la memoria relacionada con la información emocional suele ser facilitada por la exposición previa al estrés, mientras que la memoria relacionada con información neutra o positiva no suele resultar afectada o incluso se ve deteriorada por el estrés previo (Schwabe y cols., 2008; Payne y cols., 2006). Numerosos estudios han identificado al hipocampo como un área cerebral clave en los efectos del estrés sobre la formación de memorias explícitas. A nivel neurofisiológico, el hipocampo muestra también una alta sensibilidad al estrés: generalmente, las situaciones moderadas de estrés facilitan la plasticidad sináptica mientras que el estrés elevado deteriora la plasticidad (McEwen, 2001). Además de los efectos directos del estrés y los glucocorticoides en el hipocampo, la activación (emocional) de la amígdala por el estrés puede también influir, a su vez, sobre procesos de plasticidad en el hipo-

campo y, por tanto, afectar al procesamiento de información explícita (Kim y cols., 2012).

7. Efectos del estrés sobre la recuperación de recuerdos

Mientras que, como hemos visto, los efectos del estrés durante el aprendizaje se han estudiado en relación con los tipos de memoria implícita y explícita, la mayor parte del trabajo encaminado a investigar dichos efectos sobre la recuperación de información ya adquirida se ha centrado en el modo en que el estrés extrínseco influye en el recuerdo inmediato de información explícita. Los pocos estudios en que se han investigado indirectamente los efectos del estrés sobre el **recuerdo de memorias implícitas** indican, de nuevo, una mejora en las capacidades de recuperación de información en individuos que habían sido entrenados días e incluso meses antes de someterse a una prueba de recuerdo bajo estrés (Izquierdo y cols., 2002).

En relación con los **recuerdos de memorias explícitas**, hay datos sólidos que indican que el estrés y los glucocorticoides, cuando se administran poco antes de la prueba de recuperación de información, reducen la evocación de recuerdos dependientes del hipocampo (de Quervain y cols., 2009). Los glucocorticoides, así como su interacción con los sistemas noradrenérgicos, desempeñan una función esencial en estos efectos (de Quervain y cols., 1998).

8. Cuando el estrés se torna crónico

La investigación destinada a desentrañar los efectos del estrés crónico sobre la función cognitiva se centró inicialmente en tareas de memoria relacionadas con la función del hipocampo. Este interés fue motivado por datos iniciales que indicaron la aparición de cambios profundos en la morfología del hipocampo tras haber experimentado estrés crónico (McEwen, 2001). Tanto en roedores como en primates, se observó que la exposición a estrés crónico produce una atrofia en las prolongaciones dendríticas de las neuronas principales del hipocampo, así como una reducción en las conexiones sinápticas inter-neuronales y deficiencias en la plasticidad neuronal y sináptica (McEwen, 2001; Sandi, 2004).

La mayoría de los estudios en los que se han investigado los efectos del estrés crónico sobre la **memoria explícita** han proporcionado un respaldo importante a la alteración de las capacidades de aprendizaje y memoria en tareas dependientes del hipocampo. En roedores, se observaron efectos perjudiciales de la exposición al estrés crónico sobre el aprendizaje espacial en una amplia variedad de tareas relacionadas con laberintos (Sandi, 2004). Estas alteraciones pudieron bloquearse con tratamientos que evitan la aparición de la atrofia inducida por el estrés de las dendritas en neuronas principales del hipocampo. Entre los mecanismos neurobiológicos implicados, existen pruebas de que, tanto los cambios morfológicos del hipocampo, como unas concentraciones elevadas de glucocorticoides contribuyen a los déficits en la formación de memorias explícitas inducidos por el estrés (McEwen, 2001; Sandi, 2004).

Los datos disponibles respecto a los efectos del estrés crónico sobre la **memoria explícita** en seres humanos sanos son escasos, debido esencialmente a las limitaciones éticas inherentes a la exposición de seres humanos a un estrés repetido en estudios experimentales. No obstante, hay datos indirectos que respaldan una acción importante del estrés. Por ejemplo, se ha descrito una reducción del volumen del hipocampo en personas con autoestima baja, una información relevante en este contexto por ser la

baja autoestima un rasgo que predice claramente una mayor reactividad al estrés (Prussner y cols., 2005). Además, se ha constatado que la elevación de la concentración plasmática de cortisol que se produce a lo largo de los años en las personas de edad avanzada se correlaciona negativamente con el volumen del hipocampo y con el rendimiento en tareas de memoria explícita (Lupien y cols., 1998). Por otra parte, merece la pena destacar que hay cada vez más datos que señalan que la exposición crónica al estrés o a glucocorticoides empeora la función cognitiva y la neuropatología en las personas con enfermedad de Alzheimer (Aisen y cols., 2000) y en modelos de dicha enfermedad en roedores (Sotiropoulos y cols., 2011). En el trastorno depresivo mayor, un proceso clínico muy sensible al estrés que cursa con una reducción del volumen del hipocampo, el mayor grado de deterioro cognitivo se da en los parámetros de memoria que son sumamente dependientes de la función del hipocampo (MacQueen y Frodl, 2011). En este sentido, se ha propuesto una hipótesis relevante que hace hincapié en una función clave de los factores cognitivos en la conexión entre estrés, ansiedad y psicopatología (Sandi y Richter-Levin, 2009).

En lo que respecta a la **memoria implícita**, el estrés crónico, tal como indicamos también anteriormente con respecto al estrés agudo, facilita el condicionamiento del miedo (Sandi y cols., 2001). Estos hallazgos se interpretan a la luz de observaciones morfológicas paralelas que indican que el estrés crónico induce una remodelación sináptica, espinogénesis y un aumento de la ramificación dendrítica neuronal en la amígdala (en el núcleo basolateral), junto con un incremento de la ansiedad (Roosendaal y cols., 2009). Así pues, los cambios morfológicos que el estrés produce en la amígdala son coherentes con su papel como sustrato neurofisiológico que sustenta la facilitación de aprendizajes emocionales y el condicionamiento de tipo aversivo que presentan los individuos que han estado expuestos repetidamente a situaciones de estrés.

9. Efectos del estrés sobre las funciones ejecutivas

Numerosos datos experimentales respaldan la existencia de un efecto modulador importante del estrés, tanto agudo como crónico, sobre las funciones cognitivas de orden superior que sustentan la corteza prefrontal (CPF), como la memoria de trabajo, los procesos de flexibilidad cognitiva y las funciones ejecutivas (se trata de las funciones cerebrales que ponen en marcha, organizan, integran y manejan otras funciones e incluyen un amplio espectro de funciones, desde procesos de atención hasta la toma de decisiones). De hecho, la CPF es la región cerebral que responde probablemente con una mayor sensibilidad al estrés, según indican los rápidos cambios observados en las capacidades cognitivas prefrontales y la considerable magnitud de los efectos observados con la exposición progresiva al estrés (Arnsten, 2009).

Después de un **estrés agudo**, los efectos descritos son, no obstante, variopintos, con ejemplos de efectos tanto reductores (Elzinga y Roelofs, 2005; Luethi y cols., 2008) como potenciadores (Graybeal y cols., 2011; Weerda y cols., 2010) del estrés sobre la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva y la toma de decisiones (Starcke y Brand, 2012). Un análisis detallado de los estudios, nos permite proponer que las diferencias existentes entre los estudios en factores tales como intensidad del estrés y la carga cognitiva explican las divergencias en los resultados encontrados. El patrón que surge al considerar los estudios realizados tanto en animales como en humanos indica, de nuevo, la existencia de efectos en U invertida: facilitación de las funciones ejecutivas en condiciones de estrés moderado, pero deterioro de las mismas en

caso de niveles elevados de estrés. A nivel neurobiológico, variaciones en los niveles de los neurotransmisores dopamina y noradrenalina en la CPF se han implicado en estos efectos bifásicos del estrés (Arnsten, 2009).

A su vez, en condiciones de **estrés crónico**, se produce un deterioro sistemático de las funciones cognitivas dependientes de la CPF (Holmes y Wellman, 2009). Entre otros ejemplos, se han obtenido pruebas de que el estrés crónico produce un deterioro en procesos de atención tanto en animales como en humanos (Liston y cols., 2009). En roedores, diversos trabajos han ilustrado que diversos procesos de memoria dependientes de la CPF, como la memoria de trabajo, el aprendizaje inverso y la extinción de miedo condicionado, presentan deficiencias tras someter a los animales a un estrés crónico. En seres humanos, se ha constatado que el rendimiento en tareas de atención y otras funciones ejecutivas se ve alterado en los cuidadores de pacientes con demencia, un grupo de personas que están sometidas normalmente a un estrés acumulativo (Oken y cols., 2011). Asimismo, en trastornos neuropsiquiátricos asociados a estrés crónico, como depresión (Murphy y cols., 2003) y trastorno por estrés postraumático (TEPT) (Bremner y cols., 2008), se observan característicamente alteraciones de todas estas funciones cognitivas dependientes de la CPF.

Entre los posibles mecanismos que intervienen en estas alteraciones funcionales inducidas por el estrés crónico, los estudios realizados en animales han puesto de relieve alteraciones morfológicas importantes en la CPF medial, con observación de varios signos de atrofia (por ejemplo, reducción de la densidad de espinas y la ramificación dendrítica en capas corticales específicas, llegando a la desaparición de espinas dendríticas) en neuronas de capas corticales específicas especialmente (Holmes y Wellman, 2009).

En resumen, el mensaje que se extrae de los estudios realizados en este ámbito es que las funciones cognitivas dependientes de la CPF se alteran por la exposición a niveles altos o mantenidos de estrés; sin embargo, en situaciones de estrés agudo más leve, existe una posibilidad de mejora. Este patrón es muy parecido a la relación existente entre estrés y memoria explícita que se ha expuesto anteriormente.

10. Efectos del estrés sobre la formación de hábitos y el comportamiento centrado en objetivos

Uno de los últimos avances en este campo ha sido el reconocimiento de que el estrés puede influir en la contribución de diferentes sistemas neurobiológicos de memoria al rendimiento cognitivo (Schwabe y cols., 2010). La idea que está surgiendo es que la exposición a niveles elevados de estrés tiende a provocar un cambio en la ejecución de tareas, de modo que se pasa del uso de operaciones cognitivas flexibles al de estrategias más rígidas o ejecución de hábitos. Este modelo se ha documentado en animales y seres humanos, así como tras la exposición a estrés agudo y crónico. Es interesante destacar algunos estudios que han evaluado, tanto conductualmente como a nivel neurofisiológico, las respuestas de estudiantes sometidos al estrés crónico asociado con periodos de exámenes particularmente estresantes. Estos estudios han observado un cambio importante en las estrategias de toma de decisiones: en lugar de decidir en función de determinados objetivos, como ocurre en los individuos no sometidos a estrés, los estudiantes evaluados en periodos de exámenes actúan en mayor medida de forma automática, respondiendo con hábitos formados (Soares y cols., 2012).

Datos de neuroimagen funcional han revelado cambios paralelos en la actividad de los correspondientes sistemas cerebrales. En un estudio reciente con resonancia magnética funcional se observó que la exposición al estrés reduce el uso del hipocampo y de la corteza prefrontal, permitiendo que el estriado (un área cerebral relevante en la formación de hábitos) controle el comportamiento (Schwabe y Wolf, 2012). Estudios en animales han corroborado que, asociados a estos cambios funcionales, se observan cambios estructurales paralelos en la morfología neuronal en ambos sistemas y que incluyen atrofia en el hipocampo y en la corteza prefrontal e hipertrofia en el estriado (Dias-Ferreira y cols., 2009).

11. Visión general de los efectos del estrés sobre la función cognitiva

El panorama que acabamos de presentar nos permite concluir que la intensidad del estrés es uno de los principales factores que definen los efectos del estrés sobre la función cognitiva. Lo que cuenta es el nivel total de estrés que se experimenta durante las fases de aprendizaje, y que puede estar generado tanto por el estrés desencadenado por la tarea como por otras situaciones, externas al estrés, a las que haya estado expuesto el individuo.

En general, el estrés leve tiende a facilitar las funciones cognitivas, especialmente en casos de tareas sencillas o cuando la carga cognitiva no es excesiva. Los efectos de un estrés elevado o mantenido dependen fundamentalmente del proceso cognitivo en juego, siendo habitual observar deficiencias en tareas de memoria explícita y en tareas que requieren un razonamiento complejo y flexible y, por el contrario, una mejora en tareas de memoria implícita, recuerdos declarativos simples y tareas bien ensayadas.

12. Actuar sobre el estrés para mejorar el rendimiento cognitivo

En vista de los importantes efectos que el estrés puede ejercer sobre las funciones cognitivas, actuar sobre el estrés experimentado por los individuos puede ser una estrategia eficaz para mejorar su rendimiento cognitivo. A nivel educativo, los procesos cognitivos más relevantes en las tareas académicas son los asociados a las memorias de tipo explícito, memoria de trabajo y funciones ejecutivas. Como hemos visto, todas estas funciones se ven afectadas por los niveles progresivos de estrés siguiendo una U invertida. Una propuesta lógica sería la aplicación de terapias de ‘enfriamiento’ (encaminadas a reducir las respuestas de estrés) para tratar déficits cognitivos asociados a individuos con alta reactividad al estrés (bien generado en el aula o provocado por situaciones externas, por ejemplo en la familia o los amigos) y, por el contrario, estrategias de ‘estrés motivacional’ (centradas en incrementar el estrés presente o previsto) a aquellos individuos con respuestas de estrés demasiado bajo y que típicamente no muestren interés por aprender.

A menudo se aplican técnicas de ‘enfriamiento’ (farmacoterapia, relajación, terapias cognitivo-conductistas) para tratar a los pacientes con ansiedad y trastornos del estado de ánimo. Las estrategias de ‘enfriamiento’ deberían ayudar, más en general, a todas las personas que tienen dificultades para dominar sus respuestas exageradas de estrés en relación con retos cognitivos (desde las afectadas por trastornos graves hasta casos más leves de dificultades de afrontamiento en situaciones académicas y muy particularmente exámenes).

A su vez, como hemos visto, el rendimiento cognitivo no es óptimo cuando el estrés es demasiado bajo. Nuestra sociedad aplica sistemáticamente estrategias de ‘estrés motivacional’: los

plazos para presentar trabajos y la competencia sirven en muchos casos para estimular una mejora cognitiva. Estimular un ‘estrés’ leve y sano en el individuo puede tener efectos muy beneficiosos sobre el aprendizaje; el reto está en estimular la curiosidad por los contenidos educativos sabiendo dosificar el estrés. Esta es un área particularmente prometedora donde se necesita fomentar la investigación en años venideros para desarrollar propuestas educativas más eficaces que las actuales.

En definitiva, el conjunto de resultados acumulados en los últimos años en el ámbito de la investigación, revisado en este artículo, nos permite proponer que actuar sobre el estrés y la motivación puede ser una de las herramientas más eficaces para mejorar el contexto educacional. En cualquier caso, en el desarrollo, tanto de programas de ‘enfriamiento’ como de ‘estrés motivacional’, ha de tenerse en cuenta la importancia de las diferencias individuales en la percepción del estrés, así como las interacciones específicas entre distintos niveles de estrés y los sistemas cognitivos específicos.

Referencias bibliográficas

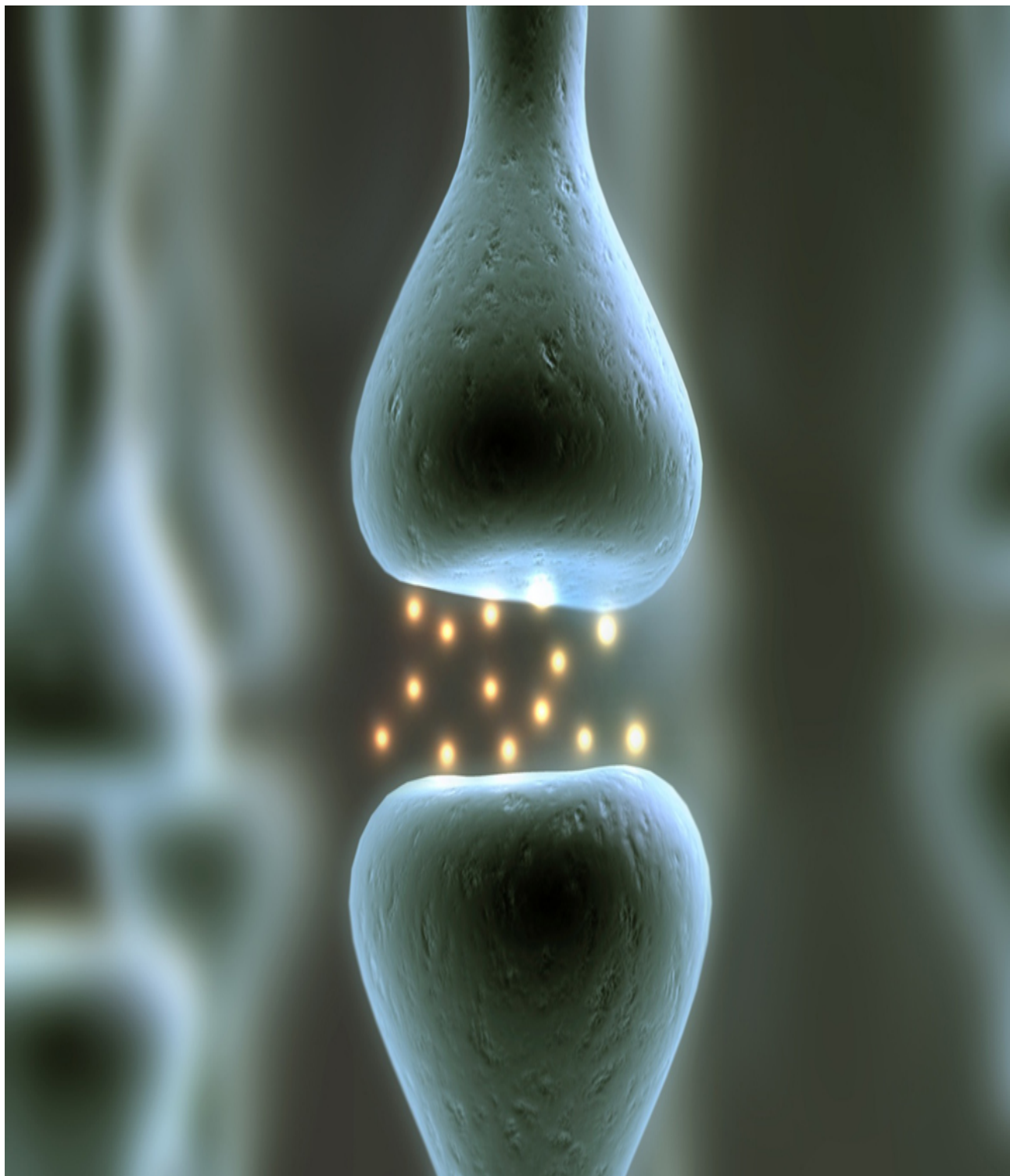
- AISEN, P.S.; DAVIS, K.L.; BERG, J.D.; SCHAFFER, K.; CAMPBELL, K.; THOMAS, R.G.; WEINER, M.F.; FARLOW, M.R.; SANO, M.; GRUNDMAN, M., y THAL, L.J. (2000): “A randomized controlled trial of prednisone in Alzheimer's disease. Alzheimer's Disease Cooperative Study”. *Neurology*, nº 54, pp. 588-593.
- ARNSTEN, A.F. (2009): “Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function”. *Nat Rev Neurosci*, nº 10, pp. 410-422.
- BERRY, C.J.; SHANKS, D.R.; SPEEKENBRINK, M., & HENSON, R.N.A. (2012): “Models of recognition, repetition priming, and fluency: Exploring a new framework”. *Psychol Rev*, nº 119, pp. 40-79.
- BREMNER, J.D.; ELZINGA, B.; SCHMAHL, C., & VERMETTEN, E. (2008): “Structural and functional plasticity of the human brain in post-traumatic stress disorder”. *Prog Brain Res*, nº 167, pp. 171-186.
- CONBOY, L. & SANDI, C. (2010): “Stress at learning facilitates memory formation by regulating AMPA receptor trafficking through a glucocorticoid action”. *Neuropsychopharmacology*, nº 35, pp. 674-685.
- DE KLOET, E.R.; KARST, H., & JOËLS M. (2008): “Corticosteroid hormones in the central stress response: quick-and-slow”. *Front Neuroendocrinol*, nº 29, pp. 268-272.
- DE QUERVAIN, D.J.; ROOZENDAAL, B., & MCGAUGH, J.L. (1998): “Stress and glucocorticoids impair retrieval of long-term spatial memory”. *Nature*, nº 394, pp. 787-790.
- DE QUERVAIN, D.J.; AERNI, A.; SCHELLING, G., & ROOZENDAAL, B. (2009): “Glucocorticoids and the regulation of memory in health and disease”. *Front Neuroendocrinol*, nº 30, pp. 358-70.
- DIAS-FERREIRA, E.; SOUSA, J.C.; MELO, I.; MORGADO, P.; MESQUITA, A.R.; CERQUEIRA, J.J.; COSTA, R.M., y SOUSA, N. (2009): “Chronic stress causes frontostriatal reorganization and affects decision-making”. *Science*, nº 325, pp. 621-625.
- EHLERS, A.; MICHAEL, T.; CHEN, Y.P.; PAYNE, E., y SHAN, S. (2006): “Enhanced perceptual priming for neutral stimuli in a traumatic context: A pathway to intrusive memories?”. *Memory*, nº 14, pp. 316-328.
- ELZINGA, B.M. y ROELOFS, K. (2005): “Cortisol-induced impairments of working memory require acute sympathetic activation”. *Behav Neurosci*, nº 119, pp. 98-103.
- GRAYBEAL, C.; FEYDER, M.; SCHULMAN, E.; SAKSIDA, L.M.; BUSSEY, T.J.; BRIGMAN, J.L. y HOLMES, A. (2011): “Paradoxical reversal learning enhancement by stress or prefrontal cortical damage: rescue with BDNF”. *Nat Neurosci*, nº 14, pp. 1507-1509.
- HIDALGO, V.; VILLADA, C.; ALMELA, M.; ESPÍN, L.; GÓMEZ-AMOR, J., y SALVADOR, A. (2012): “Enhancing effects of acute psychosocial stress on priming of non-declarative memory in healthy young adults”. *Stress*, nº 15, pp. 329-338.

- HOLMES, A. y WELLMAN, C.L. (2009): "Stress-induced prefrontal reorganization and executive dysfunction in rodents". *Neurosci Biobehav Rev*, n° 33, pp. 773-783.
- IZQUIERDO, L.A.; BARROS, D.M.; MEDINA, J.H., y IZQUIERDO, I. (2002): "Stress hormones enhance retrieval of fear conditioning acquired either one day or many months before". *Behav Pharmacol*, n° 13, pp. 203-213.
- JACKSON, E.D.; PAYNE, J.D.; NADEL, L. y JACOBS, W.J. (2006): "Stress differentially modulates fear conditioning in healthy men and women", *Biol Psychiatry*, n° 59, pp. 516-522.
- JOËLS, M. (2006): "Corticosteroid effects in the brain: U-shape it", *Trends Pharmacol Sci*, n° 27:244-250.
- KIM, E.J, KIM, E.S.; PARK, M.; CHO, J. y KIM, J.J. (2012): "Amygdalar stimulation produces alterations on firing properties of hippocampal place cells". *J Neurosci*, n° 32, pp. 11424-11434.
- KOMATSUZAKI, Y.; HATANAKA, Y.; MURAKAMI, G.; MUKAI, H.; HOJO, Y.; SAITO, M.; KIMOTO, T., y KAWATO, S. (2012): "Corticosterone induces rapid spinogenesis via synaptic glucocorticoid receptors and kinase networks in hippocampus", *PLoS One*, 7:e34124.
- LISTON, C.; MCEWEN, B.S. y CASEY, B.J. (2009): "Psychosocial stress reversibly disrupts prefrontal processing and attentional control", *Proc Natl Acad Sci U S A*, n° 106, pp. 912-917.
- LUETHI, M.; MEIER, B., y SANDI, C. (2008): "Stress effects on working memory, explicit memory, and implicit memory for neutral and emotional stimuli in healthy men". *Front Behav Neurosci*, n° 2:5.
- LUPIEN, S.J.; DE LEON, M.; DE SANTI, S.; CONVIT, A.; TARSHISH, C.; NAIR, N.P.; THAKUR, M.; MCEWEN, B.S.; HAUGER, R.L., y MEANEY, M.J. (1998): "Cortisol levels during human aging predict hippocampal atrophy and memory deficits". *Nat Neurosci*, n° 1, pp. 69-73.
- LUPIEN, S.J. y MCEWEN, B.S. (1997): "The acute effects of corticosteroids on cognition: integration of animal and human model studies", *Brain Res Rev*, n° 24, pp. 1-27.
- MACQUEEN, G. y FRODL, T. (2011): "The hippocampus in major depression: evidence for the convergence of the bench and bedside in psychiatric research?". *Mol Psychiatry*, n° 16, pp. 252-264.
- MAIER, S.F. y WATKINS, L.R. (2005): "Stressor controllability and learned helplessness: the roles of the dorsal raphe nucleus, serotonin, and corticotropin-releasing factor", *Neurosci Biobehav Rev*, n° 29, pp. 829-41
- MCEWEN, B.S. (2001): "Plasticity of the hippocampus: adaptation to chronic stress and allostatic load", *Ann N Y Acad Sci*, n° 933, pp. 265-77.
- MCGAUGH, J.L. y ROOZENDAAL, B. (2002): "Role of adrenal stress hormones in forming lasting memories in the brain", *Curr Opin Neurobiol*, n° 12, pp. 205-210.
- MERINO, J.J.; CORDERO, M.I., y SANDI, C. (2000): "Regulation of hippocampal cell adhesion molecules NCAM and L1 by contextual fear conditioning is dependent upon time and stressor intensity". *Eur J Neurosci*, n° 12, pp. 3283-3290.
- MITRA, R. y SAPOLSKY, R.M. (2008): "Acute corticosterone treatment is sufficient to induce anxiety and amygdaloid dendritic hypertrophy", *Proc Natl Acad Sci U S A*, n° 105, pp. 5573-5578.
- MURPHY, F.C.; MICHAEL, A.; ROBBINS, T.W., y SAHAKIAN, B.J. (2003): "Neuropsychological impairment in patients with major depressive disorder: the effects of feedback on task performance", *Psychol Med*, n° 33, pp. 455-467.
- OKEN, B.S.; FONAREVA, I., y WAHBEH, H. (2011): "Stress-related cognitive dysfunction in dementia caregivers", *J Geriatr Psychiatry Neurol*, n° 24, pp. 191-198.
- PAYNE, J.D.; JACKSON, E.D.; RYAN, L.; HOSCHIEDT, S.; JACOBS, J.W., y NADEL, L. (2006): "The impact of stress on neutral and emotional aspects of episodic memory". *Memory*, n° 14, pp. 1-16.
- PRUESSNER, J.C.; BALDWIN, M.W.; DEDOVIC, K.; RENWICK, R.; MAHANI, N.K.; LORD, C.; MEANEY, M. y LUPIEN, S. (2005): "Self-esteem, locus of control, hippocampal volume, and cortisol regulation in young and old adulthood", *Neuroimage*, n° 28, pp. 815-826.
- ROOZENDAAL, B.; MCEWEN, B.S. y CHATTARJI, S. (2009): "Stress, memory and the amygdala", *Nat Rev Neurosci*, n° 10, pp. 423-433.
- SALEHI, B.; CORDERO, M.I., y SANDI, C. (2010): "Learning under stress: the inverted-U-shape function revisited". *Learn Mem*, n° 17, pp. 522-530.
- SANDI, C.; MERINO, J.J.; CORDERO, M.I.; TOUYAROT, K., y VENERO, C. (2001): "Effects of chronic stress on contextual fear conditioning and the hippocampal expression of the neural cell adhesion molecule, its polysialylation, and L1", *Neuroscience*, n° 102, pp. 329-339.
- SANDI, C. y RICHTER-LEVIN, G. (2009): "From high anxiety trait to depression: a neurocognitive hypothesis", *Trends Neurosci*, n° 32, pp. 312-320.
- SANDI, C. (2004): "Stress, cognitive impairment and cell adhesion molecules", *Nat. Rev. Neurosci*, n° 5, pp. 917-930.
- SANDI, C. (2011): "Glucocorticoids act on glutamatergic pathways to affect memory processes", *Trends Neurosci*, n° 34, pp. 165-176.
- SCHWABE, L.; BOHRINGER, A.; CHATTERJEE, M., y SCHACHINGER, H. (2008): "Effects of pre-learning stress on memory for neutral, positive and negative words: Different roles of cortisol and autonomic arousal". *Neurobiol Learn Mem*, n° 90, pp. 44-53.
- SCHWABE, L.; WOLF, O.T., y OITZL, M.S. (2010): "Memory formation under stress: quantity and quality", *Neurosci Biobehav Rev*, n° 34, pp. 584-591.
- SCHWABE, L. y WOLF, O.T. (2012): "Stress modulates the engagement of multiple memory systems in classification learning", *J Neurosci*, n° 32, pp. 11042-11049.
- SHORS, T.J. (2006): "Stressful experience and learning across the lifespan". *Annu Rev Psychol*, n° 57, pp. 55-85.
- SOARES, J.M.; SAMPAIO, A.; FERREIRA, L.M.; SANTOS, N.C.; MARQUES, F.; PALHA, J.A.; CERQUEIRA, J.J., y SOUSA, N. (2012): "Stress-induced changes in human decision-making are reversible", *Transl Psychiatry*, n° 2:e131.
- SOTIROPOULOS, I.; CATANIA, C.; PINTO, L.G.; SILVA, R.; POLLERBERG, G.E.; TAKASHIMA, A.; SOUSA, N., y ALMEIDA, O.F. (2011): "Stress acts cumulatively to precipitate Alzheimer's disease-like tau pathology and cognitive deficits". *J Neurosci*, n° 31, pp. 7840-7847.
- SQUIRE, R.L. (2009): "Memory and brain systems: 1969-2009". *J Neurosci*, n° 29:12711-12716.
- STARCKE, K. y BRAND, M. (2012): "Decision making under stress: a selective review". *Neurosci Biobehav Rev*, n° 36, pp. 1228-1248.
- STECKLER, T. (2005): "*The neuropsychology of stress*". En: Steckler, T.; Kalin, N.H. y Reul, J.M.H.M.; editores. *Handbook of Stress and the Brain Part 1: The Neurobiology of Stress*. Elsevier; Amsterdam, pp. 25-50.
- ULRICH-LAI, Y.M. y HERMAN, J.P. (2009): "Neural regulation of endocrine and autonomic stress responses", *Nat Rev Neurosci*, n° 10, pp. 397-409.
- WEERDA, R.; MUEHLHAN, M.; WOLF, O.T., y THIEL, C.M. (2010): "Effects of acute psychosocial stress on working memory related brain activity in men". *Hum Brain Mapp*, n° 31, pp. 1418-1429.
- YERKES, R.M. y DODSON, J.D. (1908): "The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation". *J Comp Neurol Psychol*, n° 18, pp. 459-482.

La autora

Carmen Sandi

Directora del Instituto Mente Cerebro (“Brain Mind Institute”) en “L’École Polytechnique Fédérale de Lausanne”(EPFL) (Suiza), donde dirige desde 2003 el Laboratorio de Genética de la Conducta. Realizó su doctorado en el Instituto Cajal (Madrid) y trabajó posteriormente en las Universidades de Burdeos y Berna, la “Open University” y la UNED. Su equipo investiga los mecanismos neurobiológicos a través de los cuales el estrés afecta las funciones cognitivas y las alteraciones psicopatológicas.



MEJORA DE LA ATENCIÓN Y DE ÁREAS CEREBRALES ASOCIADAS EN NIÑOS DE EDAD ESCOLAR A TRAVÉS DE UN PROGRAMA NEUROCOGNITIVO

IMPROVING ATTENTION AND CEREBRAL AREAS ASSOCIATED IN SCHOOL-AGE CHILDREN THROUGH A NEUROCOGNITIVE PROGRAM

Carlos Llorente, Javier Oca y Almudena Solana

Colegio "Liceo Sorolla"

Tomás Ortiz

Departamento de Psiquiatría y Psicología Médica. Universidad Complutense de Madrid

Resumen

La atención, la habilidad para seleccionar información sensorial en cada momento y para dirigir procesos mentales, es el pilar fundamental en el proceso de aprendizaje y de construcción de memorias. Consecuentemente, la atención es esencial tanto para construir nuevas conexiones neuronales, como para la creación de circuitos estables en nuestro cerebro. Con el fin de estudiar este proceso y su repercusión neurofisiológica, hemos aplicado un método de estimulación diaria cinco minutos antes de cada clase a un grupo de niños del colegio Liceo Sorolla de Pozuelo de Alarcón (Madrid). El programa Neuro-Cognitivo aplicado a los alumnos de 5º de Educación Primaria evaluaba las implicaciones en el proceso de aprendizaje de cuatro variables aplicadas en 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, del área cerebral asociada con los procesos básicos de atención y análisis y de reconocimiento sensorial y frontal, y del área asociada con un proceso progresivo de los procesos atencionales y del control cognitivo en la toma de decisión.

Palabras clave: Hidratación, equilibrio, respiración, atención, N200, P300, áreas frontales, áreas parietales, funciones cognitivas.

Abstract

Attention, the ability to select sensory information at all times and to direct mental processes, is the most important pillar in the learning and memory construction processes. Thus, attention is critical to build new neural connections and for the creation of stable brain circuits. With the purpose of studying this process, as well as its neurophysiological effects, we have applied a daily five-minute-stimulation-method before every single lesson to a group of students at Liceo Sorolla School in Pozuelo de Alarcon (Madrid). The neurocognitive program applied to 5th Grade students tested the learning implications of four variables applied to the classrooms: Hydration, Equilibrium, Breathing and Attention. Results show a major improvement on attention processes over other cognitive functions, a progress on brain activity with shorter latencies on the N200 and P300 waves, an increase on parietal activity associated with basic attention processes and analysis sensory identification and frontal, area associated with a progressive course of the attention processes and cognitive control in decision making.

Keywords: Hydration, balance, breathing, attention, N200, P300, frontal areas, parietal areas, cognitive functions.

1. Introducción

La atención puede entenderse como una amplia gama de procesos que participan en la regulación de las acciones desde que comienzan hasta que terminan. Hebb, en el año 1949, señaló acertadamente que era inevitable aceptar la amplia gama de actividades de control adscritas a la atención. De hecho, parece conveniente concebir la atención como "el proceso central implicado en el control y la ejecución de la acción". La atención es la capacidad de seleccionar la información sensorial en cada momento y de dirigir los procesos mentales (López Ibor y col., 1999).

El concepto de atención conlleva dos grandes procesos que se solapan y se integran en función de la conducta a realizar: el primero es un estado neurofisiológico en el cual el sujeto mantiene un estado de activación cerebral necesaria para procesar cualquier tipo de información, este primer proceso es básico para el aprendizaje posterior y depende de cómo el niño haya dormido o lo cansado que esté. El segundo consiste en orientar esta actuación en una dirección específica, es básico para el seguimiento de las clases y depende principalmente del estado motivacional del niño hacia las tareas escolares. El primero es independiente de los estímulos y del contenido efectivo de la ejecución que se realiza en

cada momento, mantiene un alto grado de automatización y supone la iniciación constante y de forma paralela, de procesos en el procesamiento de la información, sin tener en cuenta el resultado final de los mismos. El segundo va dirigido a la respuesta en función del estímulo seleccionado. Ambos procesos son necesarios en la escuela, que requiere un nivel atencional y/o de vigilancia lo suficientemente alto como para que el segundo componente pueda elegir adecuadamente el tipo de información a ejecutar (Ortiz, 2010)

Un aspecto neurofisiológico a tener en cuenta en lo concerniente a los procesos de atención es que estos están sujetos a la entrada de la información mediante las vías sensoriales de acceso a la misma (táctil, auditiva, visual), por lo que 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; la forma de atraerla otra vez es mediante grandes contrastes sensoriales, teniendo en cuenta, no obstante, que los ruidos, desorden u otro tipo de alteraciones del ritmo escolar pueden ser obstáculos importantes en el mantenimiento de la atención (Ortiz, 2010). En un estudio (Christakis y col., 2004) llevado a cabo con niños de edades comprendidas entre uno a tres

años que veían mucho la televisión se comprobó que a los 7 años un 10% tenía problemas de atención, lo que nos indica que el ver mucho la televisión en los primeros años de la vida del niño, uniformiza el proceso atencional y puede estar asociado con problemas de atención en edades escolares.

No se debe olvidar que la atención es el pilar más importante en el proceso de aprendizaje y de memoria. Recientes investigaciones (Merzenich & Syka, 2005) han demostrado que la atención es básica para la creación de nuevas conexiones neuronales y para la formación de circuitos cerebrales estables. La generación de circuitos y conexiones neuronales estables y duraderas solamente ocurre cuando se presta atención. Asimismo, otros estudios justifican la importancia de los ambientes enriquecidos en la atención llegando a la conclusión de que además de mejorar dicho proceso se advierte un aumento considerable, de entre un 3% a un 6%, de una estructura cerebral implicada en la atención como son los colículos superiores (Fuchs y col., 1990). Prestar atención también mejora la actividad de los núcleos basales y la reorganización de la actividad cortical (Kilgard & Merzenich, 1998).

El objetivo de este estudio es lograr estimular los procesos de atención anteriores a la clase, mediante ejercicios de atención, respiración y equilibrio, acompañados de una hidratación mediante ingestas pequeñas de agua, con el fin de conseguir que los alumnos mejoren el proceso de aprendizaje.

2. Muestra

El proyecto se ha llevado a cabo con alumnos de 5.º de Educación Primaria, con una edad media de 10 años, siendo la desviación típica de la variable edad en octubre de 19,56 y en junio de 21,57. El total de participantes fue de 25 alumnos; 9 niñas y 16 niños. El proyecto fue aprobado tanto por el consejo de dirección del cole-

gio “Liceo Sorolla”, como por los padres de cada uno de los niños implicados.

3. Programa Educativo Escolar Aplicado: Proyecto H.E.R.A.

El programa aplicado a los alumnos de 5.º de Educación Primaria recibió el nombre de H.E.R.A. ya que trabaja sobre cuatro aspectos: Hidratación, Equilibrio, Respiración y Atención. Todos los días se trabajaron los cuatro aspectos, con la siguiente distribución:

1. **Hidratación:** al comienzo de cada uno de los siete módulos o clases que se imparten a diario en el centro, el profesor correspondiente pide a los alumnos que saquen su botella de agua y que beban aproximadamente 10 cl.
2. **Equilibrio:** los ejercicios de equilibrio se llevan a cabo 3 veces al día, justo después de beber agua, y duran aproximadamente 2 minutos. Se trata de ejercicios de equilibrio, tanto estático como dinámico, y adaptados en tiempo y dificultad a la edad de los alumnos: son tres ejercicios distintos al día que se repiten durante toda la semana.
3. **Respiración:** tras el ejercicio de equilibrio, los alumnos hacen respiraciones profundas abdominales. Se comenzó con tres respiraciones profundas y, poco a poco, fueron aumentando su número hasta efectuar 10 al final del curso.
4. **Atención:** los ejercicios de atención se llevan a cabo dos veces al día y duran aproximadamente 2 minutos. Se trata de ejercicios tipo ficha en los que los alumnos deben, por ejemplo, buscar figuras iguales a un modelo determinado, encontrar diferencias entre dos imágenes, unir puntos con líneas. Los ejercicios de la mañana son distintos de los de la tarde y tienen lugar cuando vuelven del recreo y de la hora de comer.

Cuadro 1. Horario tipo

	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
9:30 Duración: de 20s a 30 s	Hidratación	Hidratación	Hidratación	Hidratación	Hidratación
10:20 Duración: de 3min a 4 min	Hidratación Equilibrio Respiración	Hidratación Equilibrio Respiración	Hidratación Equilibrio Respiración	Hidratación Equilibrio Respiración	Hidratación Equilibrio Respiración
RECREO					
11:30 Duración: de 3min a 4 min	Hidratación Atención	Hidratación Atención	Hidratación Atención	Hidratación Atención	Hidratación Atención
12:20 Duración: de 3min a 4 min	Hidratación Equilibrio Respiración	Hidratación Equilibrio Respiración	Hidratación Equilibrio Respiración	Hidratación Equilibrio Respiración	Hidratación Equilibrio Respiración
COMIDA					
14:00 Duración: de 3min a 4 min	Hidratación Atención	Hidratación Atención	Hidratación Atención	Hidratación Atención	Hidratación Atención
15:00 Duración: de 3min a 4 min	Hidratación Equilibrio Respiración	Hidratación Equilibrio Respiración	Hidratación Equilibrio Respiración	Hidratación Equilibrio Respiración	Hidratación Equilibrio Respiración
16:00 Duración: de 20s a 30 s	Hidratación	Hidratación	Hidratación	Hidratación	Hidratación

4. Pruebas

4.1. Tests psicológicos

1. **“D2, test de atención”**: Evalúa varios aspectos de la atención selectiva y de la concentración.
2. **Analogías verbales**: Se trata de encontrar relaciones analógicas entre conceptos.
3. **Serios numéricas**: Se trata de completar cada serie numérica con el siguiente elemento; los números están ordenados siguiendo una secuencia lógica que se debe descubrir.
4. **Completar oraciones**: Se trata de encontrar el término o la palabra que complete o cierre mejor el sentido de una oración.
5. **Resolución de problemas**: Se trata de comparar las cantidades resultantes de resolver los problemas numéricos planteados, para ver cuál es la mayor.
6. **Encajar figuras**: Se trata de buscar la figura que complete perfectamente la parte que se ha recortado de una superficie.
7. **Memoria del relato oral**: Se trata de responder a una serie de preguntas acerca del texto escuchado inmediatamente antes.
8. **Memoria ortográfica**: Se trata de buscar la palabra que está ortográficamente mal escrita.
9. **Discriminación de diferencias**: Se trata de buscar en cada grupo de tres dibujos el que tiene alguna diferencia, pequeña pero clara, con respecto a otros dos.
10. **Rapidez**: Mide el número de respuestas emitidas en las pruebas realizadas. No presupone en ningún caso acierto o equivocación.
11. **Eficacia**: Porcentaje de aciertos en las respuestas emitidas. Puede haber cuatro perfiles (sujetos rápidos y eficaces; rápidos e ineficaces; lentos y eficaces; lentos e ineficaces).
12. **Pulsaciones por minuto**: Evalúa la rapidez motora del sujeto para observar su capacidad de respuesta ante un estímulo auditivo.

4.2 Potenciales evocados cognitivos

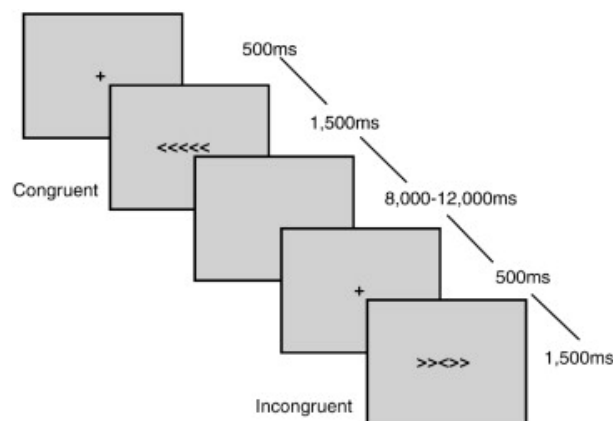
Los potenciales evocados cognitivos (PEC) se llevaron a cabo mediante el registro de un electroencefalograma (EEG) con 32 canales Neuronic equipo Medicid (Neuronic S. A.) utilizando un electrocap estándar de 10 a 20. Se utilizaron 32 canales (Fz, pFz, Cz, pCz, Pz, Oz, Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, PF3, PF4, pC3, C4, PC4, T1, T2, T3, T4, T3A, T4A, T5, T6, P3, P4, O1 y O2). La impedancia de los electrodos se mantuvo por debajo de 5kΩ. El electro-oculograma (EOG) fue grabado con dos pares de electrodos localizados en dirección horizontal (derecho) y vertical (izquierdo) para registrar el movimiento ocular. Se registraron los datos utilizando un electrodo de referencia localizado en el mastoides (derecho). La velocidad de muestreo fue de 1000 Hz. La banda de frecuencia de amplificador se estableció entre 0.05–100 Hz.

En primer lugar se llevó a cabo la Estimulación auditiva mediante el paradigma Oddball. La prueba consistió en dos estímulos auditivos que eran tonos de dos frecuencia diferentes: uno de 2.000 Hz que fue considerado el estímulo target o diana y que se producía en un 20% de los estímulos, aleatoriamente distribuidos a lo largo de la prueba, y el otro de una frecuencia de 1.000 Hz que fue considerado el estímulo estándar y que se producía con una frecuencia de un 80% de las veces. Los tonos eran binaurales con 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 target fue de 20% mientras que la del estímulo estándar fue de un 80% de forma aleatoria.

El tiempo interestímulo fue de un segundo. La publicación a mediados de los 70 de dos trabajos [Courchesne y col., 1965], desveló la relación entre un componente de los PEC y la ocurrencia de eventos novedosos en el ambiente. Para ello los investigadores emplearon un paradigma experimental denominado “paradigma oddball de novedad”. Dicho paradigma es una modificación de las tareas oddball clásicas de detección de estímulos, en las que se presenta a los sujetos un estímulo frecuente o “estándar” que debe ignorarse, y un estímulo diana u oddball infrecuente al que los sujetos deben responder. La actividad cerebral producida por la detección de estímulos oddball generaba un gran pico positivo denominado P300, de amplitud máxima localizada en regiones parietales entre los 250-350 milisegundos posteriores a la aparición del estímulo [Sutton y col., 1965]

Este paradigma ha sido ampliamente utilizado para conseguir la onda P300 que es un potencial evocado positivo que aparece alrededor de los 300 milisegundos después del estímulo. La presencia, magnitud, topografía y duración de esta señal se utiliza a veces en la medición de la función cognitiva de los procesos atencionales, de feedback y de toma de decisiones. Es una onda que está asociada con estructuras cerebrales del sistema límbico, tales como la amígdala, hipocampo y giro parahipocampal, así como áreas corticales posteriores, como por ejemplo, las cortezas parietales superior y posterior, el giro cingulado y la corteza temporo-parietal. Otros autores también consideran la P300 como una onda asociada al estructuras anteriores frontales. Esta onda está asociada con procesos atencionales y con la capacidad del cerebro de analizar y evaluar los estímulos [Kutas y col., 1977].

Figura 1. Ejemplo de Flanker Task (Kelly y col., 2008)



En segundo lugar se hizo el estudio de una prueba de Flanker. La prueba consistió en la presentación de flechas en diferente orientación según la cual el sujeto debe tomar la decisión de si la punta de flecha central (target o estímulo diana) apunta o corresponde hacia la derecha o la izquierda, con la dificultad añadida de que las puntas de flecha que la colindan pueden o no apuntar en su misma dirección, ocurriendo que sean congruentes (si las flechas colindantes apuntan en la misma dirección que la central, por ejemplo, HHHHH ó << <<) o incongruentes (si apuntan en la dirección contraria, por ejemplo, HHHHH ó << >> <<). Esta tarea se basa en la destacable característica del cerebro humano de adaptarse y ajustarse para llevar a cabo una selección conceptual y el mantenimiento on-line de información contextual para asegurar una respuesta correcta, procesos tras de los cuales se halla el concepto conocido como control cognitivo. Esta tarea de evaluación de las funciones cognitivas consistía originalmente en (Eriksen & Eriksen, 1974) distintas pantallas en las que se muestran un número impar de letras (por ejemplo, H y C) a las que se

asigna una tecla. Posteriormente derivó en puntas de flecha (< o >) que apuntan bien a la derecha o bien a la izquierda. Por lo tanto, la tarea de los Flankers es un método de evaluación del control cognitivo, basándose en que tareas cognitivamente complejas o equívocas requieren de un control de las interferencias e inhibición de la respuesta que se hace menor a medida que se adquiere práctica en ellas (Anderson, 1982; Shiffrin & Schneider, 1977).

Esta tarea ha sido ampliamente usada para el registro de la actividad neurofisiológica durante la realización de procesos cognitivos (Heil y col., 2000; Costa y col., 2009; Calabria y col., 2011).

5. Análisis de los datos EEG

Se realizaron análisis de localización de fuentes con los voltajes individuales (amplitudes μV) con el software Neuronic Localizador de Fuentes (NLF) (Neuronic S. A., 2008). El NLF es una aplicación para el cálculo de la tomografía eléctrica (TEC) y constituye un modelo de neuroimagen funcional con alta resolución temporal, haciendo posible localizar las fuentes de la actividad neuronal fisiológica. El NLF es capaz de determinar las distribuciones de corrientes corticales que generan la actividad registrada. Esta técnica provee una solución spline discreta interpolada, que estima la distribución de corriente intracraneal especialmente

más suave, compatible con la distribución de voltaje observado en el cuero cabelludo. La TEC se obtiene mediante la integración de la información funcional aportada por el EEG. La TEC está basada en la medición de los campos eléctricos y magnéticos generados del cerebro. Mediante la TEC es posible la localización espacial en el cerebro de los generadores de diferentes procesos fisiológicos. El método utilizado para el cálculo de la TEC fue *Low Resolution Electromagnetic Tomography* (LORETA) Pascual Marqui y col. (1994). Las fuentes de corriente se restringen a las zonas donde existe sustancia gris en la RM del individuo o a los estimados de probabilidad de existencia de sustancia gris derivados del Atlas RM Probabilístico del Instituto Neurológico de Montreal (Evans y col., 1993; Collins y col., 1994; Mazziotta y col., 1995).

6. Resultados

6.1. Pruebas Psicológicas

Aunque hemos encontrado aumentos en todas las pruebas psicológicas relacionadas con las aptitudes numéricas, abstractas, espaciales y verbales, no se han encontrado diferencias significativas en la mejora de dichas aptitudes excepto en los problemas numéricos con incrementos del 38 %, muy relacionados con capacidades de atención y memoria de trabajo (ver tabla 1 y figura 2).

Figura 2. Resultados Tests Psicológicos Aplicados (I). Periodo de Octubre 2011 a Junio de 2012

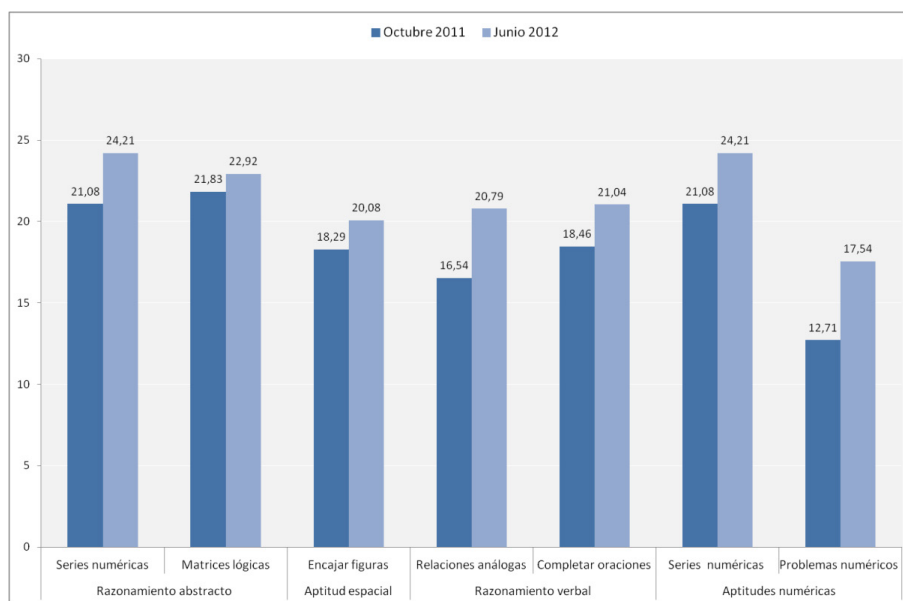


Tabla 1. Resultados Tests Psicológicos Aplicados (I). Periodo de Octubre 2011 a Junio de 2012

		Octubre 2011		Junio 2012		Variación relativa (%)
		Media (\bar{X})	Desviación típica (σ)	Media (\bar{X})	Desviación típica (σ)	
Razonamiento abstracto	Series numéricas	21,08	5,25	24,21	4,81	14,8
	Matrices lógicas	21,83	3,74	22,92	4,45	5,0
Aptitud espacial	Encajar figuras	18,29	3,6	20,08	4,01	9,8
Razonamiento verbal	Relaciones análogas	16,54	5,2	20,79	5,21	25,7
	Completar oraciones	18,46	3,87	21,04	4,49	14,0
Aptitudes numéricas	Series numéricas	21,08	5,25	24,21	4,81	14,8
	Problemas numéricos	12,71	6,72	17,54	7,97	38,0

En relación con la atención y funciones ejecutivas hemos encontrado un efecto significativo de gran relevancia en los procesos tanto atencionales (+35,0 %), de concentración (+33,9 %) y de funciones ejecutivas [-27,6 % en Trail Making (A) – Tiempo y -17,9 % en Trail Making (B) – Tiempo] (ver tabla 2 y figura 3). Los resultados significativos se han centrado en una mejora considerable de los procesos atencionales, que permiten una mayor capacidad para focalizar, mantener y atender a varias cosas a la vez, así

como en las funciones ejecutivas, que permiten una mayor capacidad para poner en marcha, organizar, integrar y manejar otras funciones cognitivas con el fin de medir las consecuencias de corto y largo plazo de sus acciones y de planear los resultados. Permiten que los niños y niñas sean capaces tanto de evaluar sus acciones al momento de llevarlas a cabo como de hacer los ajustes necesarios la consecución del objetivo final.

Figura 3. Resultados Test Psicológicos Aplicados (II). Periodo de Octubre 2011 a Junio de 2012

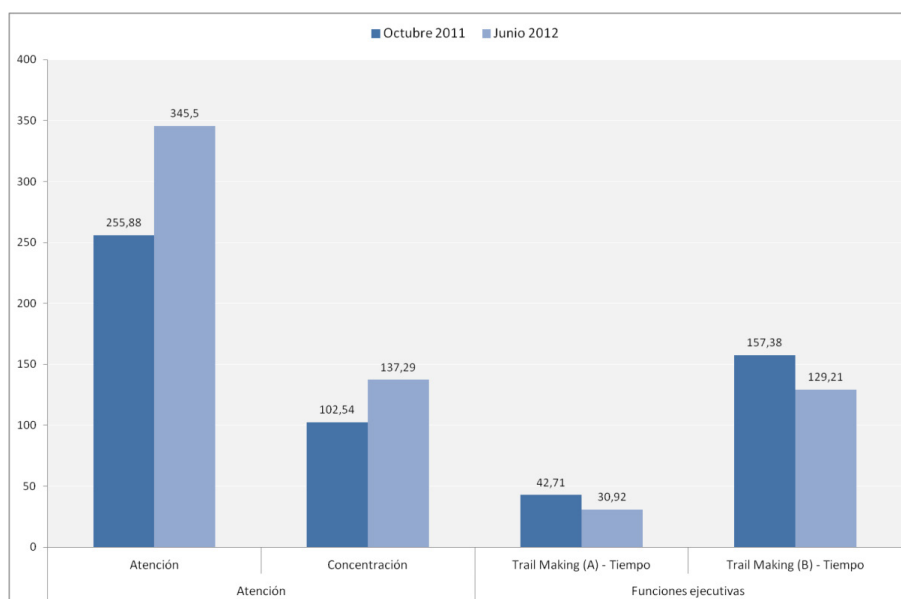


Tabla 2. Resultados Tests Psicológicos Aplicados (II). Periodo de Octubre 2011 a Junio de 2012

		Octubre 2011		Junio 2012		Variación relativa (%)
		Media (\bar{X})	Desviación típica (σ)	Media (\bar{X})	Desviación típica (σ)	
Atención	Atención	255,88	40,92	345,5	50,06	35,0
	Concentración	102,54	17,62	137,29	18,69	33,9
Funciones Ejecutivas	Trail Making (A) - Tiempo	42,71	12,89	30,92	6,8	-27,6
	Trail Making (B) - Tiempo	157,38	39,09	129,21	29,81	-17,9

6.2. Potenciales evocados cognitivos

6.2.1. Latencias de ondas cerebrales

Los resultados de las latencias nos indican que existen diferencias significativas en todas las ondas y en todas las condiciones antes y después del estudio realizado durante un año académico. El significado de los resultados va relacionado con una mejora importante de la actividad cerebral que consigue una mayor eficacia con

menos recursos lo que se traduce en una latencia mucho más corta al final del curso académico, tanto en la onda N200 como en la P300 en ambas condiciones experimentales. Estos resultados están en consonancia con una mejora de los procesos atencionales y del control cognitivo de la conducta, así como una mejora en la velocidad del procesamiento de la información que hace que las latencias de las ondas cerebrales se acorten ante el procesamiento y toma de decisión del mismo estímulo. (ver tabla 3 y figura 4).

Figura 4. Medias de las latencias de las ondas N200 y P300 durante las pruebas de flankers F1 (incongruente) y F2 (congruente) y de tonos

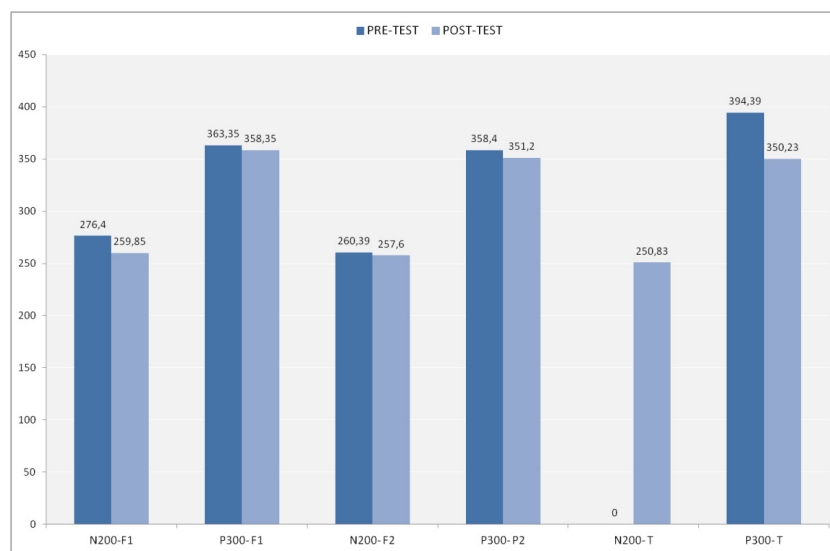


Tabla 3. Medias pre-test y post-test y diferencias significativas de las latencias de las ondas N200 y P300 durante las pruebas de flankers F1 (incongruente) y F2 (congruente) y de tonos

	PRE-TEST	POST-TEST	t	P
N200-F1	276,40	259,85	3,11	0,01
P300-F1	363,35	358,35	0,850	0,05
N200-F2	260,39	257,60	0,930	0,05

	PRE-TEST	POST-TEST	t	P
P300-P2	358,40	351,20	0,730	0,05
N200-T	269,43	250,83	4,310	0,01
P300-T	394,39	350,23	0,533	0,05

6.2.2. Localización de fuentes cerebrales

Los resultados de la localización de Fuentes cerebrales mediante el método LORETA de la onda N200, durante las tareas visual de Flankers y oddball de tonos, indican una actividad de áreas posteriores, temporo-occipitales derechas o bilaterales, mientras que dicha actividad y en tonos se organiza en áreas temporales medias y anteriores derechas o bilaterales en el PRE que lateralizan la actividad hacia el hemisferio izquierdo y se amplían al lóbulo parietal durante el POST. Este hecho estaría asociado con un proceso progresivo de aprendizaje y de los procesos básicos de atención, análisis y reconocimiento sensorial, principalmente verbal (Figura 5).

Los resultados de la localización de Fuentes cerebrales, mediante el método LORETA de la onda P300 durante las tareas visual de Flankers y oddball de tonos, indican una actividad de áreas posteriores, principalmente temporales derechas durante la tarea visual de Flankers, y bilaterales durante la tarea oddball de tonos en el PRE que lateralizan la actividad hacia el hemisferio izquierdo aumentando las áreas implicadas hacia áreas parietales y frontales durante el POST. Este hecho que estaría asociado con un proceso progresivo de los procesos atencionales, de identificación, análisis y control cognitivo en la toma de decisión de los estímulos. (Figura 6).

Figura 5. Proyección de la intensidad cortical (LORETA) en el pre-test y post-test en la onda N200. Las áreas de máxima intensidad de la proyección en color rojo.

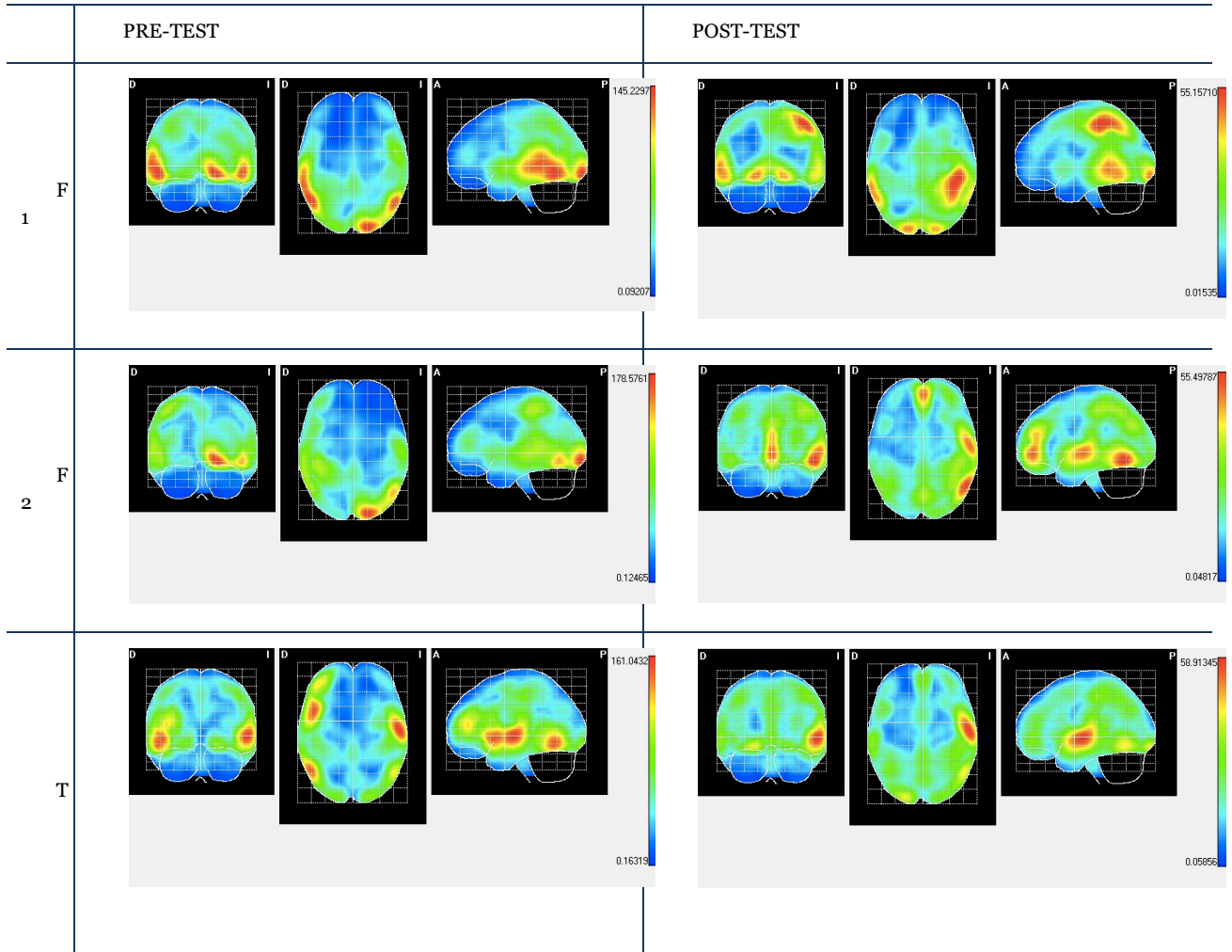
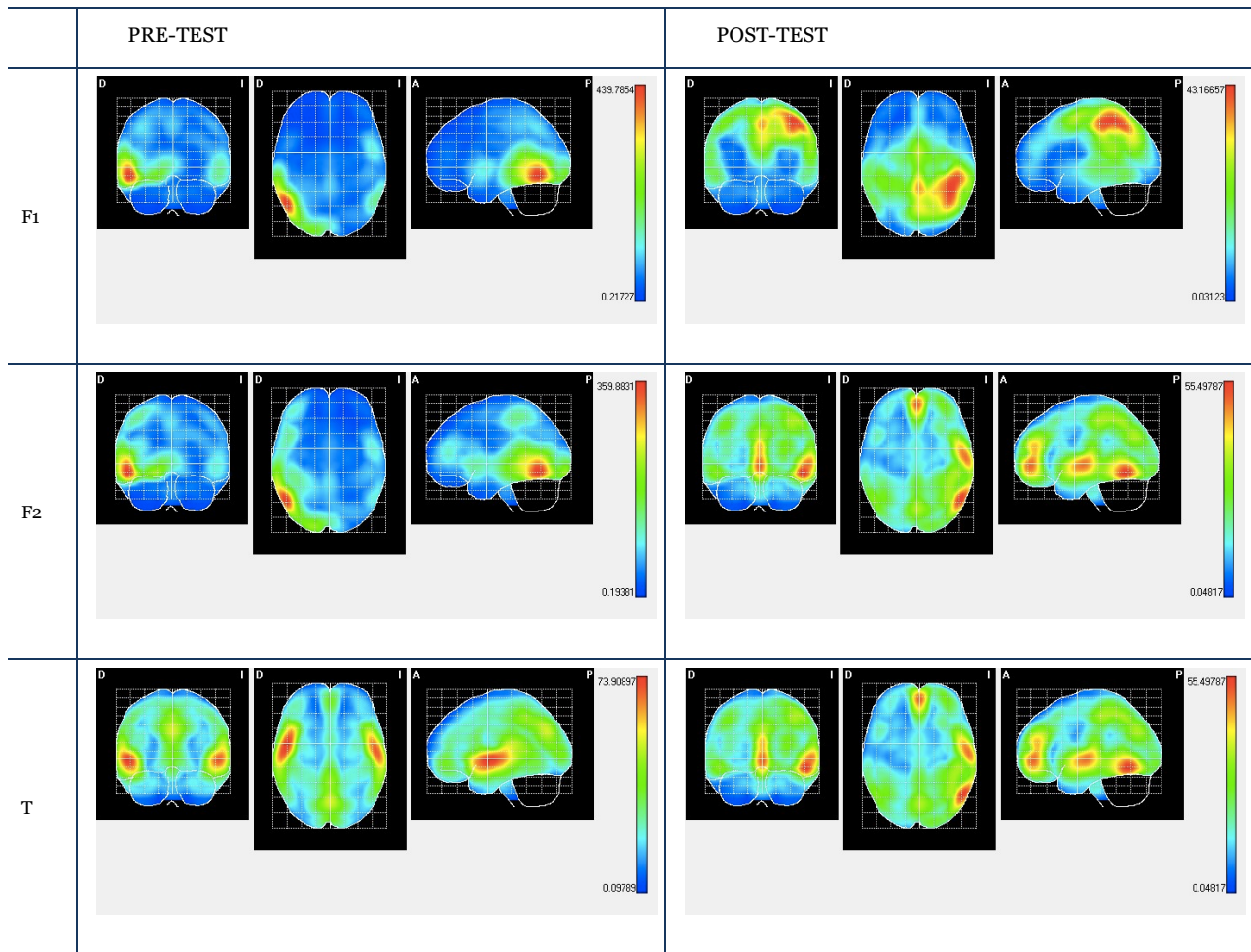


Figura 6. Proyección de la intensidad cortical (LORETA) en el pre-test y post-test en la onda P300. Las área de máxima intensidad de la proyección en color rojo.



6.2.3. Diferencias significativas en áreas cerebrales

En relación con las diferencias significativas en áreas cerebrales hemos encontrado, al igual que en las latencias, tanto en la onda N200 como en la P300 en ambas condiciones experimentales, una mayor eficiencia después del curso académico, al encontrar en todas las áreas diferenciales una menor intensidad al final del curso, esto significa que para realizar la misma tarea no necesitan tanto esfuerzo cerebral; por este motivo el número de voxels es

menor siempre al final del curso. Las grandes diferencias se centran en áreas posteriores temporo-parietales principalmente, estas áreas están asociadas con los procesos de asociación de estímulos, de reconocimientos de estímulos novedosos y de atención sensorial a los diferentes estímulos. Ello quiere decir que al final del curso ha habido una mejora de los procesos cognitivos neurofuncionales básicos necesarios para el posterior procesamiento y elaboración de la información. (Ver tabla 4 y figura 7).

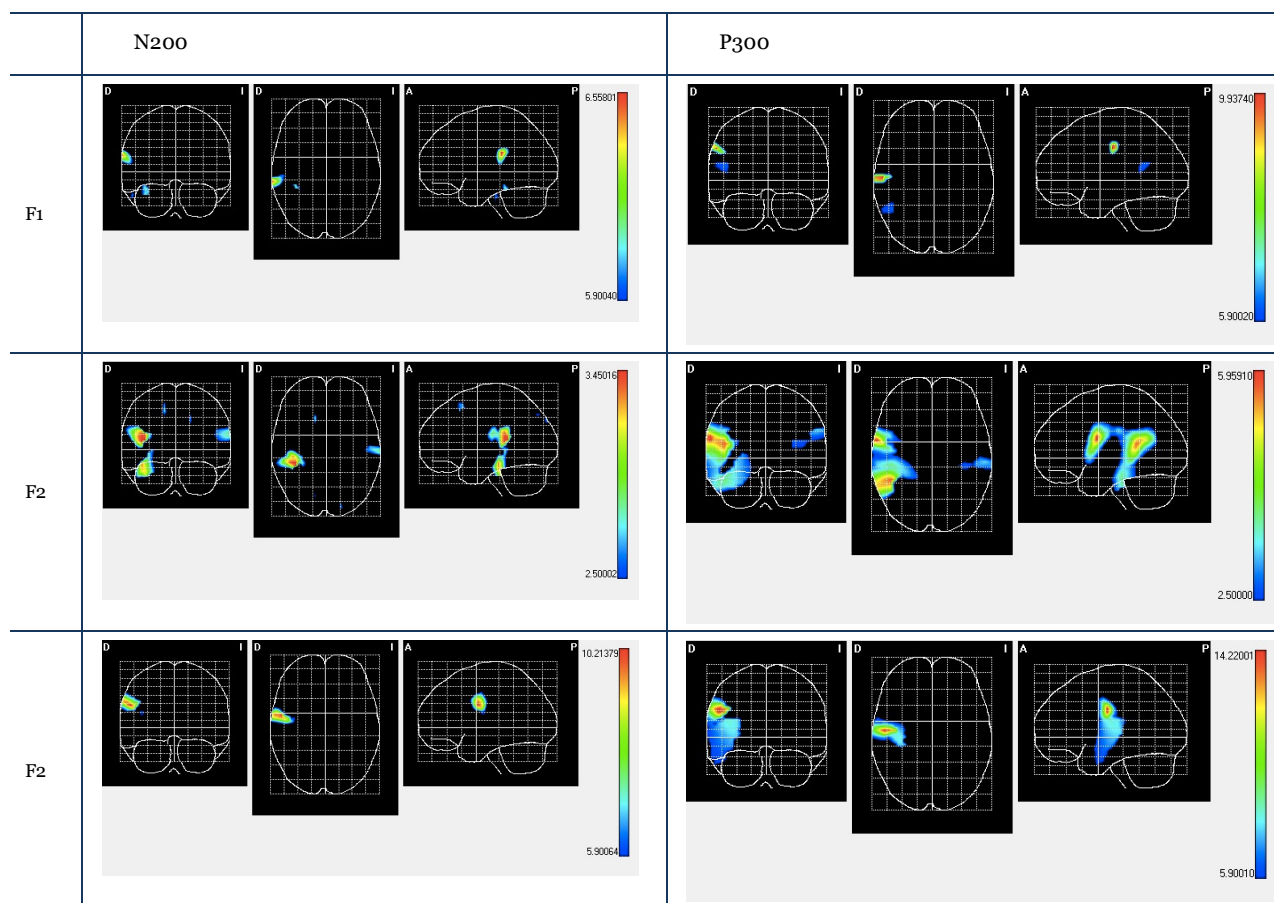
Tabla 4. Sumario de las diferencias significativas, mediante la T2 Hotelling dependiente, de máxima intensidad, con cada una de las localizaciones específicas de las ondas N200 y P300. (AAL = Anatomical label corresponding to Probabilistic Brain Atlas). X, Y, Z = coordenadas de PBA en tres ejes espaciales. $p < 0,01$.

CONDICIÓN	ONDA	AAL	X	Y	Z	T2 HOTELLING	PRE	POST
Flankers 1	N200	SUPRAMARGINAL D	24	92	120	6,4828	71,1510	22,5437
	P300	TEMPORAL MEDIO D	36	88	140	6,0354	208,2311	13,3683
		POSCENTRAL D	28	112	104	9,6151	21,6971	7,4602

Tabla 4 (cont.)

CONDICIÓN	ONDA	AAL	X	Y	Z	T2 HOTELLING	PRE	POST
Flankers 2	N200	OCCIPITO-TEMPORAL D	52	48	120	3,0623	19,9025	7,3429
		SUPRAMARGINAL D	44	92	124	3,2258	34,1147	4,6530
		POSCENTRAL I	152	92	112	2,6788	4,7620	29,5589
	P300	POSCENTRAL D	32	80	84	3,9253	94,2245	11,4993
		TEMPORAL SUPERIOR MEDIO D	44	88	132	5,6126	55,1567	4,1736
		SUPRAMARGINAL I	152	100	116	2,8887	58,0353	24,0275
Tonos	N200	POSTCENTRAL D	28	104	96	9,0495	38,7787	8,0637
		PRECENTRAL D	40	104	100	7,5604	18,4183	3,4934
	P300	POSCENTRAL D	36	104	100	14,2200	19,3055	6,0728
		SUPRAMARGINAL D	44	84	104	7,7401	34,2660	2,6628
		TEMPORAL SUPERIOR MEDIO D	40	72	92	6,1563	72,7888	10,6724
		PRECENTRAL D	40	76	92	6,1940	66,0281	10,2080

Figura 7. Mapa estadístico (ME) mediante la T2 Hotelling dependiente. Diferencias significativas en ondas N200 y P300. Color Rojo = $p < 0,01$.



7. Discusión

7.1. Funciones cognitivas

La estimulación de la atención antes de cada clase nos ha permitido encontrar las mayores diferencias significativas en las tareas que exigen un gran capacidad atencional así como funciones ejecutivas asociadas con procesos neurofuncionales frontales. En este sentido las tareas en las que se necesitaba una gran capacidad atencional como problemas numéricos, propios de atención y de funciones ejecutivas, han sido las que más se han beneficiado de esta estimulación previa a la clase. No se han beneficiado de dicha estimulación otras aptitudes propias del currículum escolar como pueden ser el razonamiento o aptitud espacial, procesos cognitivos que no fueron estimulados específicamente en nuestro programa. El proyecto H.E.R.A. es un ejemplo más de los múltiples beneficios que se derivan de amoldar nuestras clases a la forma natural de aprender del cerebro. Actualmente, más del 50% de las investigaciones sobre neurociencia tienen como foco el aprendizaje y la memoria (King-Friedrichs, 2001). La neurociencia nos permite crear unas condiciones óptimas para el aprendizaje de nuestros alumnos y ofrece a los profesores herramientas básicas para consolidar el proceso de aprendizaje (Wolfe, 2001). Si generamos las condiciones adecuadas para que el aprendizaje ocurra de manera más rápida y efectiva, nuestros alumnos serán más capaces de enfrentarse a situaciones distintas y resolver problemas nuevos.

Nos queda por saber la eficacia diferenciada de la estimulación atencional frente a la estimulación del equilibrio o la hidratación que también se incluyó en el programa de estimulación anterior a la clase. Muchos investigadores han propuesto la actividad psicomotriz como base para el aprendizaje escolar. 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 (Jensen, 2008). 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, educar e implicar a los 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 (Trejo y col., 2001).

Los niños deberían, por lo tanto, desarrollar diferentes movimientos, tales como giros, equilibrio, ganeo, balanceo, andar de puntillas, etc. a lo largo de la mañana en sesiones muy cortas o mejor incluir en el currículum educativo clases de danza con el fin de mejorar los procesos de aprendizaje escolar (Jensen, 2008). Hay autores que establecen que una mejora del equilibrio nos permite dedicarle menos atención al mantenimiento de la estabilidad corporal dedicándose 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 las gimnastas disminuían su dependencia sobre los procesos de control postural cuando se les sometía a otras tareas distintas. En gimnastas profesionales el control del equilibrio superior se obtiene, inicialmente, a través del entrenamiento motor y no mediante el aprendizaje de habilidades o por una mayor sensibilidad del sistema vestibular (Segovia, 2008).

Por otro lado, el efecto de la hidratación parece también haber influido en los procesos atencionales, dato que es un efecto inmediato en dichas funciones básicas del proceso cognitivo. Puesto que la falta de hidratación de al menos el 2% de los fluidos corporales podría incidir en un deterioro de tareas que exigen atención, de memoria inmediata de habilidades y en velocidad, aciertos y eficacia de respuestas psicomotoras, mientras que no tendría tanto efecto negativo en funciones cognitivas tales como memoria

a largo plazo, memoria de trabajo o funciones ejecutivas (Adán, 2012). En esta línea de trabajo varios estudios han confirmado un exceso de deshidratación de más del 2% tiene efectos negativos en las tareas que exigen procesos atencionales memoria a corto plazo y en el funcionamiento adecuado de la ejecución de la tarea (Shirreffs, 2009; Cian y col., 2000; Cian y col., 2001; Hall, 2006; Bailey y col., 2008). También se ha encontrado que la deshidratación afecta más a las mujeres que a los hombres en la correcta ejecución de las tareas, en el aumento de errores y en los tiempos de reacción (D'Anci y col., 2009). Estudios llevados a cabo con escolares de entre 6 y 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 perceptual que aquellos niños que sí bebían agua ya a mitad de la mañana del horario escolar (Edmonds & Burford, 2009; Bar-David, y col., 2009). Por último hay estudios que demuestran que un vaso de agua cuando un niño tiene sed puede incrementar el rendimiento en tareas de tiempo de reacción simple a estímulos visuales pero no sucede lo mismo en jóvenes que no teniendo sed bebían de todas formas, lo que nos indica que una sobre-hidratación tampoco es buena para la ejecución de procesos cognitivos visuales (Rogers y col., 2001).

7.2. Onda N200

Los resultados de las latencias de las ondas cerebrales nos indica que después del año académico existe una mayor y mejor control cognitivo en la respuesta a la onda N200, que ha sido asociada con dos procesos cognitivos, selección de respuestas y control ejecutivo, procesos que vienen implicados en los mecanismos de inhibición de la respuesta, todos ellos asociados a las funciones ejecutivas (Pfefferbaum y col, 1985; Falkenstein y col., 1999).

El control cognitivo tiene una dimensión evaluativa que controla el procesamiento de la información, y otra dimensión regulativa, que regula la influencia ejercida, conjuntamente evaluando las demandas cognitivas de la tarea en cuestión (Botvinick y col., 2001). Kahneman (1973) ha argumentado que es en realidad el propio hecho de llevar a cabo una tarea compleja lo que conlleva el reclutamiento de recursos cognitivos, basándonos en tareas similares al Flanker Task, como el Stroop Task, en que se demuestra mayor efecto de las interferencias en los primeros intentos de cada bloque de tarea que en las siguientes tandas de cada bloque (Henik y col., 1997).

Los ajustes en el control del ejercido para la realización de este tipo de tareas ocurren mientras se lleva a cabo (son procesos on-line); por ejemplo, está demostrado que en aquellas tareas en que se requieren respuestas muy rápidas, el tiempo y la exactitud de respuesta están relacionadas con los errores cometidos en la misma (Laming, 1968; Rabbitt, 1966). Aún en ausencia de errores, este control cognitivo ajusta las demandas de la tarea, mostrando menor interferencia en los ensayos incongruentes si están frecuentemente asociados a los congruentes, que si son raros (Lindsay & Jacoby, 1994; Logan & Zbrodoff, 1979).

Dado que en el estudio con Flankers hemos aportado un elemento más, que es el control de conflicto (o "conflict monitoring") sirve para traducir esa detección instantánea de conflictos en ajustes en el control cognitivo: este sistema primero evalúa los posibles niveles de conflicto y luego pasa esta información a los centros responsables del control, que se encargan de influir en el posterior procesamiento de esa información conflictiva (Botvinick y col., 2001).

Estas funciones cognitivas están afinadas en el cerebro en el córtex prefrontal, y en su conjunto con el resto del sistema ejecutivo del cerebro, comienza su desarrollo en la primera infancia (Diamond, 1991). La correcta evaluación de estas funciones en el

niño es de particular importancia, ya que han demostrado contribuir al desarrollo académico y conductual de la persona, independientemente de sus habilidades intelectuales generales (Taylor y col., 1996). Además, en el niño, se ha demostrado la contribución de la memoria de trabajo y la capacidad de inhibición de respuesta (Roberts & Pennington, 1996; Goldman-Rakic, 1987), así como la de juzgar y la de solución de problemas (Denkla, 1996) en el desarrollo académico.

7.3. Onda P300

Los resultados de la P300 también demuestran la eficacia del programa escolar, dado que afecta directamente a procesos atencionales, memoria de trabajo y de evaluación del estímulo. En este sentido la P300 ha sido asociada tanto con la memoria de trabajo como con la atención (Squires y col. 1975; Donchin & Coles 1988; Ruchkin y col., 1990; Dowman, 2007; Friedman y col., 2001) y es generada por una multitud de estructuras, incluidas las cortezas parietal, temporal y frontal (Sutton y col., 1965; McCarthy & Wood, 1987).

La amplitud P300 puede servir como medida de atención encubierta que aparece independientemente de la respuesta conductual (Polich, 2007). P300 ha sido también relacionada con un mecanismo de "cierre cognitivo" post-decisivo" (Lockwood y col., 2008) y el acceso a la propia conciencia (Railo y col., 2011). El P300 marca el compromiso de la memoria de trabajo en la evaluación de los estímulos del ambiente que nos rodea cuando una tarea en proceso requiere de la identificación de información relevante (Donchin & Coles, 1988). El mantenimiento mental de la imagen involucra también la memoria de trabajo y ha sido asociado con latencias largas de los potenciales evocados localizadas en áreas frontales (Legrain y col., 2002; Friedman y col., 2001).

8. Conclusión

Los resultados demuestran por un lado que la estimulación de tiempos cortos antes de la clase de la atención y equilibrio mejora directamente las funciones ejecutivas y sobre todo la atención, si lo comparamos con el resto de funciones cognitivas estudiadas, que nos han servido de control, y que solamente se beneficiaban en un porcentaje muy corto a lo largo del curso escolar. Por otro lado existe una mejora importante de la actividad cerebral después del año académico, en el que se encuentra una mayor participación de estructuras frontales propias de los procesos atencionales voluntarios y funciones cognitivas y con diferencias significativas en estructuras temporo-parietales, asociadas con procesos atencionales involuntarios y de reconocimiento de la información sensorial auditiva y verbal.

Nuestras neuronas se regeneran automática y funcionalmente como consecuencia de estimulaciones ambientales con el fin de conseguir una mejor adaptación funcional al medio ambiente (Ortiz, 2010). Consecuentemente, es de vital importancia disponer de una estrategia que nos ayude en la consecución del único y principal objetivo de los colegios: preparar a sus alumnos para aprender.

El mundo avanza a una velocidad vertiginosa, nos encontramos inmersos en una sociedad que está cambiando a cada instante y los niños y jóvenes de hoy viven una realidad muy distinta de aquella que vivimos como alumnos los que nos dedicamos a la docencia. Los alumnos del siglo XXI necesitan a los profesores del siglo XXI: la neurociencia es el asidero al que agarrarnos ante la

vorágine de novedad que nos rodea, pues nos proporciona la base firme, sólida y científica sobre la que asentar la evolución del profesor del siglo XXI.

Este estudio es una pequeña muestra de cómo evolucionar profesionalmente a la luz de la neurociencia. Aquí hemos trabajado tres elementos clave en la educación: la atención, la concentración y la resolución de problemas, y los hemos trabajado en un plano exclusivamente fisiológico. Se trata de avanzar un paso más: pedimos a nuestros alumnos que atiendan, que se concentren y que piensen; sí, pero previamente habremos de mejorar los circuitos relacionados con los procesos de atención, de concentración y de resolución de problemas.

Como afirman Johnson, Johnson & Smith (1991) "el conocimiento lo descubren, construyen y transforman los estudiantes. Los profesores, por su parte, deben crear las condiciones necesarias para que este aprendizaje ocurra de manera efectiva". Por ello, la labor de los centros educativos debe avanzar en la línea de formar a los profesores en neurociencia y apoyarles con todos los recursos necesarios para adecuar los procesos de enseñanza y aprendizaje a la manera de trabajar del cerebro.

Referencias bibliográficas

- ADAN, A. (2012): Cognitive Performance and Dehydration. *J Am Coll Nutr.* 31, pp. 71-77.
- ANDERSON, J.R. (1982): "Acquisition of cognitive skill". *Psychological Review*, 89, pp. 369-406.
- BAILEY, S.P.; HOLT, C.; PFLUGER, K.C.; LA BUDDÉ, Z.; AFERGAN, D.; STRIPLING, R.; MILLER, P.C., & HALL, E.E. (2008): "Impact of Prolonged Exercise in the Heat and Carbohydrate Supplementation on Performance of a Virtual Environment Task". *Mild Med*, 173, pp. 187-192.
- BAR-DAVID, Y.; URKIN, J., & KOZMINSKY, E. (2005): "The effects of voluntary dehydration on cognitive functions of elementary school children". *Acta Paediatric*, 94, pp. 1667-1673.
- BOTVINICK, M.; BRAVER, T.; BARCH, D. CARTER, C., & COHEN, J. (2001): "Conflict monitoring and cognitive control". *Psychological Review*, 108, pp. 624-652.
- CALABRIA, M.; HERNÁNDEZ, M.; MARTIN, C.D., y COSTA, A. (2011): "When the tail counts: the advantage of bilingualism through the ex-gaussian distribution analysis". *Front Psychol*, 2, pp. 250. Epub 2011.
- CHRISTAKIS, D.A.; ZIMMERMAN, F.J.; DIGUISEPPE, D.L., & MCCARTY, C.A. (2004): "Early television exposure and subsequent attentional problems in children". *Pediatrics*, 113, pp. 708-713
- CIAN, C.; BARRAUD, P.A.; MELIN, B., & RAPHAEL, C. (2001): "Effects of Fluid Ingression on Cognitive Function After Beat Stress or Exercise-induced Dehydration". *Int. J. Psychophysiol*, 42, pp. 243-251.
- CIAN, C.; KOULMAEN, N.; BARRAUD, P.A., & RAPHAEL, C. (2000): "Influence of Variations in Body Hydration on Cognitive Function: Effects of Hyperhydration, Heat Stress, and Exercise-induced Dehydration". *J. Psychophysiol*, 14, pp. 29-36.
- COSTA, A.; HERNÁNDEZ, M.; COSTA-FAIDELLA, J., y SEBASTIÁN-GALLÉS, N. (2009): "On the bilingual advantage in conflict processing: now you see it, now you don't. Cognition", 113, pp. 135-149.
- COLLINS, D.L.; NEELIN, P.; PETERS, T.M., & EVANS, A.C. (1994): "Automatic 3D intersubject registration of MR volumetric data in standardized Talairach space". *J Comput Assist Tomogr*, 18: 192-205.
- COURCHESNE, E.; HILLYARD S.A.; GALAMBROS R. (1975): "Stimulus novelty, task relevance, and the visual evoked potential in man". *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 39, pp. 3336-3338.
- D'ANCI, K.E.; VIBHAKAR, A.; KANTER, J.H.; MAHONEY, C.R., & TAYLOR, H.A. (2009): "Voluntary Dehydration & Cognitive Performance in Trained College Athletes". *Percept Mot Skills*, 109, pp. 251-269.

- DENCKLA, M.B. (1996): A theory and model of executive function: A neuropsychological perspective: G.R. Lyon & N.A. Krasnegor. Attention, memory, and executive function (pp. 263-278). Paul A. Brookes Publishing Co., Baltimore.
- DIAMOND, A. (1991): *Guidelines for the study of brain behavior relationships during development*. H.S. Levin, H.M. Eisenberg, & A.L. Benton. *Frontal lobe function and dysfunction* (pp. 339-380). Oxford University Press, New York.
- DONCHIN, E. & COLES, M.G.H. (1988): "Is the P300 component a manifestation of cognitive updating?". *The Behavioral and Brain Sciences*, 11, pp. 357-427.
- DOWMAN, M. (2007): "Explaining Color Term Typology with an Evolutionary Model". *Cognitive Science*, 31, pp. 99-132.
- EDMONDS, C.J. & BURFORD D. (2009): "Should Children Drink More Water? The effects of Drinking Water on Cognition in Children". *Appetite*, 52, pp. 776-779.
- EDMONDS, C.J. & JEFFERS, B. (2009): "Does Having a Drink Help You Think? 6-7 Year-Old Children Show Improvements in Cognitive Performance from Baseline to Test After Having a Drink of Water". *Appetite*, 53, pp. 569-472.
- ERIKSEN, B. A. & ERIKSEN, C. W. (1974): "Effects of noise letters upon identification of a target letter in a non- search task". *Perception and Psychophysics*, 16, pp. 143-149.
- FALKESTEIN, M.; HOORMANN, J., & HOHNSBEIN, J. (1999): "ERP components in Go/Nogo tasks and their relation to inhibition". *Acta Psychologica*, 101(2-3), pp. 267-291.
- FRIEDMAN, D.; CYCOWICZ, Y.M., & GAETA, H. (2001): "The novelty P3: an event-related brain potential (ERP) sign of the brain's evaluation of novelty". *Neurosci Biobehav Rev*, 25(4), pp. 355-373.
- FUCHS, J.L.; MONTEMAYOR, M., & GREENOURGH, W.T. (1999): "Effect of environmental complexity on the size of superior colliculus". *Behavioral Neural Biology*, 54, 2, pp. 198-203.
- GOLDMAN-RAKIC, P.S. (1987): "Development of cortical circuitry and cognitive function". *Child Development*, 58, pp. 601-622.
- HALL, J.A. (2006): "Hydration and Cognition in Young Adults" (master's thesis). College of Arts and Sciences, Ohio University.
- HEIL, M.; OSMAN, A.; WIEGALMAN, J.; ROLKE, B., & HENNIGHAUSEN, E. (2000): "N200 in the Eriksen-Task: Inhibitory Executive Processes?" *Journal of Psychophysiology*, 14, pp. 218-225.
- HENIK, A.; BIBI, U.; YANAI, M., & TZELGOV, J. (1997): "The Stroop effect is largest during first trials". *Abstracts of the Psychonomic Society*, 2, p. 57.
- JENSEN, E. (2004): *Cerebro y Aprendizaje*. Narcea, Madrid, España.
- JOHNSON, D.W.; JOHNSON, R.T., & SMITH, K.A. (1991): *Active Learning: Cooperation in the College Classroom*. Interaction Book Co.: Edina, MN.
- KAHNEMAN, D. (1973): *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- KELLY, A.M.; UDDINA, L.Q.; BISWALB, B.B.; CASTELLANOSA, F.X., y MILHAMA, M.P. (2008): "Competition between functional brain networks mediates behavioral variability". *Neuroimage*, 39, pp. 527-537.
- (www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22007182).
- KILGARD, M.P.; MERZENICH, M.M. (1998): "Cortical map reorganization enabled by nucleus basalis activity". *Science*. Mar 13; 279(5357), pp. 1714-1718.
- KING-FRIEDRICH, J. (2001): "Brain-friendly techniques for improving memory". *Educational Leadership*, 59(3), pp. 76-79.
- KUTAS, M.; MCCARTHY G., & DONCHIN E. (1977): "Augmenting mental chronometry: the P300 as a measure of stimulus evaluation in time". *Science*, 197, pp. 792-795.
- LAMING, D.R.J. (1968): *Information theory of choice-reaction times*. Academic Press, London.
- LEGRAIN, V.; GUÉRIT, J.M.; BRUYER, R., & PLAGHKI, L. (2002): Attentional modulation of the nociceptive processing into the human brain: selective spatial attention, probability of stimulus occurrence, and target detection effects on laser evoked potentials. *Unité de Neurosciences Cognitives*, Belgium.
- LINDSAY, D.S. & JACOBY, L.L. (1994): "Stroop process dissociations: The relationship between facilitation and interference". *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, pp. 219-234.
- LOCKWOOD, C.M.; MOON, J.R.; TOBKIN, S.E.; WALTER, A.A, SMITH, A.E.; DALBO, V.J.; CRAMER, J.T., & STOUT, J.R. (2008): "Minimal nutrition intervention with high-protein/low-carbohydrate and low-fat, nutrient-dense food supplement improves body composition and exercise benefits in overweight adults: A randomized controlled trial". *Nutrition & Metabolism*, 21, pp. 5-11.
- LOGAN, G. D. & ZBRODOFF, N. J. (1979): "When it helps to be misled: Facilitative effects of increasing the frequency of conflicting stimuli in a Stroop-like task". *Memory and Cognition*, 7, pp. 166-174.
- LÓPEZ IBOR, J.J.; ORTIZ, T., & LÓPEZ IBOR, M.I. (1999): *Lecciones de psicología Médica*. Masson, Barcelona.
- MAZZIOTTA, J.C.; TOGA, A.W.; EVANS, E.; FOX, P., & LANCASTER, J. (1995): "A Probabilistic Atlas of the Human Brain: Theory and Rationale for Its Development". *Neuroimage*, 2, pp. 89-101.
- MCCARTHY, G. & WOOD, C.C. (1987): "Intracranial recordings of endogenous ERPs in humans". En: R.J. Ellingson, N.M.F. Murray and A.M. Halliday (Eds.), *The London Symposia. EEG Supplement 39*. Elsevier, Amsterdam.
- MERZENICH, M.M. y SYKA, J. (2005): *Plasticity and signal representation in the auditory system*. Springer, New York.
- ORTIZ, T. (2010): *Neurociencia y educación*. Alianza Editorial, Madrid.
- PASCUAL-MARQUI, R.D.; MICHEL, C.M.; LEHMANN, D. (1999). "Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain". *International Journal of Psychophysiology*, 18, pp. 49-65.
- PFEFFERBAUM, A.; FORD, J.M.; WELLER, B.J., & KOPELL, B.S. (1985): "ERPs to response production and inhibition". *Electroenceph. clin. Neurophysiol*, 60(5), pp. 423-434.
- POLICH, J. (2007): "Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b". *Clin. Neurophysiol.*, 118(10), pp. 2128-2148.
- RABBITT, P.M.A. (1966): "Errors and error-correction in choice-response tasks". *Journal of Experimental Psychology*, 71, pp. 264-272.
- RAILO, H.; KOIVISTO, M.; REVONSUO, A. (2011): "Tracking the processes behind conscious perception: A review of event-related potential correlates of visual consciousness". *Consciousness and Cognition*, 20, pp. 972-983.
- ROBERTS, J.; R.J., & PENNINGTON, B.F. (1996): "An interactive framework for examining prefrontal cognitive processes". *Developmental Neuropsychology*, 12, pp. 105-126.
- ROGERS, P.J.; KAINTH, A., & SMIT, H.J. (2001): "A drink of water can improve or impair mental performance depending on small differences in thirst". *Appetite*, 36, pp. 57-58.
- RUCHKIN, D.S.; JOHNSON, R.; CACOUNE, H.L.; RITTER, W., & HAMMER, M. (1990): "Multiple sources of P3b associated with different types of information". *Psychophysiology*, 27, pp. 157-175.
- SEGOVIA, J.C. (2008): "Valores podoestabilométricos en población infantil deportiva". Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- SHIFFRIN, R.M. & SCHNEIDER, W. (1977): "Controlled and automatic information processing: 11. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory". *Psychological Review*, 84, pp. 127-190.
- (www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811907007057)
- SHIRREFIS, S.M. (2009): Conferencia sobre "Multidisciplinary Approaches to Nutritional Problems," *Symposium sobre "Performance, Exercise and*

Health." *Hydration, Fluids and Performance*. Proc Nutr. Soc., 68, pp. 17-22.

SQUIRES, N.K.; SQUIRES, K.C., & HILLYARD, S.A. (1975): "Two varieties of long-latency positive waves by unpredictable auditory stimuli in man". *Electroencephalogr Clin. Neurophysiol*, 38, pp. 387-401.

SUTTON, S.; BAREN, M.; ZUBIN, J., & JOHN, E.R. (1965): "Evoked potentials correlates of stimulus uncertainty". *Science*, 150, pp. 1187-1188.

TAYLOR, H.G.; SCHATSCHNEIDER, C.; PETRILL, S.; BARRY, C.T., & OWENS, C. (1996): "Executive dysfunction in children with early brain

disease: Outcomes post Haemophilus influenzae meningitis". *Developmental Neuropsychology*, 12, pp. 35-51.

TREJO, J.L.; CARRO, E., y TORRES-ALEMAN, I. (2001): "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.

WOLFE, P. (2001): *Brain Matters: Translating Research into Classroom Practice*. ASCD. Virginia: USA.

Los autores

Carlos Llorente

Coordina el Departamento de Marketing del Liceo Sorolla. Estudió Gestión Empresarial y Marketing en Estados Unidos, así como elementos de Neurociencia. Desarrolla proyectos de innovación educativa y estudios de prospectiva respecto a necesidades, innovaciones y metodologías educativas.

Javier Oca

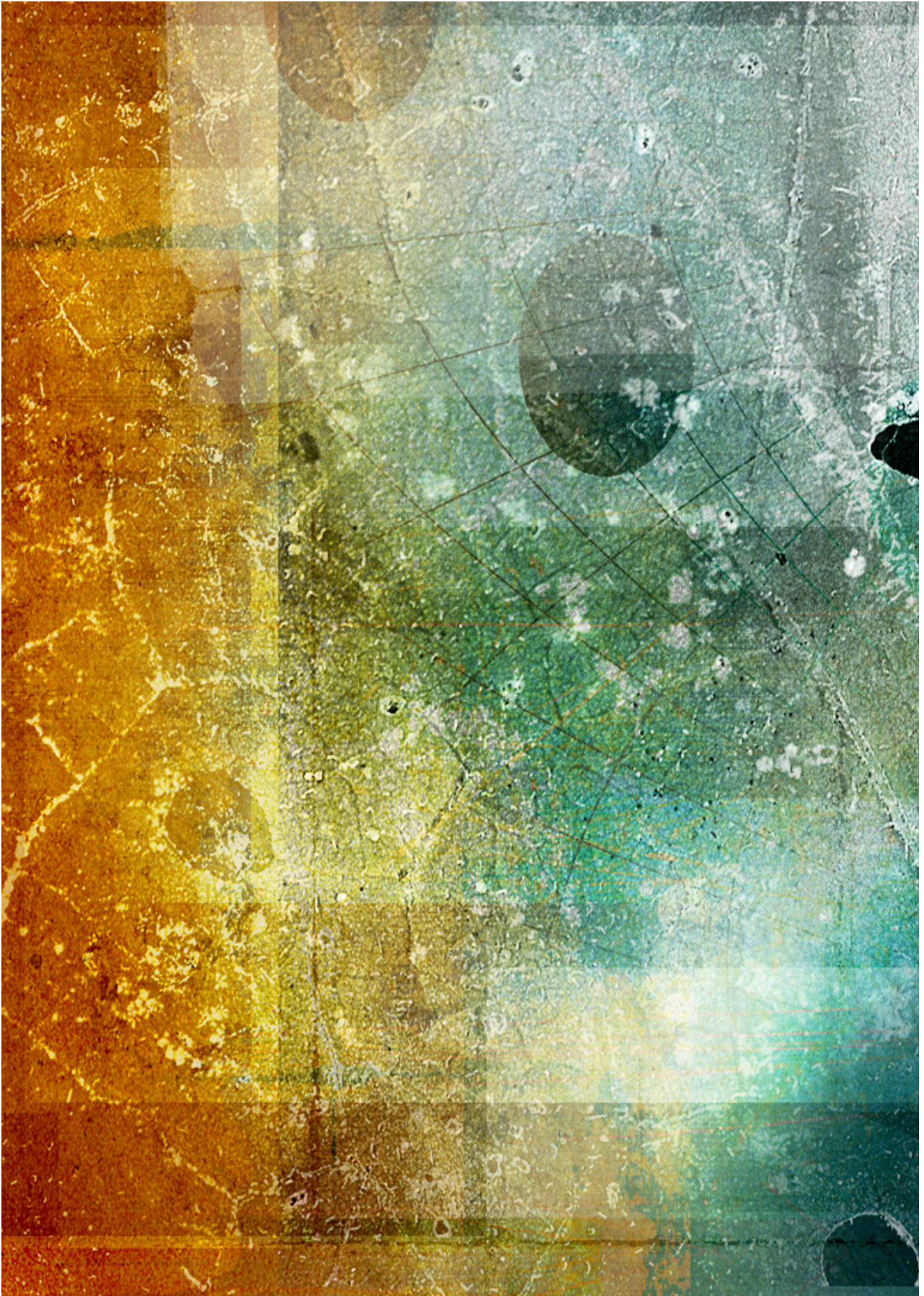
Licenciado en Filología Clásica y en Filología Hispánica por la Universidad Complutense de Madrid, es Director Pedagógico y profesor de Lengua Castellana y Literatura del Liceo Sorolla (Pozuelo de Alarcón, Madrid). Desde 2007 se ha especializado en aprendizaje cooperativo y en este campo, concretamente en el aprendizaje cooperativo de Spencer Kagan; se dedica a la formación y al "coaching" de profesores (ya ha formado a más de mil) a nivel nacional.

Almudena Solana

Diplomada en Magisterio, es profesora de Matemáticas del Liceo Sorolla (Pozuelo de Alarcón, Madrid). Desde 2007 se ha especializado en aprendizaje cooperativo y en este campo, concretamente en el aprendizaje cooperativo de Spencer Kagan, se dedica a la formación y al "coaching" de profesores (ya ha formado a más de quinientos) a nivel nacional.

Tomás Ortiz Alonso

Es Doctor en Medicina y Psicología. Catedrático de Psicología Médica de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid. Docente e investigador, su área de interés preferente ha sido y es el estudio del cerebro, en particular las relaciones entre neurofisiología y funciones cognitivas. Como docente, ha impartido materias relacionadas con la Neurociencia Cognitiva, la Neuropsicología, la Psicología Médica o la Psiquiatría. Como investigador, ha publicado cerca de 200 trabajos e investigaciones sobre problemas de lenguaje, memoria, deterioro cognitivo y demencia; y sobre los aspectos neurofuncionales de diferentes enfermedades mentales. Actualmente desarrolla un proyecto de visión táctil para personas ciegas, en base a la estimulación táctil repetitiva, proyecto que pone de manifiesto la neuroplasticidad cerebral.



NEUROBIOLOGÍA DEL TRASTORNO POR DÉFICIT DE ATENCIÓN E HIPERACTIVIDAD (TDAH) Y SU IMPLICACIÓN EN EDUCACIÓN

NEUROBIOLOGY OF ATTENTION DEFICIT AND HYPERACTIVITY DISORDER (ADHD) AND ITS INVOLVEMENT IN EDUCATION

Javier Quintero

Servicio de Psiquiatría. Hospital Universitario Infanta Leonor. Madrid.

Isabel Miernau

Departamento de Psicología Clínica y Educativa. PSIKIDS. Pozuelo. Madrid.

Resumen

El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) es una condición muy frecuente en los niños en edad escolar que puede afectar al 5-7%. En la última década se ha avanzado de manera muy significativa en el conocimiento de la neurobiología del TDAH. En este sentido, técnicas como la RMNf y la MEG ofrecen imágenes precisas del funcionamiento del cerebro en los pacientes con TDAH, donde las regiones prefrontales son las más afectadas. Así mismo se ha estudiado su base genética, cada vez más y mejor conocida, aunque no necesariamente comprendida, ya que la base de la herencia multigénica compleja es la que mejor explica el patrón de heredabilidad del TDAH. Y por último el ambiente, con un papel modulador que actúa sobre un cerebro en pleno desarrollo y maduración y que puede influir en los procesos de plasticidad cerebral, aunque desconocemos las ventanas de oportunidad reales que el cerebro nos puede ofrecer.

Palabras clave: TDAH, Neurobiología, Déficit de Atención, genética, Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad.

Abstract

Attention Deficit and hyperactivity disorder (ADHD) is a very common condition in school children which may affect between 5-7%. There have been significant advances in the past decade in the neurobiology of ADHD. Techniques such as the fMRI and MEG offer precise images of the functioning of the brain in patients with ADHD, where the prefrontal regions looks to be the most affected. Its genetic basis has been studied increasingly, though not necessarily deeply understood, since the basis of complex mutigenic heredity best explains the pattern of heritability of ADHD. And finally, the role of the environment as a modulator that acts on a brain during its development and maturation, which can influence brain plasticity processes, although we do not know the real windows of opportunity that the brain can offer us.

Keywords: ADHD, Neurobiology, Attention deficit, genetics, Attention Deficit Hyperactivity Disorder.

1. Introducción

El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad, más conocido por su acrónimo, TDAH, es uno de los problemas psiquiátricos más relevantes de cuantos pueden interferir en el niño en su proceso educativo tanto escolar, como académico, con cifras de prevalencia en torno al 5% (Biederman, J. y Faraone SV., 2005; Skounti, M. y cols., 2007). La mayoría de los estudios ofrecen cifras entre 4-8% de los niños en edad escolar, para ajustar la prevalencia en la adolescencia al 5-6% y en la edad adulta entre el 3 y 4%, todas ellas estables en diferentes razas y culturas, es decir en ambientes dispares y entornos socioeconómicos cambiantes (Polanczyk, G. y cols., 2007).

Son pocos, por no decir ninguno, los trastornos que afectan a la infancia y que han acumulado tanta cantidad de evidencias científicas en los últimos años como lo ha hecho el TDAH (López-Muñoz P. y cols., 2008), lo que confiere una completa fotografía del trastorno y en lo que en este trabajo nos ocupa, de su etiopatogenia. Hoy, son pocos los que dudan que el TDAH tiene una clara base neurobiológica en su génesis, lo que no excluye en absoluto, la importancia del ambiente en el desarrollo y sobre todo en el pronóstico y evolución del trastorno.

Debemos partir de la clínica del TDAH, ya que es lo que define el cuadro. Se describe por la presencia de la triada sintomática característica, consistente en dificultades de atención, hiperacti-

vidad e impulsividad, en grado variable pero inapropiado, de manera persistente en el tiempo y que, y esto es lo más importante, interfiere en el normal funcionamiento del paciente (Biederman, J. y cols., 2005; Quintero *et al.* 2009). Y aquí encontramos uno de los puntos importantes de este trabajo: el TDAH confiere un riesgo evolutivo para los pacientes que lo presentan. Habitualmente el cuadro debuta en la infancia. Conforme el paciente se hace mayor, los síntomas pueden variar en su expresión, pero no en lo nuclear. La hiperactividad dejará de ser un síntoma fácilmente observable con conductas motoras gruesas aberrantes, para ser referido como una sensación de inquietud interna, muchas veces confundida con ansiedad en la edad adulta (Barbudo, E. y cols., 2009). Si bien la clínica es necesaria, no es suficiente y la ciencia se pregunta continuamente el porqué de las cosas. Aunque no todas las preguntas tienen respuestas y la mayoría de las veces conllevan nuevas preguntas, el avance en el conocimiento de las bases neurobiológicas del TDAH está siendo espectacular, pero aún no suficiente para la necesaria traducción a la clínica. Ninguna de las pruebas que se van a mencionar ha conseguido demostrar la suficiente sensibilidad y especificidad para ser útil en la clínica cotidiana y tampoco resisten un análisis coste-beneficio riguroso. Pero, sin duda, lo más importante es que no debemos someter a los niños a pruebas innecesarias, sobre todo cuando el rendimiento clínico va a ser irrelevante o existe un riesgo para el paciente, por mínimo que sea.

1.1. Biología del TDAH

Los avances tecnológicos de las últimas décadas nos permiten mirar el cerebro de manera cada vez más detallada. Por un lado, las técnicas funcionales están facilitando una mejor comprensión del funcionamiento del cerebro de los pacientes con TDAH. Hoy sabemos que en el TDAH confluyen alteraciones estructurales y funcionales en determinadas regiones del cerebro. Por otro lado, la genética está ayudando de manera crucial en la comprensión del riesgo heredable de padecer un TDAH, de modo que puede llegar a explicar el 70% de dicho riesgo, tal y como se deduce de los estudios de gemelos (Biederman, J., 1986). Todo ello nos deja un espacio relativamente pequeño al ambiente, pero determinante para el pronóstico de muchos pacientes con TDAH.

A modo de esquema hoy sabemos que el TDAH es un *trastorno multietiológico* donde confluyen:

- Bases Genéticas, aunque con un patrón de herencia multigénica compleja no mendeliana, parece que puede llegar a explicar mejor la vulnerabilidad o la respuesta a tratamientos.
- Bases neurobiológicas, con evidencias de alteraciones tanto estructurales como funcionales, en determinadas regiones del cerebro que ayudan a la comprensión del TDAH.
- El determinante papel del ambiente, espacio crucial, sobre el que realmente podemos influir y que actúa como modulador de la expresión de los factores predisponentes. Se ha escrito sobre el impacto de la Televisión, los cambios dietéticos, los nuevos modelos sociales y educativos, etc. En cualquier caso, el ambiente es capaz de modificar la expresión de los síntomas y, desde luego, el pronóstico.

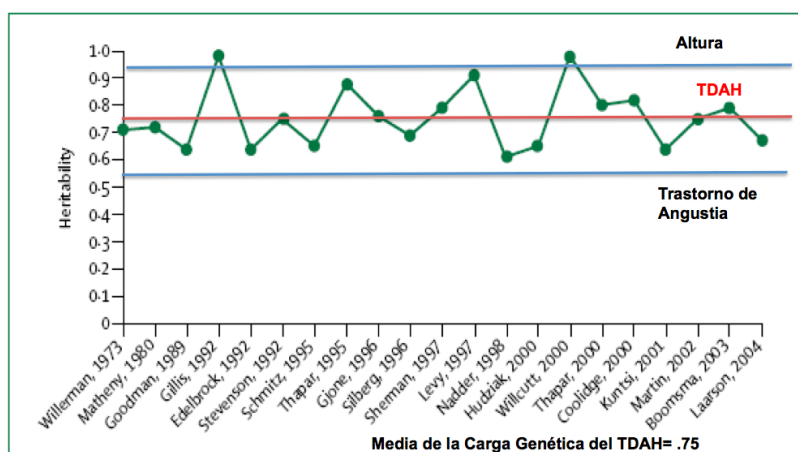
2. Genética del TDAH

Los genes regulan nuestra vida, somos los que somos gracias a nuestros padres. Ellos nos transmiten la carga genética, en la que

van implícitos los rasgos de “familia”, pero también los riesgos para desarrollar enfermedades. En el caso del TDAH existe una notable cantidad de datos que orientan sobre sus bases genéticas. Sin embargo no se puede explicar bajo una perspectiva mendeliana pura, sino más bien como las denominadas enfermedades complejas, donde un sólo gen no explica el trastorno, pero si un aumento de la **vulnerabilidad**. Son el producto de la combinación de diferentes factores, entre los que se encuentran tanto factores ambientales como genéticos o biológicos. Según la manera de interactuar de estos factores se puede modificar el resultado final. Este tipo de enfermedades no están causadas por la variación en un único gen sino que están implicados numerosos genes. Lo que se produce es una transmisión del riesgo y suelen tener efecto aditivo, se habla entonces de **variante de riesgo**.

Los primeros estudios que sospecharon el origen genético del TDAH fueron los estudios familiares y de gemelos. Estos primeros estudios demostraron que había una agregación familiar en la etiología del TDAH. En este sentido se observó que el riesgo de padecer un TDAH se multiplicaba por entre 2 y 8 veces cuando había un familiar afecto. Al encontrar una agregación familiar, la duda surge sobre cuál es el factor principal, el genético o el ambiente. Para clarificar esta cuestión, se realizan los estudios de adopción que controlan la variable ambiente, aclarando el papel de los genes. (Faraone, S.V. y cols. 2004; Faraone, SV. y cols, 2005; Faraone, SV. y Doyle A.E., 2000). De manera que el riesgo calculado para un niño de sufrir el trastorno si uno de los padres lo padece es en torno al 60-90 % (Brookes, K.J. y cols. 2006; Waldman, I. y Gizer, I. 2006). En un metaanálisis realizado por Biederman, se estimó que el peso medio de los genes. o dicho de otra manera, la heredabilidad del TDAH era del 75% (figura 1).

Figura 1.- Imagen obtenida de Biederman, datos de heredabilidad en TDAH (1971 y 2004). Modificado de Faraone & Biederman et al. Biol Psychiatry. 2005



Una vez que se ha fijado el riesgo genético, vinculado al TDAH, el siguiente paso pretende localizar los genes implicados. En este sentido se ha tratado de buscar, sin obtener muchos frutos, alguna herencia autosómica concreta. Diversos estudios han sugerido que el TDAH podría explicarse mejor como una herencia poligénica. Es decir, múltiples genes contribuyen a la expresión de unos rasgos o incluso modulan un riesgo genético de vulnerabilidad o susceptibilidad para padecer el problema. También en los últimos años de investigación, está ganando peso la

búsqueda de rasgos genéticamente identificables, es decir, el uso de marcadores subyacentes psicológicos o biológicos que pueden ayudar a explicar mejor la acción de los genes.

Se están buscando variaciones en algún lugar determinado de la secuencia del ADN entre los individuos con TDAH y los de una población sana, lo que se conoce como polimorfismos. Un determinado polimorfismo estaría asociado con el TDAH si significativamente ocurre en mayor proporción que la que sería esperable

en la población sana. Por otra parte, un trastorno está *ligado* a una región de ADN (marcador), si existe mayor probabilidad de que un *locus* muy cercano a esa región contribuya a la expresión del trastorno. Esto implica evaluar distintos polimorfismos dentro de un *gen candidato*.

Es de crucial importancia la elección de los posibles genes candidatos adecuados. Dicha elección se hace en función de los conocimientos de la biología del trastorno, las vías de neuro-transmisión relacionadas con la fisiopatología del trastorno, los receptores neuronales relacionados con el TDAH, con el mecanismo de acción de los fármacos que han demostrado utilidad o con los riesgos de comorbilidad asociada. (Thapar A. y cols., 2007, Cardo, E. y Servera, M., 2008; Faraone y cols 2012).

2.1. Genes candidatos relacionados con el TDAH

Los principales genes que han sido asociados a un mayor riesgo de padecer TDAH o con la evolución de la sintomatología, perte-

necen mayoritariamente a las vías de señalización de los neurotransmisores dopamina, noradrenalina y serotonina. No obstante, también se han encontrado asociaciones en genes de otros neurotransmisores, genes implicados en el metabolismo y genes de factores neurotróficos. Los principales datos se resumen en la tabla 2 (Waldman, I. y Gizer, I., 2006).

Para la búsqueda de estos genes, se han utilizado los conocimientos de la fisiopatología y de la etiología del TDAH. De entre todas las hipótesis descritas para explicar el origen del TDAH, la más aceptada en la actualidad es la hipótesis de la disfunción dopaminérgica. Por tanto, la principal vía que se ha utilizado en los estudios genéticos ha sido la vía de las catecolaminas en toda su extensión (síntesis-transporte-metabolismo, así como los receptores sobre los que actúan o sus mecanismos de recaptación) (Arnsten, AF., 2006). En la tabla 1, se resumen los principales genes estudiados en el TDAH y los polimorfismos más relevantes.

Tabla 1.- Hallazgos genéticos en el TDAH

Tabla 1.a.-RECEPTORES DE NEUROTRANSMISORES			
Gen	Función	Polimorfismo	Referencias bibliográficas
DRD4	Receptor D4 de dopamina	rs747302 rs1800955 ins 120bp VNTR (2-11R de 48bp)	(Yang et al. 2008);(Kereszturi et al. 2007); (Shaw et al.2007); (Elia et al.2007); (Brookes et al 2006), (Kereszturi et al. 2006), (Kereszturi et al. 2007); (Bellgrove et al.2005); (Feng et al.2005); (Lowe et al 2004); (Kirley et al.2004);(Hammarman et al.2004); (Ding et al. 2002); (Martel et al 2011)
DRD5	Receptor D5 de dopamina	Repetición CA (148pb)	(Mill et al.2005); (Lowe et al. 2004); (Hawi et al.2003)
DRD1	Receptor D1 de dopamina	haplotipo 3 D1P.5(G) Rs 265981 (T) Rs 4532 (G) Rs 686 (C)	(Luca et al. 2007) (Oades et al 2008) (Ribasés et al 2012)
CHRNA4	Receptor de acetilcolina	SNP exón 2 rs2273505 SNP exón 5	(Brookes et al.2006);(Todd et al.2003); (Kent et al.2001);
GRIN2A	Receptor de glutamato 2 ^a	SNP	(Turic et al. 2004)
GRIN2B	Receptor de glutamato 2B	SNP SNP intrón 3	(Brookes et al. 2006); (Dorval et al.2006)
HTR1B	Receptor de serotonina 1B	rs6296	(Ickowicz et al. 2007); Jordan et al. 2005; (Mill et al. 2005)
HTR1D	Receptor de serotonina 1D	SNP	(Brookes et al. 2006), (Amin et al 2009)
HTR2A	Receptor de serotonina 2 ^a	rs6313 rs6311 rs6314	(Ribasés et al.2007); (Li et al. 2006); (Quist et al. 2000)
ADR2A	Receptor adrenérgico α 2 ^o	rs1800544 rs1800545 rs553668	(Polanczyk et al. 2007); (Schmitz et al. 2006, (Wang et al. 2006)
ADRB2	Receptor adrenérgico β 2	SNP	(Brookes et al. 2006)
AR	Receptor de andrógenos	SNP en 3' UTR	(Brookes et al. 2006); (Comings et al.2000); (Feng et al.1998)
CNR1	Receptor canabioide	SNP	(Ponce et al. 2003)

Tabla 1.b.-TRANSPORTADORES DE NEUROTRANSMISORES			
Gen	Función	Polimorfismo	Referencias bibliográficas
DAT1	Transportador de dopamina	VNTR (3-11R de 40bp) rs6347 rs40184 rs1042098 rs27072 rs11564774 rs3863145 rs2652511 rs10070282 rs2550946 rs11564750	Kooij et al.2007; (Laucht et al. 2007);Elia et al.2007; Stein et al.2005; Brookes et al.2006; Todd et al.2005; Tuirc et al.2005; Xu et al.2005; Feng et al.2004
SLC6A2	Transportador de noradrenalina	rs5569 rs998424 rs2242447 rs3785157 rs3785143 rs11568324	Kim et al.2007;Retz et al.2007; Kim et al.2006; Xu et al.2005; Yang et al.2004
SLC1A3	Transportador de glutamato	rs2269272 rs3776581 rs2032893	(Turic et al. 2005)
SLC6A4	Transportador de serotonina	Inserción 44pb promotor SNP 3' no traducida	Elia et al.2007; Wigg et al.2006; Curran et al.2005; Kent et al.2002

Tabla 1.c.-GENES IMPLICADOS EN EL METABOLISMO			
Gen	Función	Polimorfismo	Referencias bibliográficas
MAOA	Monoaminoxidasa A	VNTR (3-5R de 30bp) promotor STR (repetición de CA, 110-124bp) SNP exón 8	Das et al.2006; Brookes et al.2006; Domschke et al.2005; Lawson et al.2003; Cohen et al. 2003
MAOB	Monoaminoxidasa B	SNP	Ribasés 2007; (Li et al. 2007)
FADS2	Desaturasa 2 de ácidos grasos	rs174611 rs498793	Brookes et al.2006
TPH2	Triptófano hidrolasa	rs1843809 rs1386493 rs1386497	Brookes et al.2006; Sheehan et al.2005, Walitza et al.2005; Feng et al.2001
DDC	Dopa decarboxilasa	rs11575454 microsatélite 213pb	Ribasés et al.2007, Brookes et al.2006 (Hawi et al. 2001)
DBH	Dopamina <input type="checkbox"/> hid	rs2519152 rs1611115	Elia et al. 2007; (Kirley et al. 2002)
PNMT	Feniletanolamina N-metiltransferasa	SNP exón 8	Brookes et al.2006
COMT	catecol-O-metiltransferasa	rs4680 rs4818	(Retz et al. 2007)

Tabla 1.d.-FACTORES NEUROTRÓFICOS			
Gen	Función	Polimorfismo	Referencias bibliográficas
BDNF	Fact. neurotr. derivado de cerebro	rs6265 Val66Met	Ramos-Quiroga 2007; Kent et al. 2005 Sanchez-Mora et al 2010
CNTFR	Receptor neurotrófico	haplotipo C-G-C	Ribasés et al. 2008
NTF3	neurotrofina 3	haplotipo T-G-C-A	Ribasés et al. 2008
NTRK2	Receptor neurotrófico tirosín kinasa	haplotipo A-C-G-A	Ribasés et al. 2008
NGF	Factor de crecimiento del nervio	rs6330	(Syed et al. 2007)

Tabla 1.e.-OTROS			
Gen	Función	Polimorfismo	Referencias bibliográficas
SNAP25	Proteína 25 asociada al sinaptosoma	rs3746544 rs1051312 rs6077690 rs363006 rs363020 rs362567 rs3787283 microsatélite (ATTT)	Elia et al. 2007; McCough et al. 2006; Brookes et al. 2006; Feng et al. 2005; Xu et al. 2005; Kustanovich et al. 2003; Mill et al. 2004; Mill et al. 2002; Barr et al. 2000
SYP	Sinaptosina (prot. De las vesículas sinápticas)	rs5906754	Brookes et al. 2006; Brookes et al. 2005
HES1	Proteína represora de la transcripción de ciertos genes	SNP	Brookes et al. 2006
ARRB2	β arrestina 2	rs7208257 SNP exón 11	Brookes et al. 2006
CLOCK	Relacionado con los ritmos circadianos	rs1801260	Kissling et al. 2007
HH3R LPHN3	Receptor de histamina H3 Latrophilin 3	—	Liu et al. 2008; Horner et al. 2007 Arcos-Burgos et al 2010

Nota.- Se muestran los principales genes cuyos polimorfismos han sido descritos como asociados con el riesgo de padecer TDAH o con la evolución de la enfermedad. Los polimorfismos de cambio de nucleótido o SNPs (por Single Nucleotide Polymorphism) se identifican con un número rs que es único y que puede ser localizado en las distintas bases de datos existentes. En esta lista, en el caso de que aparezca sólo SNP implica que se ha descrito un polimorfismo de variación de nucleótido en una región determinada del gen, pero que en la publicación no se indica el código rs. VNTR corresponde con Variable Number of Tandem Repeats. (modificada de Molano-Bilbao et al, en Quintero, J. y cols., 2009)

3. Neuroimagen del TDAH

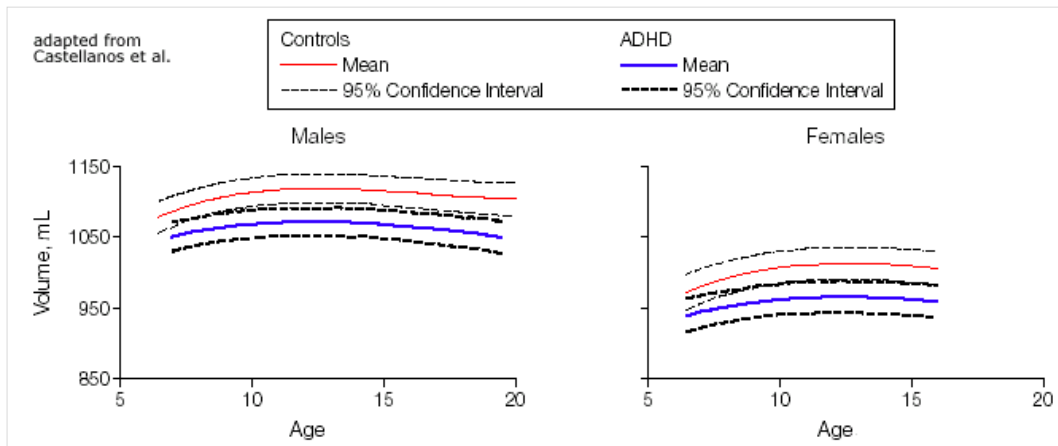
Para la mejor comprensión de estos apartados revisaremos los estudios de neuroimagen separando por un lado, los trabajos que buscan diferencias observables en los estudios anatómicos (estructurales) y, por otro lado, los que estudian los cambios en la función del cerebro o de sus regiones (funcionales). Por último mencionaremos los estudios de las redes o conexiones cerebrales y las redes de activación por defecto, por la importancia que van a tener en los próximos años.

3.1. Estudios que buscan los cambios en la estructura del cerebro.

Quizás el principal trabajo, y desde luego pionero en arrojar luz por este camino, fue el publicado por Xavier Castellanos hace más

de una década, quien midiendo el volumen cerebral con Resonancias Magnéticas Nucleares (RMN) encontró una **disminución del volumen cerebral global** en torno al 3%, en los pacientes diagnosticados de TDAH al compararlo con controles sanos (Figura 2). Esta misma línea ha sido continuada por otros investigadores de manera que 7 de 12 estudios han demostrado que el volumen cerebral total en pacientes con TDAH (en torno a los 19 años de edad), en particular el hemisferio derecho, es entre un 3% y un 5% menor que en los controles. (Castellanos, F.X. y cols., 1996; Castellanos, F.X. y cols., 2001; Castellanos, F.X. y cols., 2002, Filipek P.A. y cols., 1997; Kates, WR. y cols., 2002; Mostofsky, SH. y cols., 2002, Hill, DE. y cols., 2003)

Figura 2.- Volumen cerebral en el TDAH, Castellanos X, y col., 2002



Si bien es cierto que estos datos carecen de relevancia clínica, aunque los propios autores encuentran cierta correlación entre el volumen y el pronóstico, en un reciente trabajo de Hoogman publicado en 2012, encontraron una correlación significativa entre la sintomatología de dificultades de atención - que no el diagnóstico de TDAH- con el volumen cerebral en 652 sujetos adultos con una edad media de 22,5 años.

Una vez comprobada la sospecha de la reducción de tamaño, el siguiente paso ha sido concretar qué estructuras son las que están más directamente afectadas. A pesar de la inconsistencia de la mayoría de los datos, debido fundamentalmente a las metodologías o los tamaños muestrales, las áreas cerebrales más relevantes se localizan en el **córtex prefrontal, el cerebelo, el cuerpo caloso y los ganglios basales.**

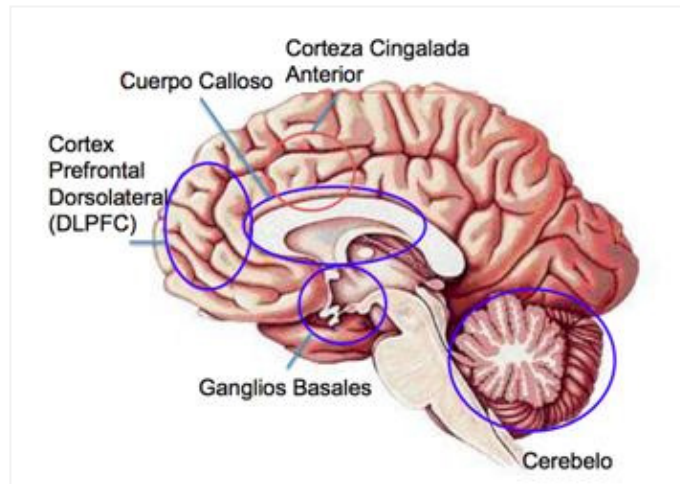
1. **El córtex prefrontal.** La mayoría de los estudios encontraron volúmenes disminuidos en pacientes diagnosticados de TDAH. Y dentro de las distintas regiones, la que predomina en los hallazgos es el córtex prefrontal dorsolateral (DLPFC) de los hemisferios izquierdo y derecho. Esta es la región encargada de mantener la atención sostenida, de terminar las tareas, y la responsable de la organización y de la realización de las actividades que requieren un esfuerzo mental sostenido.
2. **El cerebelo.** Se ha sugerido la existencia de una disminución del volumen. Sin embargo estudios posteriores objetivaron que tras la corrección de la medida cerebelosa en relación al volumen cerebral total, no existían diferencias significativas entre el volumen total del cerebelo de pacientes con TDAH comparado con controles sanos. Sin embargo sí encuentran disminuciones del volumen de los lóbulos inferoposteriores (VIII-X) del vérmix cerebeloso. Estas alteraciones a nivel del vérmix sugieren la posible participación del cerebelo en los circuitos relacionados con los procesos atencionales (Castellanos, F.X. y cols., 1996).
3. **El cuerpo caloso.** El cuerpo caloso se considera el elemento esencial en la transmisión de información interhemis-

férica. Pacientes diagnosticados de TDAH presentan cambios en la zona anterior del cuerpo caloso. Así mismo, los pacientes que muestran puntuaciones más altas en escalas de impulsividad e hiperactividad son aquellos que tienen el área rostral del cuerpo caloso de menor tamaño (Hynd, G.W. y cols., 1991; Giedd, J.N. y cols., 1994, Swan et al 2011).

4. **Los ganglios basales.** Los estudios realizados mediante Resonancia Magnética del núcleo caudado en sujetos con TDAH, ofrecen distintas conclusiones, aunque lo que predomina es una asimetría de ambos núcleos (Hynd, G.W. y cols., 1993; Bush 2011).
5. **Otras Regiones: El lóbulo temporal.** A pesar de lo conceptualmente interesante de esta área son pocos los estudios que han encontrado datos relevantes en esta región. Los datos se centran en una reducción significativa del volumen de ambos lóbulos temporales (Castellanos, F.X. y cols., 2002). **El lóbulo parietal.** Castellanos F.X. y cols. (2002) encontraron una disminución significativa del volumen de ambos lóbulos parietales en pacientes diagnosticados de TDAH. Cabe destacar una disparidad de resultados con el estudio realizado por Sowell, ER. y cols. (2003), en el que se encontró un aumento del volumen de la sustancia gris correspondiente a la parte inferior de la corteza parietal, probablemente debido a diferencias en el tamaño muestral y en las medidas. **El lóbulo occipital.** Se ha publicado una reducción del volumen del lóbulo occipital en pacientes diagnosticados de TDAH. Algunos autores cifran esta disminución hasta del 9% de las sustancias gris y blanca del lóbulo occipital izquierdo en pacientes con TDAH (Castellanos, F.X. y cols., 2002).

No obstante en una reciente revisión publicada en 2011 por Bush, se corrobora que los datos sobre los que pesa más evidencia en el TDAH son las regiones del Cortex Prefrontal, de la corteza cingulada anterior y del cuerpo caloso (Bush, G. y cols., 2011).

Figura 3.- Resumen de los datos estructurales más relevantes en el cerebro TDAH

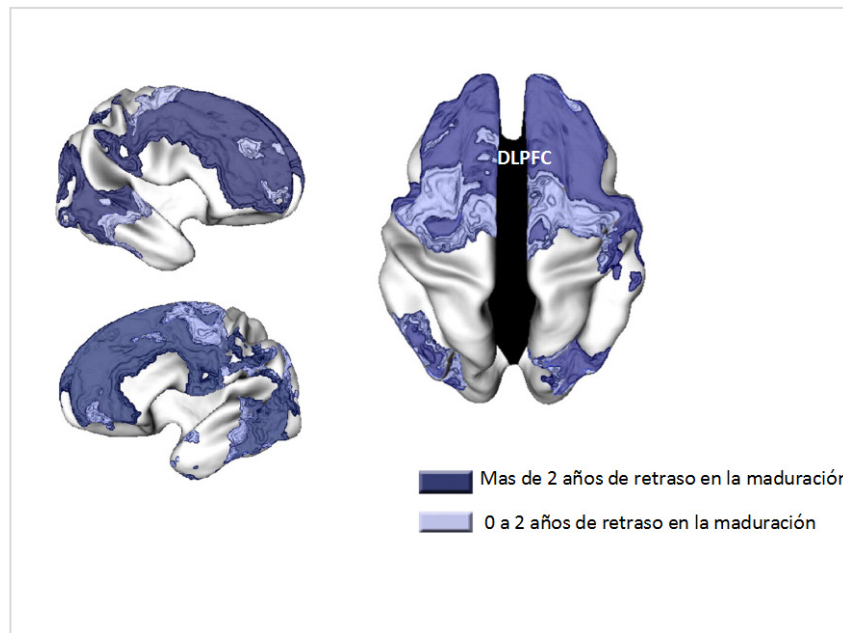


3.2. Estudios del grosor de la corteza cerebral

El siguiente escenario de interés ha sido el estudio de la corteza cerebral. Aunque no fue el primero en fijar su atención en ella, Philip Shaw ha publicado la investigación más exhaustiva de Resonancias Magnéticas Cerebrales seriadas, estudiando la maduración del cerebro en niños con TDAH, tomando como referen-

cia el grosor de la corteza de cerebro. Shaw ha encontrado una reducción en grosor de la corteza cerebral, equivalente a unos 2 años de maduración, y de manera predominante, en las regiones anteriores del cerebro (figura 4) (Shaw, P. y cols., 2007), circunstancia mantenida en el tiempo y con cierto valor pronóstico.

Figura 4.- Grosor de la Corteza Cerebral (adaptado de Shaw, P. y cols., 2007)

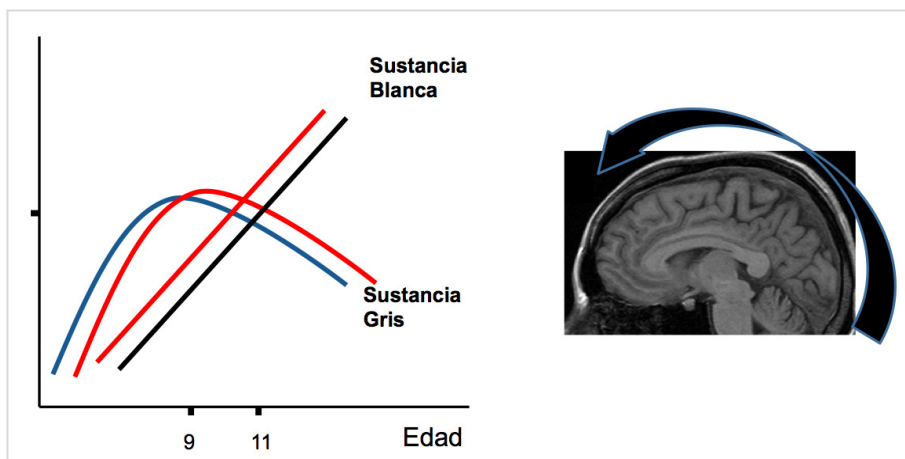


3.3. Desarrollo del Cerebro

Al contrario de lo que se ha creído durante décadas, el cerebro es un órgano en constante reorganización. La plasticidad cerebral es un fenómeno muy intenso sobre todo durante los primeros años de vida del niño. Por un lado, tras un periodo de rápido crecimiento de la corteza (sustancia gris), se produce un fenómeno de reorganización sináptica, más conocido como fenómeno de poda neuronal. Durante este proceso el cerebro descarta millones de

sinapsis neuronales que no le son de utilidad. Por otro lado, se produce el proceso de mielinización o de maduración de la sustancia blanca, fenómeno algo más tardío y progresivo. Todos estos procesos tienen un desarrollo posterior-anterior, es decir, se inician en las regiones posteriores del cerebro, para terminar en las regiones prefrontales, precisamente aquellas más afectadas en el TDAH (Figura 5). Como vemos se intuye que los primeros años de vida son cruciales en lo relativo al neurodesarrollo.

Figura 5.- Maduración Cerebral



En el campo del TDAH, una de las hipótesis más plausibles hasta la fecha pivota sobre alteraciones en el neurodesarrollo. Especial mención ofrecen los trabajos que recientemente están encontrando cambios en los paradigmas. En este sentido Shaw ha publicado un estudio sobre la evolución del Cuerpo Calloso (CC) a lo largo de la vida de los pacientes con TDAH. En concreto, en la región I del Cuerpo Calloso, que precisamente conecta ambas regiones frontales contralaterales, no sólo encuentra una diferencia de grosor entre casos y controles, sino que además esta diferencia cambia con el tiempo. En pacientes con TDAH menores de 9 años el Cuerpo Calloso es más delgado, para no solo corregir, sino adquirir un grosor mayor que los controles en la adolescencia (Shaw, P. y cols., 2011). Esto reabre el debate de la Neuromodulación y de cómo el cerebro puede estar tratando de compensar sus dificultades funcionales, adaptando el tamaño de determinadas regiones, en lo que parece un intento de compensar sus disfunciones.

Retrocediendo a las teorías evolucionistas, Lamarck (*Filosofía zoológica*. 1809) define que las **circunstancias** crean la necesidad, esa **necesidad** crea los hábitos, los **hábitos** producen las modificaciones como resultado del uso o desuso de determinado órgano y los medios de la Naturaleza se encargan de fijar esas modificaciones. En lugar de en generaciones, ¿se podría pensar que esto ocurriera en una sola generación?. Podríamos encontrar un cerebro en constante búsqueda del control de su función, si *la función hace al órgano*, ¿un cerebro deficitario podría buscar sus propias estrategias de compensación de sus déficits?. Y la pregunta más excitante, ¿cómo podríamos contribuir favorablemente a este fenómeno?. Por ejemplo, ¿hay algo que en las aulas se pueda hacer que tenga como consecuencia ayudar al cerebro a corregir o compensar sus déficits?.

Dicho de otra manera, la plasticidad cerebral está presente a lo largo de la vida del sujeto, pero ¿qué ocurre con los periodos críticos para el desarrollo?. Sabemos que el cerebro tiene ventanas de oportunidad para el correcto desarrollo de sus funciones como por ejemplo la corteza visual. Cerrada esa ventana, el desarrollo será notablemente más penoso, como ocurre en los casos de ambliopía (ojo vago). Pero ¿sabemos cuáles son las ventanas para el desarrollo de las regiones prefrontales?. Por otro lado, el cerebro tiene unos periodos de máximo desarrollo, ¿podrían coincidir?. En cualquier caso sabemos que estos periodos son muy precoces en el tiempo.

Un grupo de investigadores alemanes ha tratado de generar modelos animales de TDAH. Para ello generaron ambientes estresantes en ratas en los momentos inmediatamente posteriores al

nacimiento, queriendo encontrar alteraciones estructurales y conductuales similares a las que encontraríamos en pacientes con TDAH (Bock, J. y Braun, K., 2011). Uno de los problemas de estos hallazgos radica en la escasa especificidad de las alteraciones neuroanatómicas en el TDAH ya que no son patognomónicas. No obstante, las opciones de entender qué factores pueden tener un papel principal en la modulación del cerebro, se antoja muy interesante. Quizás esta vía podría llegar a explicar por qué los niños institucionalizados en orfanatos en momentos claves de su desarrollo presentan mayores índices de alteraciones de la conducta y de TDAH que lo esperable en la población normal, y con ello complementar las teorías del desarrollo del vínculo y del apego.

3.4. Estudios Funcionales

Una vez que hemos tratado de entender la estructura del cerebro y sus matices en el TDAH, lo que realmente parece importante del cerebro es saber cómo funciona. Los estudios realizados con técnicas de neuroimagen funcional, principalmente PET (Tomografía por Emisión de Positrones), SPECT (Tomografía Computarizada por Emisión de Fotones Individuales) y sobre todo RMNf (Resonancia Magnética Nuclear Funcional) están encontrando datos muy interesantes en lo relativo a las regiones que muestran diferencias de la actividad cerebral en niños diagnosticados de TDAH. Otras técnicas como la Magnetoencefalografía (MEG) están aportando datos interesantes con mayor resolución temporal y funcional, aunque sean menos sensibles en lo estructural.

Las principales críticas a los estudios que se han hecho con PET se centran en las diferencias que se encuentran entre géneros. Así el metabolismo global de la glucosa en hombres diagnosticados de TDAH era un 6% menor que en los controles, mientras que en las mujeres con este diagnóstico fue un 12,7% menor que en sus controles de igual género. Este punto de vista se correlaciona bien con los hallazgos de Castellanos sugiriendo que las niñas estudiadas tenían, en general, un menor tamaño cerebral que sus pares masculinos. Se concluye, entonces, que el género, junto con otras variables, como la toma de tratamiento, deberían ser controladas, a pesar de que parece que el TDAH afecta al tamaño cerebral y a la funcionalidad de manera no dependiente. Los estudios realizados con SPECT muestran la existencia de una distribución anormal del flujo sanguíneo cerebral en niños con TDAH. Además, estos autores encontraron una relación inversa entre el flujo sanguíneo cerebral regional en áreas frontales del hemisferio derecho y la gravedad de los síntomas conductuales.

En adolescentes con TDAH, se ha evidenciado mediante PET, una disminución en el metabolismo cerebral regional de la glucosa en el lóbulo frontal, mientras que el metabolismo cerebral global parece no verse alterado. Sin embargo, en adultos con TDAH de inicio en la infancia se ha observado un hipometabolismo, tanto regional (i.e. corteza promotora, corteza prefrontal superior y cíngulo anterior) como global. Spencer y cols. estudiaron con PET la presencia del transportador de dopamina (DAT) encontrando un aumento de densidad en el núcleo caudado de los pacientes con TDAH. (Zametkin, A.J. y cols, 1993, Gustaffson, P. y cols, 2000, Spencer, T.J. y cols 2007).

3.4.1. Resonancia Magnética Funcional (RMNf)

Una de las principales contribuciones que la RMNf ha aportado al conocimiento del TDAH es el estudio de las alteraciones en el cíngulo anterior. El cíngulo anterior, también denominado “*división cognitiva*” del cerebro, juega un papel crucial en la atención, cognición, control motor y toma de decisiones basadas en la recompensa. En un estudio centrado en esta región, donde se utilizó el test de Stroop como el paradigma de la activación cognitiva, Bush, G. y cols. (1999) objetivaron que el cíngulo anterior era hipofuncionante en adultos diagnosticados de TDAH. De manera similar, Rubia, K. y cols. (1999) encontraron también hipoactivación prefrontal mesial en el área del cíngulo anterior usando tareas *stop signal* y tareas motoras. Durston, A. y cols. (2003) usando tareas del tipo *go/ Non go* en niños, encontraron que se producía una activación en el cíngulo anterior de los voluntarios sanos, pero esta no se producía en sujetos diagnosticados de TDAH.

Los estudios realizados con RMNf han arrojado información interesante en cuanto a las diferencias en los procesos de activación entre los sujetos control y los sujetos diagnosticados de TDAH, con y sin tratamiento farmacológico, demostrando diferentes efectos en la activación de los ganglios basales (Vaidya, C.J. y cols, 1998).

Samuelle Cortese ha publicado en otoño de 2012, una exhaustiva revisión de los datos hasta la fecha publicados con RMNf (Cortese, S. y cols., 2012), reflejando las áreas donde los estudios encuentran diferencias entre la actividad de los pacientes con TDAH y los controles sanos. Pues bien, más allá de los resultados publicados, lo que estos autores señalan en la interpretación de los mismos es el replanteamiento de las hipótesis respecto al TDAH. Por un lado encuentran datos para soportar la teoría clásica de la deficiencia en la activación fronto-estriatal al encontrar hipoactivación en la red de control ejecutivo frontoparietal y en la red de atención ventral. Pero, a su vez, señalan que no todo en un cerebro TDAH es hipofuncionante y que, al observar hiperactividad de la red por Defecto (Default Network) e incluso en los circuitos visuales, se podría explicar el TDAH como una alteración en la interacción de las redes neuronales, y no tanto como un defecto estructural concreto. Si bien es apasionante esta hipótesis, prácticamente nos resetearía a la hora de conocer el funcionamiento no sólo del cerebro con algún tipo de alteraciones, sino también del cerebro sano. Hasta la fecha no se han podido definir con rigor las redes de activación por defecto normales en el cerebro sano, como para poder definir las alteraciones de dichas redes con claridad (Sato, J.R. y cols, 2012). Haciendo un símil con la conducción cardíaca, sabemos que la actividad bioeléctrica del corazón se compone de una ondas p, qrs y t, y lo que significan cada una en términos de traducción a la función cardíaca. Pues

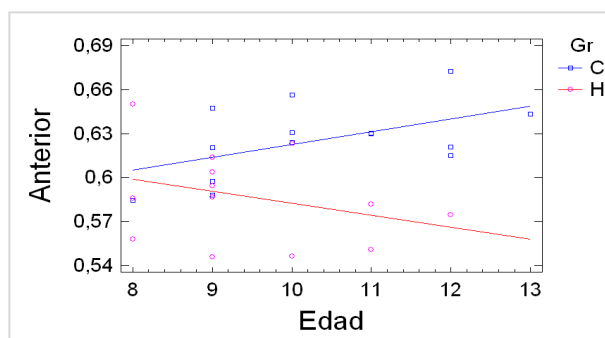
bien, la actividad eléctrica conocida del cerebro se limita a la superficie, mientras que la conectividad y sus redes profundas parece ser lo realmente importante. Conocer cómo se comporta un cerebro en reposo es complicado ya que ¿está alguna vez un cerebro en reposo?

3.4.2. Magnetoencefalografía (MEG)

Entre las técnicas de neuroimagen que probablemente contribuirán al progreso en la investigación de este trastorno, se encuentra la MEG. Es capaz de mostrar una imagen de la actividad cerebral con una alta resolución temporal, aunque grosera desde el punto de vista estructural, en estado de reposo cerebral o sometido el cerebro a algún tipo de actividad sensorial, emocional o cognitiva, desde el inicio del proceso hasta el final del mismo. Capta, no solamente la actividad subyacente cortical, sino también la de otras áreas o estructuras subcorticales implicadas en la misma. La MEG es una técnica no invasiva de registro de la actividad funcional del cerebro, mediante la captación de campos magnéticos, que permite investigar las relaciones entre las estructuras cerebrales y sus funciones.

Con el equipo del Profesor Tomas Ortiz, realizamos en la Universidad Complutense de Madrid, un estudio de pacientes con TDAH *naïve*, que nunca habían recibido tratamiento, y los comparamos con sujetos sanos parejos en edad y género. Utilizando modelos de Complejidad Cerebral y, en concreto, el paradigma de Lempel-Ziv (LZ), se objetivaron diferencias entre los niños con TDAH y sus pares controles (Figura 6). Pero más allá de la mera diferencia, se observa que la evolución de esta variable de actividad tiende a ser divergente, separando cada vez la muestra de caso y de controles. Estas diferencias son especialmente significativas en las regiones anteriores (Córtex prefrontal), donde la complejidad se comporta de forma creciente en los controles y decreciente en los pacientes con TDAH, consiguiendo una sensibilidad del 93% y especificidad del 73%. Sin embargo a partir de los 9 años, esta especificidad alcanzaría el 100% (Figura 6) (Fernández, A.; Quintero, J. y cols., 2008).

Figura 6.- Análisis de la complejidad, teniendo en cuenta la edad



P-valor=0,002

En la figura 7 se muestran los promedios de complejidad en los 148 canales (escala de colores) observándose un aumento significativo de la complejidad LZ en toda la zona anterior-central para el grupo de los controles comparado con los casos (TDAH).

Figura 7.- Análisis de la Complejidad. MEG

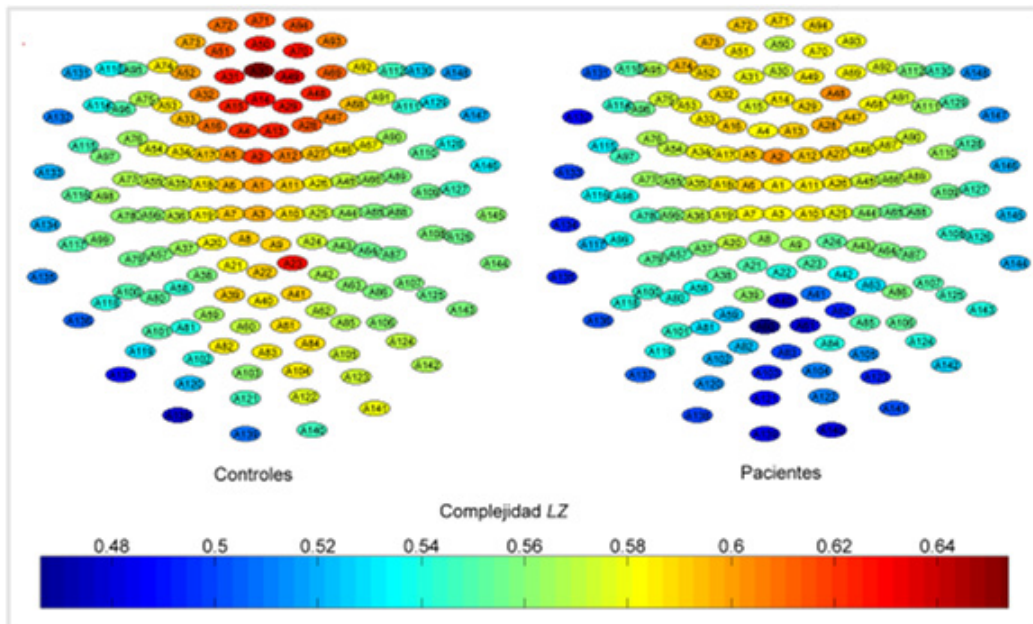
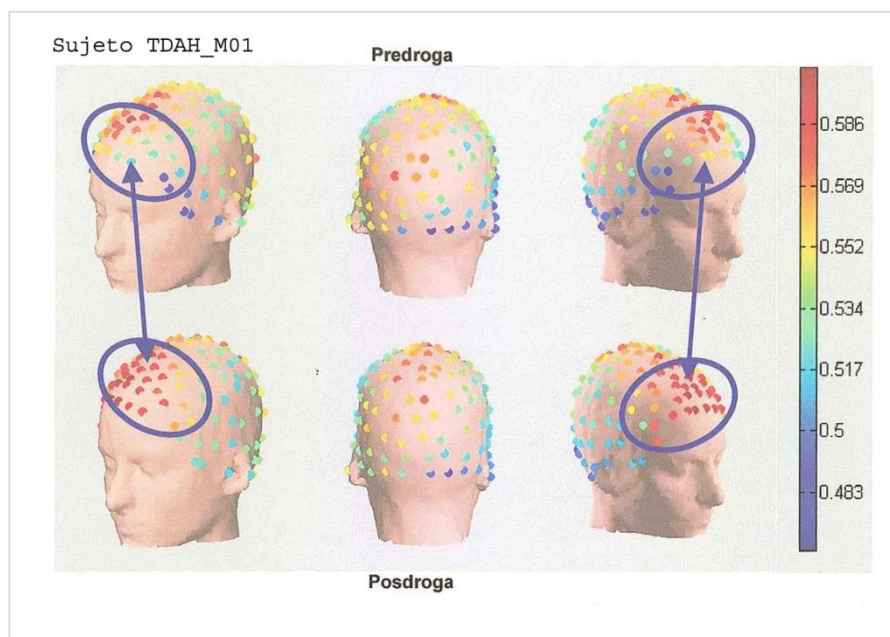


Figura 8.- Cambios medidos con MEG antes y después del tratamiento con Metilfenidato en sujetos con TDAH



4. Efectos del tratamiento

Una de las características más notables del TDAH es la eficacia de los tratamientos. Esto es si cabe más importante cuando se trata de buscar una corrección funcional o estructural en el cerebro, congruente con lo esperable y observable clínicamente. La mayoría de las investigaciones se centran en los cambios funcionales. Así, recientemente, encontramos distintas publicaciones del equipo del Massachusetts General Hospital en los que sugieren que el Metilfenidato corrige los defectos en la activación de la corteza cingulada anterior (Bush, G., 2011) o que normaliza la actividad de la región prefrontal inferior derecha, durante la realización de tareas de inhibición (Rubia, K. y cols., 2011). Mencionan que la Atomoxetina aumenta la activación del área del Cortex Dorso Lateral Prefrontal y del cerebelo en pacientes con adultos con TDAH (Bush, G. 2010). Como en el caso anterior, los estudios con Magnetoencefalografía nos ayudan a comprender mejor el funcionamiento del cerebro. En la figura 8 se puede observar como el tratamiento con Metilfenidato compensa las deficiencias observadas en los pacientes con TDAH.

Los datos interesantes, aunque aún por llegar, son los que definen si el tratamiento mantenido es capaz de consolidar la corrección de los defectos funcionales o incluso corregir los defectos estructurales. En este sentido Castellanos hace 10 años, ya encontró que los pacientes con TDAH tratados tenían mayor volumen cerebral que los no tratados, aunque aún menor que los controles sanos (Castellanos, F.X. y cols., 2002).

5. Conclusiones

El TDAH es el trastorno psiquiátrico más y mejor estudiado de cuantos afectan a los niños en edad escolar y gran parte de los esfuerzos de investigación se han encaminado a la búsqueda o mejor comprensión de su origen. Hoy podemos afirmar que en la génesis del TDAH confluyen elementos genéticos, que llegan a explicar hasta el 75% del problema. Se observan alteraciones estructurales y funcionales en el cerebro, que parten desde la afectación de una reducción global del volumen cerebral, hasta la localización de determinadas regiones más directamente implicadas. En este sentido el área dorso lateral prefrontal del cerebro y la corteza cingulada anterior acumulan, no sólo suficientes evidencias, sino además un correlato clínico claro, que explicaría gran parte de los síntomas nucleares del TDAH. Y por último, pero no por ello menos importante, un ambiente que modula la expresión genética y sus consecuencias.

Estudios más modernos se han fijado en un cerebro dinámico, primero observando la maduración de la corteza y sus desviaciones en el TDAH, de nuevo congruentes con las investigaciones pretéritas, es decir con más afectación en las regiones prefrontales. Pero son los estudios funcionales, con RMNf y con MEG, los que han puesto el acento en lo que hace el cerebro, en su funcionamiento y no sólo en la estructura. El problema surge como en tantas otras veces en la ciencia, cuando los nuevos hallazgos ponen en solfa las hipótesis previas, y en este caso, enfocan su atención sobre la conectividad cerebral.

En cualquier caso, lo que sabemos es que el cerebro es un órgano dinámico y que la maduración del mismo se produce de manera crucial durante los primeros años de vida del niño. Este proceso es posible que ofrezca ventanas de oportunidad para poder influir, positivamente o no, en su maduración. Por ejemplo, no sabemos el impacto que puede tener ver la televisión de manera excesiva durante ese proceso de máxima vulnerabilidad evolu-

tiva en el desarrollo del cerebro como puede ser antes de los 2 años de vida, aunque algunos trabajos ya sugieren que puede desempeñar un papel negativo.

Durante esos primeros años cruciales, el niño acude a la escuela, aprende a observar el mundo a través los ojos de su maestro, a prestar atención o a regular su conducta y todo ello lo va a hacer en el colegio. Para muchos docentes el apreciar durante la educación infantil o los primeros años de primaria que un niño es diferente, es una tarea sencilla, se trata tan solo de buscar la diferencia en un mismo grupo etario. Quizás esa detección precoz y una correcta intervención posterior, pueda corregir o compensar no sólo los síntomas y la evolución del cuadro, sino los posibles defectos funcionales que explicarían la persistencia del trastorno a lo largo de la vida.

El TDAH debe ser entendido como un factor de riesgo evolutivo para el que lo padece y la detección precoz puede ser de crucial importancia para ordenar un ambiente que interactuando con la biología, va a modular ese riesgo.

Referencias bibliográficas

- ARNSTEN, A.F. (2006): "Fundamentals of attention-deficit/hyperactivity disorder: circuits and pathways". *J Clin Psychiatry*, n.º 67 Suppl. 8, pp. 7-12.
- BARBUDO, E.; CORREAS LAUFFER, J., y QUINTERO, J. (2009): "Clínica del trastorno por déficit de atención e hiperactividad en el adulto" pp. 337-369, en Quintero Gutiérrez del Álamo, F.J.; Correias Lauffer, J. y Quintero Lumbreras, F.J. (2009): *Déficit de atención e hiperactividad a lo largo de la vida*. Masson Elsevier, 3ª Edición: Barcelona.
- BIEDERMAN, J. (2005): "Attention-deficit/hyperactivity disorder: a selective overview". *Biol. Psychiatry*. Jun 1, n.º 57(11) pp. 1215-20.
- (2007): "Advances in the Neurobiology of ADHD". *CNS Spectr*, n.º 12:4 (Suppl 6), pp. 6-7.
- BIEDERMAN, J.; FARAONE, S.V.; KEENAN, K.; BENJAMIN, J.; KRIFCHER, B.; MOORE, C.; SPRICH-BUCKMINSTER, S.; UGAGLIA, K.; JELLINEK, M.S.; STEINGARD, R.; SPENCER, T.; NORMAN, D.; KOLODNY R.; KRAUS, I.; PERRIN, J.; KELLER, M.B., y TSUANG, M.T. (1992): "Further evidence for familygenetic risk factors in attention deficit hyperactivity disorder". *Archives of General Psychiatry*, n.º 49, pp. 728-738.
- BOCK, J. y BRAUN, K. (2011): "The impact of perinatal stress on the functional maturation of prefronto-cortical synaptic circuits: implications for the pathophysiology of ADHD?". *Prog Brain Res*, n.º 189, pp. 155-169.
- BROOKES, K.J.; MILL, J.; GUINDALINI, C.; CURRAN, S.; XU, X.; KNIGHT, J., y cols. (2006): "A common haplotype of the dopamine transporter gene associated with attention-deficit/hyperactivity disorder and interacting with maternal use of alcohol during pregnancy". *Arch Gen Psychiatry*, n.º 63, pp. 74-81.
- BROOKES, K.; XU, X.; CHEN, W.; ZHOU, K.; NEALE, B.; LOWE, N.; ANEY, R.; FRANKE, B.; GILL, M.; EBSTEIN, R.; BUITELAAR, J.; SHAM, P.; CAMPBELL, D.; KNIGHT, J.; ANDREOU, P.; ALTINK, A.; AMOLD, R.; BOER, F.; BUSCHGENS, y cols. (2006): "The analysis of 51 genes in DSM-IV combined type attention deficit hyperactivity disorder: association signals in DRD4, DAT1 and 16 other genes". *Molecular Psychiatry*, n.º 11, pp. 934-953.
- BUSH, G. (2010): "Attention-deficit/hyperactivity disorder and attention networks". *Neuropsychopharmacology*, n.º 35(1), pp. 278-300.
- (2011): "Cingulate, Frontal, and Parietal Cortical Dysfunction in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder". *Biological Psychiatry* 69, n.º12, pp. 1160-167.
- BUSH, G.; FRAZIER, JA.; RAUCH, SL.; SEIDMAN, LJ.; WHALEN, PJ.; JENIKE, MA. y cols.(1999): "Anterior cingulated cortex dysfunction in

- attention-deficit/hyperactivity disorder revealed by fMRI and the counting Stroop". *Biol Psychiatry*, n.º 45, pp. 1542-1552.
- CASTELLANOS, FX.; GIEDD, J.N.; BERQUIN, PC., y cols. (2001): "Quantitative brain magnetic resonance imaging in girls with ADHD". *Arch Gen Psychiatry*, n.º 58, pp. 289-295.
- CASTELLANOS, F.X. y TANNOCK, R. (2002): "Neuroscience of attention-deficit/hyperactivity disorder: the search for endophenotypes". *Nat Rev Neurosci*, n.º Aug; 3(8), pp. 617-28.
- CASTELLANOS, F. X.; GIEDD, J. N.; MARSH, W. L.; HAMBURGER, S. D.; VAITUZIS, C.; KICKSTEIN, D. P.; SARFATTI, S.E.; VAUSS, C.; SNELL, J.W.; RAJAPAKE, J.C., y RAPOPORT, J. D. (1996b): "Quantitative brain magnetic resonance imaging in attention-deficit hyperactivity disorder". *Archives of General Psychiatry*, n.º 53, pp. 607-616.
- CARDO, E. y SERVERA, M. (2008): "Trastorno por déficit de atención/hiperactividad: estado de la cuestión y futuras líneas de investigación". *Revista Neurología*, n.º 46 (6), pp. 365-372.
- CORTESE, S.; KELLY, C.; CHABERNAUD, C.; PROAL, E.; DI MARTINO, A.; MILHAM, M.P.; CASTELLANOS, F.X. (2012) Toward Systems Neuroscience of ADHD: A Meta-Analysis of 55 fMRI Studies. *Am J Psychiatry*. Sep 13. doi: 10.1176/appi.ajp.2012.11101521. [Epub ahead of print]
- DURSTON, A. (2003): "A review of the biological bases of ADHD. What have we learned from imaging studies?". *Ment Retard Dev Disabil Res Rev*, n.º9, pp. 184-95.
- FARAONE, S.V. y BIEDERMAN, J. (1998): "Neurobiology of attention-deficit hyperactivity disorder". *Biol Psychiatry*, Nov 15 n.º 44(10), pp. 951-8.
- FARAONE, S.V. (2004): "Genetics of adult attention-deficit/hyperactivity disorder". *Psychiatry Clinics of North America*, n.º27, pp. 303-321.
- FARAONE, S.V. y DOYLE, A.E. (2000): "Genetic influences on attention-deficit/hyperactivity disorder". *Current Psychiatry Reports*, n.º 2, pp. 143-146.
- FARAONE, S.V.; DOYLE, A.E.; MICK, E., y BIEDERMAN, J. (2001): "Meta-analysis of the association between the 7-repeat allele of the dopamine D(4) receptor gene and attention deficit hyperactivity disorder". *American Journal of Psychiatry*, n.º158, pp. 1052-1057.
- FARAONE, S.V.; PERLIS, R.H.; DOYLE, A.E.; SMOLLER, J.W.; GORNICK, J.J.; HOLMGREN, M.A., y cols. (2005): "Molecular genetics of attention-deficit/hyperactivity disorder". *Biological Psychiatry*, n.º 57, pp. 1313-1323.
- FARAONE, S.V.; BIEDERMAN, J.; WOZNIAK, J. (2012): Examining the comorbidity between attention deficit hyperactivity disorder and bipolar I disorder: a meta-analysis of family genetic studies. *Am J Psychiatry*. 2012 Dec 1;169(12):1256-66.
- FERNANDEZ, A.; QUINTERO, J.; HORNERO, R.; ZULUAGA, P.; NAVAS, M.; GÓMEZ, C.; ESCUDERO, J.; GARCÍA CAMPOS, N.; BIEDERMAN, J. y ORTIZ, T. "Complexity Analysis of Spontaneous Brain Activity in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Diagnostic Implications". *Biol Psychiatry*, n.º65 pp. 571-577.
- FILIPEK, P.A.; SEMRUD-CLIKERMAN, M.; STEINGARD, R.J.; RENSHAW, P.F.; KENNEDY, D.N. y BIEDERMAN, J. (1997): "Volumetric MRI analysis comparing subjects having attention deficit hyperactivity disorder with normal controls". *Neurology*, n.º48, pp. 589-601.
- GIEDD, J.N.; CASTELLANOS, F.X.; CASEY, B.J.; KOZUCH, P.; KING, A.C.; HAMBURGER, S.D., y RAPOPORT, J.L. (1994): "Quantitative morphology of the corpus callosum in attention deficit hyperactivity disorder". *American Journal of Psychiatry*, n.º 151, 5, pp. 665-669.
- GUSTAFFSON, P.; THERNLUND, G.; RYDING, E.; ROSÉN, I., y CERDERBLAD, M. (2000): "Associations between cerebral blood flow measured by single photon emission computed tomography (SPECT), electroencephalogram (EEG), behavior symptoms, cognition and neurological soft signs in children with attention deficit hyperactivity disorder (ADAH)". *Acta Paediatrica*, n.º89, pp830-5.
- HILL, D.E.; YEO, R.A.; CAMPBELL, R.A. y cols. (2003): "Magnetic resonance imaging correlations of ADHD in children". *Neuropsychology*, n.º 17, pp. 496-506.
- HYND, G.W.; SEMRUD-CLIKEMAN, M.; LORYS, A.R.; NOVEY, E.S.; WLIOPULOS, D. Y LYYTINEN, H. (1991): "Corpus callosum morphology in attention deficit hyperactivity disorder, morphometric analysis of MRI". *Journal of Learning Disabilities*, n.º24, 3, pp. 141-146.
- HYND, G.W.; HERN, K.L.; NOVEY, E.S.; ELIOPULOS, D.; MARSHALL, R.; GONZALEZ, J.J. y VOELLER, K.K. (1993): "Attention deficit hyperactivity disorder and asymmetry of the caudate nucleus". *Journal of Child Neurology*, n.º8, pp. 339-347.
- KATES, W.R.; FREDERISKE, M.; MOSTOFOSKY, S.H., y cols. (2002): "MRI parcellation of the frontal lobe in boys with ADHD or Tourette syndrome". *Psyc Res*, n.º116, pp. 63-81.
- LAMARCK, J.B. (1809): *Filosofía zoológica*. F. Sempere y Compañía Editores, Valencia.
- LÓPEZ-MUÑOZ, F.; ALAMO, C.; QUINTERO-GUTIÉRREZ, F.J., y GARCÍA-GARCÍA, P. (2008): "A bibliometric study of internacional scientific productivity in attention-deficit hyperactivity disorder covering the period 1980-2005". *European Child and Adolescent Psychiatry*. Apr 21.
- MOSTOFOSKY, S.; COOPER, K.; KATES, W., y cols. (2002): "Smaller prefrontal and premotor volumes in boys with ADHD". *Biol Psychiatry*, n.º52, p 785.
- POLANCZYK, G.; SILVA DE LIMA, M.; LESSA, B.; BIEDERMAN, J., y RODHE, L.A. (2007): "The Worldwide Prevalence of ADHD: A systematic Review and Metaregression Analysis". *American Journal of Psychiatry*, vol.165, 6, n.º164, pp. 942-948.
- QUINTERO GUTIÉRREZ del ALAMO, F.J.; CORREAS LAUFFER, J., y QUINTERO LUMBREAS, F.J. (2009): *Déficit de atención e hiperactividad a lo largo de la vida*. Masson Elsevier, 3ª Edición: Barcelona.
- QUINTERO, J.; NAVAS, M.; FERNÁNDEZ, A., y ORTIZ, T. (2009) "Avances en el Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad. ¿Qué nos aporta la neuroimagen?". *Actas Españolas de Psiquiatría*. Vol 37, n.º6, pp. 352-358.
- RUBIA, K. et al. (2011): "Methylphenidate Normalizes Fronto-Striatal Underactivation During Interference Inhibition in Medication-Naïve Boys with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder". *Neuropsychopharmacology*, n.º36, pp. 1575-1586.
- RUBIA, K.; OVERMEYER, S.; TAYLOR, E.; BRAMMER, M.; WILLIAMS, S.C.; SIMMONS, A., y cols. (1996): "Hypofrontality in attention deficit hyperactivity disorder during higher-order motor control: a study with functional MRI". *American Journal of Psychiatry*, n.º 156, pp. 891-6.
- SATO, J.R.; HOEXTER, M.Q.; CASTELLANOS, X.F., y ROHDE, L.A. (2012): "Abnormal Brain Connectivity Patterns in Adults with ADHD: A Coherence Study". *PLoS One*, n.º7(9), p 45671.
- SHAW, P. y cols. (2007): "ADHD is characterized by a delay in cortical maturation". *Proc Natl Acad Sci USA*, n.º 104 (49), pp. 19649-19654.
- (2011): "A systematic review of global publication trends regarding long-term outcomes of ADHD". *Front Psychiatry*, n.º2, p 84.
- SOWELL, E.R.; THOMPSON, PM.; WELCOME, S.E., y cols. (2003): "Cortical abnormalities in children and adolescents with ADHD". *Lancet*, n.º 362, pp. 1699-707.
- SKOUNTI, M.; PHILATILIS, A.; GALANAKIDS, E. (2007): "Variations in prevalence of attention deficit hyperactivity disorder worldwide". *Eur J Pediatr*, n.º 166, pp. 117-23.
- SPENCER, T.J. (2007): "ADHD and Comorbidity in Childhood". *J Clin Psychiatry*, n.º 67 (Suppl 8), pp. 27-31.
- SPENCER, T.J.; BIEDERMAN, J.; MADRAS, B.K.; DOUGHERTY, D.D.; BONAB, A.A.; LIVNI, E.; MELTZER, P.C.; MARTIN, J.; RAUCH, S., y FISCHMAN, A.J. (2007): "Further evidence of dopamine transporter dysregulation in ADHD: a controlled PET imaging study using altoprane". *Biol Psychiatry*, Nov 1, n.º 62(9), pp. 1059-61.
- THAPAR, A.; HAROLD, G.; RICE, F.; LANGLEY, K., y O'DONOVAN, M. (2007): "The contribution of gene-environment interaction to psychopathology". *Dev Psychopathol*, n.º19(4), pp. 989-1004.
- VAIDYA, C.J.; AUSTIN, G.; KIRKORIAN, G.; RIDLEHUBER, H.W.; DESMOND, J.E.; GLOVER, G.H., y cols. (1998): "Selective effects of

methylphenidate in attention deficit hyperactivity disorder: a functional magnetic resonance study". *Acad Sci Proc Natl U S A*, n.º 95, pp. 14494-9.

WALDMAN, I. y GIZER, I. (2006): "The genetics of attention deficit hyperactivity Disorder », *Clin Psychol Rev*, n.º 26, pp. 396-432.

ZAMETKIN, A.J.; LIEBENAUER, L.L.; FITZGERALD, G.A.; KING, A.C., et al. (1993): "Brain Metabolism in teenagers with attention-deficit-disorder". *Arch Gen Psychiatry*, n.º 50, pp. 333-40.

Los autores

Javier Quintero

Doctor en Medicina y especialista en Psiquiatría, ha completado su formación con estancias en centros de prestigio en el extranjero. Ha desarrollado su vida profesional entre los Hospitales Ramón y Cajal, y la Fundación Jiménez Díaz de Madrid. Es el responsable del Servicio de Psiquiatría del Hospital Universitario Infanta Leonor de Madrid. Es Director de la Clínica Doctor Quintero, y de PSIKIDS. Es Profesor Asociado de la Universidad Complutense y director de diversos Master y cursos. Miembro de varios comités científicos y académicos. Ha escrito varios libros, y colaborado en más de 40 capítulos en otros tantos libros. Autor de una treintena de artículos y de más de doscientas ponencias y comunicaciones. Sus ámbitos de investigación y estudio son, entre otros, el TDAH, los Trastornos de la Conducta Alimentaria, el Autismo, y la Ansiedad.

Isabel Miernau

Licenciada en Psicología, Máster de Psicopatología Clínica Infantil y Juvenil y en TDHA. Ha completado su formación en distintos centros clínicos de Barcelona. Experta en Trastornos Afectivos y del Comportamiento, en Trastornos del Aprendizaje y en Altas Capacidades. Es responsable del Departamento de Psicología Clínica y Educativa de PSIKIDS. Participa en proyectos de investigación en el Hospital Infanta Leonor de Madrid en el campo del Autismo, la Inteligencia Emocional y las Funciones Ejecutivas. Ha presentado más de 20 comunicaciones y ponencias en congresos Nacionales. Es coautora de los libros "Activarte: Interpretación de dibujos de pacientes con TDAH" y "TDHA a lo largo de la vida", así como de diversos artículos.





Jorge Muñoz Ruata

Centro Universitario Villanueva. Universidad Complutense de Madrid (www.villanueva.edu)

Resumen

La gestión de la representación mental depende de las redes de percepción – acción por lo que su alteración parece responsable de muchos trastornos de aprendizaje. En primer lugar, se presenta un breve estudio que muestra las relaciones entre percepción visual y representación mental. Tras revisar la literatura científica sobre las relaciones entre zonas perceptivas y ejecutivas se realiza otro estudio para verificar primero las diferencias de activación cerebral entre la percepción visual pasiva y activa y, en segundo lugar, comprobar la sintonía entre las zonas perceptivas visuales y las ejecutivas mediante el estudio de la coherencia de sus oscilaciones.

Finalmente se analiza cómo se integra el sistema límbico en las redes de percepción – acción y se comenta la posible implicación de estos sistemas en la formación de significados.

Palabras clave: percepción, acción, funciones ejecutivas, percepción activa y pasiva, coherencia, sistema límbico y memoria, significado, educación, neurociencia.

Abstract

Managing mental representation depends on the networks of perception - action, so its disturbance seems responsible for many learning disabilities. First we present a brief study showing the relationships between visual perception and mental representation. After reviewing the literature on the relationship between perceptual and executive areas other study is conducted to verify firstly, brain activation differences between passive and active visual perception and secondly, to check the tuning between visual perceptual and executive areas, by study the coherence of its oscillations.

Finally we analyse how the limbic system is integrated into the networks of perception - action. We conclude by commenting on the possible involvement of these systems in the formation of meanings.

Keywords: perception, action, executive function, active and passive perception, coherence, limbic system and memory, meaning, education, neuroscience.

1. Introducción

Las relaciones entre neurociencia y educación se hacen especialmente necesarias en los trastornos de aprendizaje de causa neurológica. Desde hace 30 años, un equipo formado por docentes, neuropsicólogos, logopedas, fisioterapeutas, y neurofisiólogos, trabajamos tratando de conjugar diversos saberes para orientar la educación y rehabilitación de casos individuales así como para investigar acerca de este tipo de trastornos. El primer objetivo de este trabajo es mostrar la relación de los circuitos de percepción – acción con problemas de aprendizaje, tanto los específicos de la lectura, escritura o cálculo como los generales cuyo punto clave creemos que es la obstaculización de la formación de significados. Complementando la revisión de la literatura científica se incluyen dos pequeños trabajos, realizados con datos aportados por las personas del equipo, cuyo objetivo es ilustrar la integración de la información visual con las funciones ejecutivas para posibilitar la representación mental entendida siempre como la capacidad de manejar activamente las sensaciones. El atrevimiento de citar autores clásicos entiéndase como un homenaje agradecido a la filosofía, con la cual todos estamos en deuda. Creemos que además puede ayudar a comprender y recordar mejor el sentido del texto.

2. Problemas terminológicos

Al decir “redes de percepción-acción” el lector puede saber o suponer que nos referimos a redes de neuronas que relacionan la percepción con la acción en el sistema nervioso central. Sin embargo, como sucede con muchas expresiones relacionadas con la

educación, hablar de “trastornos de aprendizaje” es entrar en una “torre de babel”. Las definiciones propuestas por las la Asociación Americana de Psiquiatría o por la OMS (Organización Mundial de la Salud) son discutidas. En primer lugar, por dejar fuera habilidades como la memoria, la atención, las habilidades motrices o las funciones ejecutivas que para muchos son tan objeto de la educación como pueden serlo la lectura, la escritura o el cálculo. En segundo lugar, por desligar el trastorno de aprendizaje de la inteligencia y en tercer lugar, por no separar los trastornos de origen orgánico de los debidos a factores externos. No vamos a entrar en una discusión que llenaría el espacio disponible y mucho más. Para saber de qué estamos hablando asumiremos algunas propuestas.

Consideramos adecuada la distinción entre trastorno y dificultad que aparece en la mayoría de los trabajos franceses: reservan la expresión “dificultad de aprendizaje” para cuando la causa es externa tal como por ejemplo el abandono, el maltrato o los conflictos psicológicos y proponen la expresión “trastorno de aprendizaje” para cuando la causa es neurológica.

En relación a la inteligencia parece muy interesante la postura inglesa: si el trastorno es leve su repercusión en la inteligencia puede no notarse, pero si es grave inevitablemente producirá un detrimento del nivel intelectual. Esta postura convierte el trastorno de aprendizaje y la discapacidad intelectual en un continuo cuyos síntomas dependen de la gravedad del trastorno.

En este trabajo se estudian algunos de los posibles orígenes neurológicos de trastornos de aprendizaje independientemente de que su intensidad pueda o no haber ocasionado discapacidad intelectual.

3. Redes de percepción – acción

Percibir sensorialmente —y también inteligir y conocer— consisten en padecer un cierto influjo y un cierto movimiento¹.

Desde que alrededor de 1800 el neuroanatomista alemán Franz Joseph Gall propuso que las protuberancias craneales reflejaban las facultades psicológicas de las personas y a pesar de que esa teoría pronto fue calificada de pseudociencia, la neurología no ha comenzado a librarse de su influjo hasta tiempos relativamente recientes.

Cada vez se acumulan más evidencias científicas que obligan a abandonar los modelos “localizacionistas” o “geográficos” de las funciones mentales en el cerebro. Principalmente en las dos últimas décadas ha ido tomando fuerza un modelo integrado del funcionamiento cerebral en el que redes corticales de neuronas extensamente distribuidas interactúan entre sí. No hace mucho si una persona se lesionaba la zona frontal inferior izquierda conocida como área de Broca y presentaba como consecuencia un trastorno de su lenguaje expresivo se infería que esa área era la sede cerebral de ese tipo de lenguaje. Esa idea hoy se etiqueta de simplista. En nuestros días el área de Broca se considera una zona crítica de una extensa red neural cuya lesión produce síntomas de la afasia de Broca. Este cambio de modelo tiene importantes implicaciones sobre la comprensión del funcionamiento cerebral, del desarrollo cognitivo, la clínica de las lesiones corticales y la rehabilitación de las personas con lesiones cerebrales.

El cambio de modelos comenzó cuando en 1938 el discípulo de Ramón y Cajal, Lorente de No (Lorente de No, 1938), propuso la existencia de los “circuitos reverberantes”: conjuntos de neuronas que se activaban interactivamente ante la entrada de estímulos sensoriales o por actuaciones internas. Esta idea fue recogida por su discípulo Hebb (Hebb, 1949), quien ayudó a su divulgación.

A pesar de esta genial idea la neurología permaneció, en gran medida, unida a los esquemas “geográficos” del funcionamiento cerebral. Honrosas excepciones han sido, entre otros muchos, Antonio Fernández de Molina, Rodolfo Llinás y Joaquín Fuster. Es este último quien desde la primera edición de su libro sobre el lóbulo frontal (Joaquín M. Fuster, 1980) sostiene la existencia de redes de percepción – acción como un tipo específico de circuitos reverberantes. Su significado funcional es la unión de las redes neurales dedicadas a la percepción del cerebro posterior con las redes ejecutivas de la corteza frontal conformando lo que Fuster llama el ciclo percepción-acción, principio dinámico fundamental de los procesos mentales.

Este ciclo puede iniciarse con un estímulo externo, un cambio humoral del medio interno, una frase escuchada o un acto mental de cualquier tipo. Cuando recibimos un estímulo sensorial se analiza la información recibida en las redes perceptivas del córtex cerebral posterior. El producto de este primer análisis es transmitido a la corteza frontal. Las redes prefrontales ejecutivas integrarán estas informaciones para organizar actos, que producirán cambios en el mundo externo o en el interno. Estos cambios provocarán un nuevo análisis perceptivo que dará lugar a nuevas acciones, cerrándose así el ciclo percepción – acción, que funcio-

nará hasta que el organismo alcance sus objetivos. Un objetivo puede ser tanto la realización de una acción externa que solucione un problema, como un acto interno que lleve, por ejemplo, a desambiguar una percepción confusa o a alcanzar una nueva comprensión de un fenómeno (Joaquín M. Fuster, 2008). El principio básico de su funcionamiento es la interacción mediante comunicaciones bidireccionales entre áreas sensoriales y motoras, posibilitando funciones tales como la percepción, la memoria de trabajo y la representación mental, a la que la filosofía antigua llamaba imaginación, entendiéndola como algo activo.

4. Representación mental y trastorno de aprendizaje

De modo que el alma nada entiende (*intelligit*) sin la imaginación, de la misma manera que los sentidos nada sienten sin la presencia de lo sensible.²

Considerando solo aquellos que tienen un origen neurológico, los trastornos de aprendizaje en cualquier grado, son producidos por alteraciones de mecanismos neurales muy variados que pueden afectar a la percepción, la motricidad, el lenguaje, la lectura, la escritura o el cálculo. Sin embargo, estos trastornos tienen algo en común: la merma más o menos amplia de algún aspecto de la formación del significado (Muñoz-Ruata, 2008). Inspirándonos en el gran filósofo y médico cordobés Averroes, clasificamos los distintos aspectos del significado en tres grupos: los descriptivos, que estarían ligados al entendimiento receptivo, los operativos, que están ligados al entendimiento agente y los estimativos, ligados a las facultades estimativa y cogitativa³. Así por ejemplo, el significado de una navaja puede formarse en mi mente descriptivamente como un objeto alargado de hoja de metal y mango de madera, operativamente por sus posibilidades de cortar, raspar o pinchar, mientras que mi facultad estimativa me informaría de sus posibles riesgos además de su utilidad, proporcionando a mi facultad cogitativa elementos para decidir lo conveniente.

En el presente trabajo se pretende mostrar cómo manifestaciones neurofisiológicas de la percepción parecen relacionarse con la capacidad para la representación mental. Como se ha sugerido en el párrafo anterior, la formación de significados, y por tanto el verdadero aprendizaje, requiere una capacidad de representación mental suficiente.

5. Estudio neurofisiológico sobre percepción y representación mental

Un grupo de psicólogos discutía sobre si la prueba de dígitos inversos de la escala Wechsler se hacía utilizando la representación mental auditiva o imaginando visualmente los números oídos. Como se disponía de los potenciales evocados visuales de 196 alumnos con distinto grado de trastorno de aprendizaje se pensó que tal vez podrían servir para aclarar la cuestión.

² (Puig Montada, 2005)

³ Aunque la palabra “estimativa” se reservaba para el animal y la palabra “cogitativa” para el humano, en el presente trabajo tomo la licencia de utilizar de manera general la palabra “estimativa”.

¹ (Aristóteles, 2000) Libro tercero. Cap. V, 410a, 25.

Un potencial evocado visual es la reacción eléctrica de la corteza cerebral, especialmente de la occipital, pero no solo de ella, cuando le llega información visual. En neurofisiología se utiliza como estímulo, de manera estándar, un damero presentado en una pantalla cuyos cuadros cambian de blanco a negro y viceversa cada medio segundo. Promediando las reacciones eléctricas producidas por más de cien repeticiones del estímulo se obtiene un perfil gráfico que dibuja varias ondas. En lenguaje neurofisiológico al tiempo que tarda en producirse el máximo de la onda se le llama latencia y al voltaje que alcanza, amplitud. Con el modelo de exploración descrito, la onda más llamativa es positiva y se produce unos 100 milisegundos tras el estímulo. Por este motivo se la llama onda P100 o simplemente P1. La onda P1 refleja una fase temprana del procesamiento de la información visual en el cerebro.

En niños, el momento en el que aparece la onda P1, es decir, su latencia, parece relacionarse con el grado de dislexia (Breceļj, Strucl, & Raic, 1996; Lehmkuhle, Garzia, Turner, Hash, & Baro, 1993). También lo hace la disminución de la amplitud de la onda (Brannan, Solan, Ficarra, & Ong, 1998) lo que sugiere un déficit de procesamiento visual en áreas occipitales (Schulte-Korne, Bartling, Deimel, & Remschmidt, 1999). Este tema es aún discutido por lo que en una reciente revisión (Schulte-Korne & Bruder, 2010) se propone el uso de estímulos móviles y de bajo contraste para un diagnóstico neurofisiológico más seguro de la posible participación del sistema visual en una dislexia.

Algunos trabajos realizados con niños que presentaban síndrome de déficit de atención con hiperactividad han encontrado una amplitud disminuida y una latencia retrasada de la onda P1 con respecto a los grupos de control sanos (Karayanidis, *et al.*, 2000). Por el contrario, otros no han encontrado diferencias ni en latencia ni en amplitud. Sin embargo, cuando se analizaron los ritmos -oscilaciones eléctricas alrededor de los 40 hertzios (ciclos por segundo)- presentes en el momento de producirse la onda P1 se encontraron alteraciones claras en los niños con déficit de atención e hiperactividad que fueron interpretadas como indicadoras de deterioro del procesamiento visual temprano (Lenz, *et al.*, 2010). En niños con trastornos de aprendizaje general, Lux (Lux, 1977) encontró una alta correlación entre el retraso en la aparición de la onda P1 en los lóbulos parietales y la puntuación de un test que evaluaba su retraso escolar.

En alumnos dentro del rango de la discapacidad intelectual el voltaje de la onda P1 correlacionó con el cociente intelectual

(Munoz-Ruata, Gomez-Jarabo, Martin-Loeches, & Martinez-Lebrusant, 2000).

Como hemos visto en los ejemplos presentados, los potenciales evocados visuales se han relacionado con los trastornos de aprendizaje, específicos y generales, pero no con la capacidad de representación mental visual directamente. Por ello presentaremos a continuación ese estudio.

5.1. Estudio de la relación entre dígitos inversos y potenciales evocados visuales

Sujetos: Los 196 registros de potenciales evocados visuales se obtuvieron de alumnos con trastornos de aprendizaje desde un grado leve a otros que por su gravedad entran en el rango de la discapacidad intelectual. 13 de estos alumnos, 4 niñas y 9 niños, no fueron capaces de invertir el orden de dos dígitos oídos mientras que 16 alumnos, 6 niñas y 10 niños, fueron capaces de invertir el orden de 4 o más dígitos. Sus edades estaban comprendidas entre los 10 y los 17 años (media 14.4 ±2.1) sin diferencias significativas entre ambos grupos.

Material y métodos: Su cociente intelectual (CI) se midió con el test WISC-R (Wechsler, 1993). Los potenciales evocados visuales se obtuvieron tal y como prescriben los estándares internacionales actuales (Odom, *et al.*, 2010) en 21 electrodos.

Con la prueba estadística “t de Student” se compararon las medias de los voltajes y las latencias de la onda P1 entre el grupo de alumnos incapaz de invertir dos dígitos y los que invertían 4 o más. También se han hecho correlaciones entre los voltajes de las ondas y los cocientes intelectuales.

Resultados: Tal y como puede verse en la tabla 1 las diferencias de las medias de los voltajes entre ambos grupos son muy significativas en los tres electrodos occipitales con probabilidad de azar (p) de esta diferencia de 0.0012 o inferior. Es la zona cerebral en donde la onda P1 es más evidente y la tradicionalmente relacionada con el procesamiento temprano de la visión. El voltaje de los niños que hacen bien la prueba de invertir el orden de los dígitos es normal mientras que el de los que no invierten ninguno es significativamente inferior, lo que puede apreciarse gráficamente comparando las figuras 1 y 2. Las latencias fueron de 118 milisegundos tras el estímulo en ambos grupos.

Tabla 1.- Medias del voltaje de la onda P1 visual expresado en microvoltios (µV). Valor de la prueba “t de Student” y probabilidad de azar (p) de las diferencias de medias entre los grupos con puntuaciones en invertir dígitos =>4 y 0. (O1 es el electrodo occipital izquierdo, Oz el central y O2 el derecho)

Grupo	Dig. Inv.=>4	Dig. Inv.=0	Test de Student	
			t	p
Onda P1	Media (µV)	Media (µV)		
Electrodo O1	8,03 (± 4,53)	1,85 (± 1,97)	4,14	0,0007
Electrodo Oz	9,65 (± 4,65)	2,38 (± 3,31)	4,22	0,0006
Electrodo O2	9,29 (± 4,76)	2,46 (± 3,45)	3,85	0,0012

Figura 1.- Voltajes promedio de la onda P1 de los alumnos que invierten 4 o más dígitos y su mapa cerebral. El color rojo indica mayor voltaje positivo, los amarillos voltajes próximos a 0 y los azules voltajes negativos

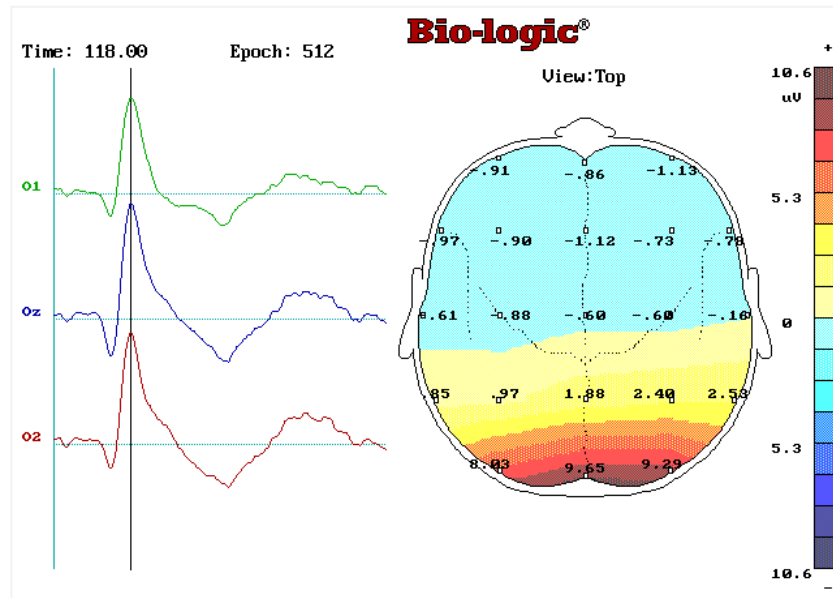
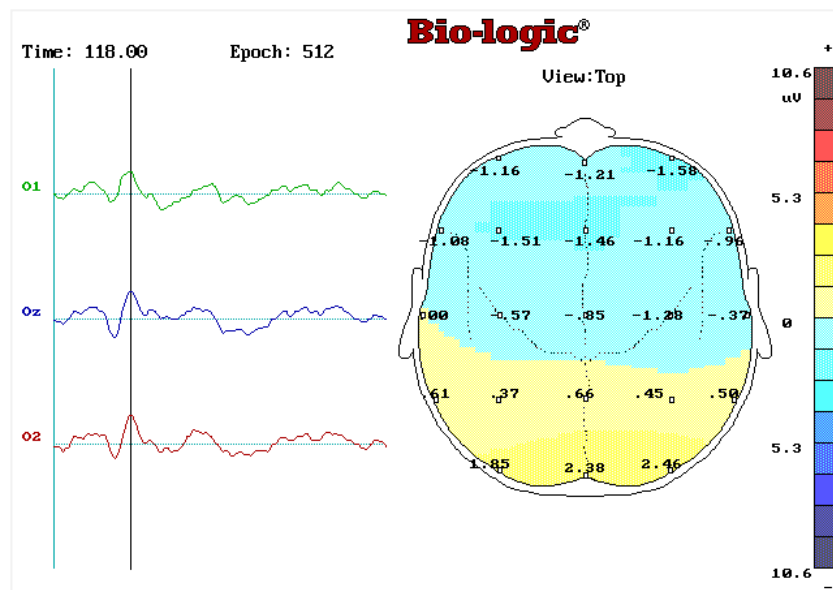


Figura 2.- Voltajes promedio de la onda P1 de los alumnos que no invierten dígitos y su mapa cerebral. El color rojo indica mayor voltaje positivo, los amarillos voltajes próximos a 0 y los azules voltajes negativos



Las correlaciones de Pearson (R) del voltaje de la onda P1 en la muestra total de 196 alumnos fueron significativas con los cocientes intelectuales manipulativo ($R=0,30$; $p=0,000$) y total ($R= 0,23$; $p=0,001$). La correlación con el cociente intelectual verbal se aproximó pero no alcanzó la significación estadística.

Tampoco la correlación entre la puntuación en la prueba de invertir el orden de los dígitos en los 196 alumnos y el voltaje de la onda P1 alcanzó la significación estadística ($R=0,13$; $p=0,065$). Sin embargo, esta correlación fue muy significativa con los 29 alumnos de los dos grupos con puntuaciones extremas en la prueba de dígitos inversos ($R=0,63$; $p=0,000$).

La media de los cocientes intelectuales fue inferior en los que no invertían el orden de los dígitos (CI verbal $45 \pm 8,1$, CI manipu-

lativo $52 \pm 9,1$) que en los que invertían 4 o más dígitos (CI verbal $77 \pm 16,9$, CI manipulativo $82 \pm 17,7$).

Discusión y conclusiones: Tanto en la tabla 1 como en las figuras 1 y 2 se aprecia un bajo voltaje en la onda P1 del potencial evocado visual en los alumnos que no son capaces de invertir el orden de dígitos oídos. Esto apoya la idea de que la inversión de los dígitos oídos se hace mediante la representación mental visual utilizando las áreas cerebrales perceptivas occipitales. Sin embargo, el potencial evocado visual inducido por cambios de luminosidad explora una reacción de las cortezas occipitales “obligada” por el estímulo e independiente de la actuación del sujeto, por lo que su relación con una prueba de imaginación parece extraña.

Hay hechos que apoyan la idea de que utilizamos las áreas occipitales del cerebro tanto para ver como para imaginar: uno es

que la extirpación de esas áreas cerebrales no solo priva de la visión consciente sino también de la imaginación visual (Farah, Levine, & Calvanio, 1988). Además, se han hecho pruebas psicofisiológicas que muestran que imaginación y percepción visual comparten las áreas cerebrales occipitales (Farah, 1985), aunque hay autores, que reconociendo estos hechos, abogan por la participación de otras áreas y señalan la importancia de las diferencias individuales (Kosslyn & Ochsner, 1994).

Volviendo a los clásicos, es sorprendente la coincidencia con la sugerencia de Aristóteles: “Y como la vista es el sentido por excelencia, la palabra «imaginación» (phantasia) deriva de la palabra «luz» (pháos) puesto que no es posible ver sin luz. Y precisamente porque las imágenes perduran son semejantes a las sensaciones...”⁴.

Observando las desviaciones estándar (representadas con el signo \pm) notamos que, aunque sus medias difieren significativamente, los grupos se superponen en las puntuaciones extremas; es decir, se da el caso de alumnos que invierten bien el orden de los dígitos y de otros que no lo hacen aun teniendo voltajes semejantes en la onda P1. Es poco probable que esto se deba a cuestiones técnicas sino más bien al hecho de que el ejercicio propuesto no depende solo de la capacidad de imaginación sino también de la atención o de las estrategias tanto de memoria como de representación que se empleen.

Las correlaciones de la onda P1 con los cocientes intelectuales, nos advierten de la influencia negativa de la disminución de la capacidad de imaginar visualmente sobre la inteligencia, aunque es posible que la merma de la inteligencia sea causada también por una disminución de la calidad de la percepción. En palabras de Empédocles: “...lo que está presente a la percepción aumenta a los hombres el conocimiento”⁵.

De momento podemos concluir que en alumnos con trastorno de aprendizaje pueden encontrarse potenciales evocados anómalos. Los trastornos de aprendizaje de nuestros alumnos que tienen los potenciales evocados visuales normales dependen, con toda probabilidad, de fenómenos ajenos a los estudiados aquí.

Por otra parte, cuando encontremos alumnos cuyos dibujos, o cualquier otro motivo, nos hagan sospechar problemas perceptivos visuales, como por ejemplo, rotaciones de imágenes o signos de simultagnosia visual⁶, deberemos explorar también si existe consecuentemente dificultad en la representación mental visual y valorar hasta qué punto todo ello justifica sus trastornos de aprendizaje con el fin de tomar las medidas pertinentes.

5.2. La sensación en acto

Cuando vemos una imagen la información que la constituye llega desde la retina del ojo al tálamo por el nervio óptico y desde allí a nuestra corteza visual. Pero ¿de dónde llega la información a la corteza visual cuando imaginamos? Tal vez podamos responder

⁴ Aristóteles, *De Anima*, libro tercero Cap. III, 429a, 5.

⁵ Empedocles, *Fr. B 106* (I 250, 21), Diels, H., and W. Kranz, 1960, *Die Fragmente der Vorsokratiker*, Berlin: Weidmannsche Verlagsbuchhandlung.

⁶ Dificultad para integrar los múltiples elementos de una forma o escena.

algo a esa pregunta siguiendo las vías visuales. Desde hace tres décadas sabemos que después de llegar a la corteza occipital las vías visuales se dividen en dos grandes haces, uno ventral y otro dorsal. De hecho esa división procede del tálamo en donde el haz ventral nace de unas neuronas de pequeño tamaño, por lo que también se le llama “parvocelular”, mientras que el dorsal nace de unas neuronas grandes, por lo que también se le llama “magnoelular” (Ungerleider & Mishkin, 1982). Fundamentándose en datos clínicos, Ungerleider y Mishkin propusieron que por los haces de conexión dorsal discurre la configuración espacial de las imágenes. Esta conexión se conoce también como “vía del dónde” e interviene importantemente en la orientación espacial de los movimientos en relación a los objetos vistos. Por los haces ventrales van los detalles parciales del objeto visto, esenciales para configurar su significado. A esta conexión se la conoce también como “vía de qué”. Evidencias posteriores han confirmado esta hipótesis aunque todavía es discutida por algunos y matizada por otros. En una conocida revisión sobre esta hipótesis Melvyn A. Milner y David Goodale recogieron una impresionante cantidad de evidencias anatómicas, neuropsicológicas, electrofisiológicas y conductuales que la confirman (Milner & Goodale, 1995).

Sin embargo, en aquella época se creía que las vías dorsal y ventral de la visión solo llegaban hasta el parietal una y al temporal otra, respectivamente. Ya en este siglo se estudió la llegada de ambas vías al lóbulo prefrontal. Bajo el punto de vista anatómico Carmen Cavada *et al.* describieron las conexiones del prefrontal con multitud de otras zonas cerebrales en el macaco. Encontraron que la modalidad sensorial visual conecta fundamentalmente con la zona orbitofrontal lateral (Cavada, Company, Tejedor, Cruz-Rizzolo, & Reinoso-Suarez, 2000).

Otros trabajos, realizados con humanos, midieron el flujo de la transmisión encontrando que la información sobre la configuración espacial de la vía dorsal llegaba al prefrontal unos 10 milisegundos antes que la información de detalles por la vía ventral (Foxy & Simpson, 2002). Podría pensarse que para percibir una cara primero nos llega al prefrontal una configuración espacial general por la “vía del dónde” que sirve de plantilla para colocar en ella, 10 milisegundos después, los detalles visuales que nos llegan por la “vía de qué”.

Recordemos en este punto que las zonas anteriores del cerebro están dedicadas a la actividad que pasa a los músculos desde la zona motora primaria, situada justo delante de la cisura de Rolando. Las áreas situadas por delante, denominadas premotoras, organizan el movimiento y las más anteriores, las prefrontales, planifican y organizan la acción interna y externa. Es decir, que la información visual que llega por las vías dorsal y ventral es reconstruida activamente en el prefrontal. Esta reconstrucción además de la información entrante usa plantillas: unas heredadas de nuestra especie y otras formadas por aprendizaje (Summerfield, et al., 2006).

Tenemos plantillas perceptivas para cualquier sentido. Con respecto a la visión, se puede suponer que la tendencia de los niños a dar forma humana a lo que ven es heredada. Es por eso por lo que un avión puede tener un ventilador en la nariz o una palmera, el pelo alborotado. Otras formas de percibir son aprendidas: si eres inglés, la primera sílaba del ladrido de un perro es “bau”; si eres español “guau”. El gallo dirá “cock-a-doodle-doo” a un inglés y “quiquiriquí” a un español; ambos jurarán que es eso lo que oyen. Simplemente su patrón perceptivo del sonido es distinto. Comprender esto es importante para enseñar y aprender idiomas: hemos de evitar interpretar sonidos extranjeros según nuestros clichés tal y como a veces hacemos, por ejemplo, cuando transformamos el sonido “w” inglés en el sonido “gu” español.

En la escuela son especialmente importantes los patrones perceptivos visuales de las letras que permiten un rápido reconocimiento y, en su caso, desambiguación. Se ha demostrado neurofisiológicamente que la percepción de un tipo concreto de estímulos, por ejemplo las letras, mejora con el entrenamiento (Brem, *et al.*, 2005). En estos experimentos las ondas de los potenciales evocados visuales mostraban que el esfuerzo requerido para reconocer las letras era en un principio mayor que el requerido para reconocer símbolos arbitrarios más sencillos. Con el entrenamiento en lectura esta tendencia se invertía conforme el niño iba mejorando su capacidad para leer. Este trabajo se replicó después estudiando niños con y sin dislexia (Maurer, *et al.*, 2007). En los niños disléxicos el cambio de los potenciales evocados relacionados con los patrones perceptivos durante el aprendizaje de la lectura es significativamente menor. En ambos grupos, niños con y sin dislexia, los errores de lectura correlacionaron significativamente con estos potenciales evocados. Los autores concluyeron que un análisis detallado de estos potenciales puede ser útil para evaluar las alteraciones de la formación de los patrones visuales de las letras en la dislexia.

Hemos viajado desde la corteza visual occipital hasta regiones prefrontales en donde hemos encontrado la aplicación de plantillas perceptivas a las informaciones visuales, que llegan por las vías dorsal y ventral, y que allí son integradas. Pero ¿hay algún camino de vuelta a las áreas occipitales? La respuesta es que sí. Hay evidencias electrofisiológicas y metabólicas de que el córtex prefrontal regula el procesamiento de la información visual en el occipital (Barcelo, Suwazono, & Knight, 2000). Por otra parte, trabajos recientes muestran una comunicación bidireccional de ambas zonas en la franja de los ritmos gamma -oscilaciones eléctricas alrededor de los 40 ciclos por segundo- durante la atención visual (Gregoriou, Gotts, Zhou, & Desimone, 2009) lo que podría relacionarse con el trabajo citado anteriormente en el que se encontraron alteraciones del ritmo gamma en los niños con déficit de atención e hiperactividad que fueron interpretadas como indicadores del deterioro del procesamiento visual temprano de estos niños.

Todo apunta a que la percepción se forma en grandes circuitos reverberantes en los que interactúan áreas sensoriales del córtex posterior con áreas de acción del córtex anterior, verdaderos circuitos de percepción - acción.

6. Circuitos de percepción⁷ - acción en trastornos de aprendizaje

La idea de que en algunos trastornos de aprendizaje puede haber un daño en las fases tempranas de la percepción visual encuentra su apoyo en trabajos realizados con potenciales evocados que estudian la reacción cerebral inmediata a estímulos visuales. Varios autores (Gasser, Pietz, Schellberg, & Kohler, 1988; Hakamada, Watanabe, Hara, & Miyazaki, 1981; Osaka & Osaka, 1980; Psatta, 1981; Zurron & Diaz, 1995), informaron de anomalías en estos potenciales evocados en sujetos con trastornos de aprendizaje o discapacidad intelectual. Además también los trabajos con potenciales eléctricos cerebrales provocados con estímulos más complejos que estudian fases posteriores del procesamiento

visual, han encontrado anomalías en estas poblaciones (Muñoz-Ruata, *et al.*, 2000; Sandman & Barron, 1986).

Las alteraciones de la percepción en alumnos con trastornos de aprendizaje han sido frecuentemente observadas pero su influencia sobre la cognición está poco evaluada. Por ello realizamos un estudio (Muñoz-Ruata, Caro-Martinez, Martínez Perez, & Borja, 2010) para intentar clarificar en alguna medida los mecanismos de estas alteraciones e intentar medir sus efectos sobre distintos modos de cognición con medios neurofisiológicos. Analizamos los componentes tempranos de la percepción visual en una tarea en la que se alternaban momentos de percepción pasiva (80%) con otros que exigían percepción activa. Buscábamos, en primer lugar, comprobar si con un modelo de exploración, en el que el alumno debía discriminar y seleccionar activamente un tipo de estímulo dentro de una serie de estímulos neutros, se pueden obtener potenciales evocados visuales tempranos diferentes en función de si requerían discriminación y selección activa o no. En segundo lugar, estudiar la relación con pruebas de percepción, asociación y razonamiento visual, tanto de los potenciales obtenidos en la percepción activa como en la pasiva, con el fin de ayudar al esclarecimiento de posibles mecanismos perceptivos cuya alteración podría producir o favorecer un déficit cognitivo y de evaluar la significación funcional de los potenciales evocados de los alumnos. En la prueba el estímulo activo era un triángulo ante cuya aparición alumno debía presionar el ratón de un ordenador. Ante cualquier otro estímulo no debía hacer nada. Se consiguieron 69 registros válidos de los cuales se midió la amplitud y la latencia de una onda frontal (onda N1a) y se correlacionó con los resultados de las pruebas de percepción, asociación y razonamiento analógico visual.

Los resultados nos sorprendieron pues la onda frontal analizada no solo se relacionaba con problemas de percepción visual, principalmente de simultagnosia visual (integración de imágenes) y cierre visual (Test de Collaruso Hamill), sino también, con mayor intensidad, con pruebas de relaciones semánticas (comprensión visual del test ITPA y conceptos del WISC-IV) y de razonamiento analógico con inferencia de reglas (asociación visual del test ITPA y matrices del WISC-IV). Estas relaciones solo se encontraron en el caso de los estímulos que requerían discriminación y selección activa pero no cuando el sujeto permanecía pasivo ante el estímulo. Tampoco se encontraron relaciones significativas de esta onda con las pruebas de tipo verbal.

Concluimos que la amplitud de la onda frontal estudiada podría ser un indicador de las capacidades de integración, asociación y razonamiento visual y que parte de las alteraciones perceptivas y de razonamiento visual observadas en nuestros alumnos podrían no depender directamente de alteraciones de las áreas sensoriales, sino de un fallo de la participación frontal en el proceso de construcción de los preceptos.

En mayo de 2012 apareció un estudio que confirmaba los hallazgos de nuestra publicación en un campo aparentemente alejado de la educación. En el departamento de Obstetricia y Ginecología del Centro Médico de la Universidad de Groningen en Holanda (Wiegman, *et al.*, 2012) se estudió un grupo de mujeres con antecedentes de eclampsia grave que, como se da con cierta frecuencia en esta enfermedad, se quejaban de problemas en la percepción visual. La eclampsia es una complicación grave de la enfermedad hipertensiva del embarazo que se caracteriza por la

⁷ "Percibir es verbo, acto" (Alvira, 1986)

aparición de convulsiones sin alteraciones neurológicas previas. Los autores del estudio observaron que el 35% de estas mujeres presentaban lesiones en la sustancia blanca frontal⁸ según aparecía en las imágenes obtenidas con resonancia magnética. Citando nuestra publicación relacionan estas alteraciones frontales con los trastornos perceptivos de estas mujeres comprobados después con pruebas específicas de percepción. El trabajo está calificado con el nivel II de evidencia, el mayor tras los meta-análisis. Los resultados de este trabajo subrayan la necesidad de valorar más las quejas de las mujeres así como de mejorar la terapia y la prevención de estas complicaciones.

7. Medidas de la comunicación entre las zonas de percepción y las de acción

Desde finales del siglo XX la idea de redes neurales ha ido sustituyendo a la idea de áreas cerebrales que funcionaban como módulos independientes. El concepto de redes neurales supone la existencia de comunicación tanto dentro de cada red como de las diversas redes entre sí para que el cerebro pueda funcionar de una manera integrada.

Actualmente se estudian las características de la conectividad cerebral en diversas patologías. Por ejemplo, en las personas con autismo parece haber una conectividad debilitada tanto en las conexiones a larga distancia como en las interhemisféricas, mientras que hay resultados contradictorios sobre si hay un exceso de conexiones locales (Palau-Baduell, Salvadó-Salvadó, Clouff-Torrentó, & Valls-Santassusana, 2012). Se han encontrado algoritmos de estudio de conectividad (Fuzzy synchronization likelihood) que permiten diferenciar a los niños con trastorno de déficit de atención con hiperactividad de los niños que no presentan esos síntomas (Ahmadlou & Adeli, 2011). En niños disléxicos es frecuente encontrar un deterioro de las conexiones rápidas occipito-temporales (Maurer, *et al.*, 2007).

No hemos encontrado estudios de conectividad en alumnos con trastornos no específicos de aprendizaje y mucho menos sobre la conectividad de sus redes de percepción – acción.

Podemos analizar las reacciones eléctricas de 69 alumnos del trabajo citado (Munoz-Ruata, *et al.*, 2010). Las imágenes promedio del grupo de la potencia eléctrica global que obtenemos, con las situaciones estimulables activa y pasiva, no difieren de las de un potencial evocado visual normal como el de la figura 1, apareciendo una activación típica predominantemente occipital.

Sin embargo, hemos citado varios autores (Gregoriou, *et al.*, 2009; Lenz, *et al.*, 2010) que han encontrado conexiones dentro de la banda gamma en oscilaciones eléctricas de alrededor de los 40 hertzios. Gracias a la generosísima y gratuita aportación del grupo Brainstorm y especialmente de Francois Tadel y Sylvain Baillet del “McConnell Brain Imaging Centre” de Montreal, disponemos de los programas informáticos con las herramientas matemáticas necesarias para analizar la actividad cerebral a distintas frecuencias (Tadel, Baillet, Mosher, Pantazis, & Leahy, 2011). El procedimiento es complejo. Para el lector experto diremos que se ha realizado una “transformada wavelet de Morlet” que permite calcular la potencia eléctrica en un tiempo y frecuencia

determinados. Después se ha calculado la topografía de las potencias sobre la superficie cerebral utilizando los algoritmos de cálculo de fuentes eléctricas propuestos por Roberto Pascual-Marqui; procedimiento conocido como “Loreta” (Pascual-Marqui, Esslen, Kochi, & Lehmann, 2002). El resultado final de analizar la actividad cerebral a 40 hertzios durante la producción de la onda P1 del potencial evocado visual se expone en la figura 3. Las unidades de medida de la escala colorimétrica son μV^2 por 10^{-13} .

Tal y como se esperaba en el promedio de los ensayos de “visión activa” hay una actividad aumentada en zonas occipitales y prefrontales. En ambas situaciones, activa y pasiva, se observa una activación parietal inferior cuya explicación podría estar relacionada con los procesos de integración de los elementos constituyentes de las imágenes ya que las disfunciones en esa zona producen simultagnosia visual, que dificulta o impide la percepción de “Gestalt” globales (Ritzinger, Huberle, & Karnath, 2012) o altera la percepción de las relaciones espaciales entre los elementos de una escena (Jacob & Jeannerod, 2007). Este fenómeno se suele acompañar de problemas de cálculo; hecho que ha vuelto a ser comprobado en niños recientemente (Ashkenazi, Rosenberg-Lee, Tenison, & Menon, 2012) mediante resonancia magnética funcional.

Una cuestión que surge ante la activación prefrontal es si esta tiene relación con la visión o es un fenómeno independiente tal vez relacionado con el hecho de que el alumno debe presionar un botón ante el tipo de estímulo convenido. Tal vez, por tanto, podría tratarse de una *preparación para la acción*, función propia de los lóbulos prefrontales. Otra posibilidad es que el prefrontal se activara debido a la consigna condicional que se dio a los alumnos: “Si aparece esta imagen, entonces aprieta el botón; si aparece otra imagen cualquiera, entonces no hagas nada”. Es conocido desde los trabajos de Luria que las lesiones prefrontales alteran el pensamiento condicional y también ha sido comprobado en personas sanas que el prefrontal participa decisivamente en el razonamiento condicional (Noveck, Goel, & Smith, 2004; Reverberi, *et al.*, 2010). La preparación para la acción que se realiza en el prefrontal es casi siempre condicional.

Para responder a esta pregunta podemos calcular el grado de sintonía entre los electrodos occipitales izquierdo, derecho y central (O1, O2 y Oz) con los prefrontales izquierdo, derecho y frontal central (Fp1, Fp2 y Fz) medida con el coeficiente de coherencia a 40 hertzios lo que demostraría interdependencia funcional entre esas áreas.

Los resultados promedio del grupo estudiado, obtenidos utilizando el programa del grupo de Montreal, se muestran en la figura 4. Las zonas estudiadas no solo están sintonizadas sino que, en conexiones largas, son las que lo están con más intensidad. Todos los coeficientes, correspondientes a las conexiones de la figura 4, están por encima de 0,98 sobre un máximo de 1. Por tanto podemos concluir que hay una gran probabilidad de que ambas zonas participen conjuntamente en el proceso perceptivo.

⁸ La sustancia blanca está formada por fibras nerviosas de color claro por estar cubiertas de mielina.

Figura 3.- El promedio del grupo de la actividad cerebral a 40 hertzios durante la visión activa temprana (P1), en el que aparecen activadas conjuntamente las áreas occipitales y prefrontales, contrasta con la visión pasiva

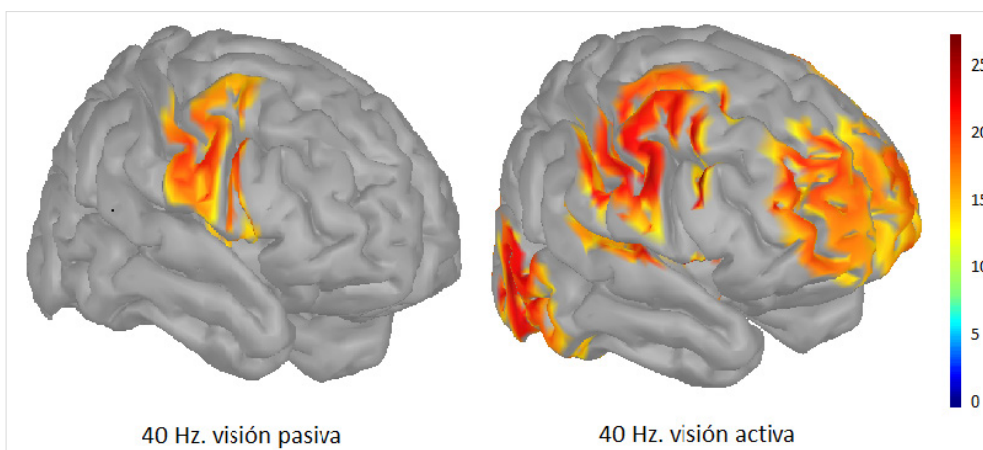
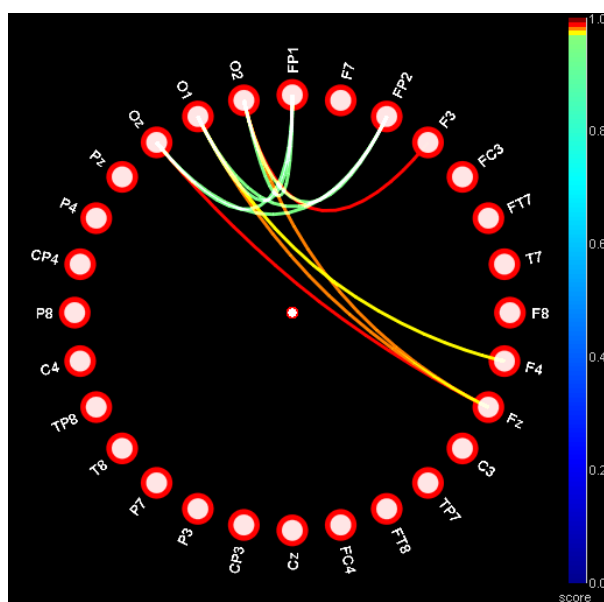


Figura 4.- Coherencia entre los electrodos occipitales (O1, O2 y Oz), los prefrontales (Fp1 y Fp2) y frontales (Fz, F4 y F3). La escala de color ha sido modificada para que se aprecien diferencias entre las coherencias ya que todas las presentadas son mayores de 0.98. La escala oscila entre 0 y 1



Este trabajo debe continuarse haciendo comparaciones múltiples entre las medidas obtenidas en grupos de alumnos con y sin trastornos de aprendizaje, grupos de cada tipo de síndrome, y grupos con trastornos específicos. Además se deberán relacionar con funciones cognitivas con el fin de conocer mejor su significación y valor diagnóstico.

Pierre Jacob y Marc Jeannerod propusieron un modo semántico *vs.* un modo pragmático de procesar la información visual (Jacob & Jeannerod, 2007). En el modo semántico predominaría la vía visual del “qué” o vía ventral y estaría orientado a la comprensión del significado de lo visto, mientras que en el modo pragmático predominaría la vía dorsal o vía del “dónde” que se encargaría también de informar al sistema motor de las características espaciales del escenario en el que se realizaría el movimiento.

Sería incorrecto pensar que lo que se denomina visión pasiva y activa en este trabajo corresponde a los modos de procesar semántico y pragmático ya que las correlaciones que encontramos (Munoz-Ruata, *et al.*, 2010) entre actividad prefrontal y las medi-

das de asociación semántica y de razonamiento analógico prueban lo contrario. Es decir, tanto para el modo semántico de procesar la información visual como para el pragmático es necesaria la visión activa y por tanto para comprender los significados debemos realizar una acción interna en la que parecen implicados nuestros lóbulos prefrontales. Pero, ¿por qué el prefrontal?

8. La simulación interna como circuito de percepción - acción

Marc Jeannerod (Jeannerod, 2001) propuso la hipótesis de que el sistema motor es parte de una red de simulación interna que es activada por situaciones tendentes directa o indirectamente a la acción. Joaquín Fuster (Fuster, J.M., 2008) presenta una doble vía, interna y externa, en su esquema de los circuitos de percepción - acción. Evidentemente la vía interna es la vía de la simulación. Explicado de una manera simple es como si los animales muy primitivos tuviesen un sistema nervioso que reacciona directamente a un estímulo con patrones preconfigurados genética-

mente mediante una actuación muscular. En algún momento de nuestra evolución el impulso nervioso, o parte de él, dejó de ir a los músculos y se desvió hacia el propio cerebro. Desde las zonas motoras del cerebro comenzaron a recrearse las imágenes necesarias para mejorar la eficacia de la acción. Antes de ser ejecutadas, las acciones se simulaban en la mente, lo que supone una acción interna programada, dirigida y regulada por el órgano que lo hacía también con las acciones externas, las áreas prefrontales. Nuestra mente es, por tanto, hija de la simulación mental de la actividad y, en el sentido filosófico tradicional, es especialmente hija de nuestra imaginación. Jeannerod añade la matización de que esta acción recreada en la simulación mental puede ser propia o bien observada en otras personas e incluso en objetos.

9. La energía del sistema de percepción acción

Cuando Carmen Cavada *et al.* de la Universidad Autónoma de Madrid (Cavada, *et al.*, 2000) describieron las conexiones de la parte inferior del córtex prefrontal, técnicamente el córtex orbitofrontal, encontraron no solo conexiones con las áreas sensoriales sino también con el sistema límbico: el hipocampo, la amígdala y el córtex cingulado entre otras zonas.

9.1. Estimación y etiquetado emocional

Hasta hace poco tiempo ha sido fácil encontrar textos que afirmaban que la memoria se encontraba en el hipocampo. Joaquín Fuster lleva muchos años argumentando que esto no es así (Joaquín M. Fuster, 1980; J.M Fuster, 2008; J. M. Fuster, 2010), que la memoria es una propiedad de redes neurales y por tanto está ampliamente distribuida: la sensorial, en las zonas posteriores del cerebro; la motora y ejecutiva, en las zonas anteriores y zonas motoras subcorticales. En realidad todos los sistemas que conforman el sistema nervioso tienen memoria. Personalmente me atrevería a decir que todos los sistemas vivos tienen memoria. ¿Cuál fue entonces la causa de la primera opinión? Como a menudo ha ocurrido con el sistema nervioso, se pensó que si la lesión de una zona alteraba una función es que la función residía en esa zona. Es algo así como creer que la imagen del televisor se produce en el cable de la antena ya que, si se corta, la imagen desaparece. Una explicación plausible, que ha estado en la mente de muchos neurocientíficos desde hace años, ha sido formulada en este siglo. El sistema límbico, sobre todo el hipocampo y la amígdala, etiqueta emocionalmente la información (Richter-Levin & Akirav, 2003). Sea por ser emocionalmente positiva o negativa, el proceso de etiquetado hace que los sistemas del cerebro fijen la información. Lo indiferente se olvida, lo relevante se recuerda. Recientemente se ha revisado esta propuesta en relación al síndrome de estrés postraumático (Bergado, Lucas, & Richter-Levin, 2011), en el que la persistencia de recuerdos en relación a la emoción es muy evidente. La hipótesis del marcado emocional se ha considerado demostrada en experimentos sobre recuerdo de expresiones faciales en situaciones interpersonales (Bell, *et al.*, 2012). A partir de estos experimentos los autores argumentan sobre la importancia del etiquetado emocional en los distintos tipos de aprendizaje.

9.2. El matrimonio entre emoción e información de formas

En general se asume que la zona prefrontal del cerebro es el director de orquesta de la melodía de nuestra mente. Si es así, las conexiones con el sistema límbico deben actuar de alguna manera

para armonizar el procesamiento de la información de las formas, cuyo origen está en los sentidos, con la información emocional “estimativa”, cuyo origen está en sistemas internos.

El procesamiento de la información de lo que coloquialmente conocemos como pensamiento se hace en gran medida con ritmos gamma alrededor de los 40 hertzios; el hipocampo funciona principalmente con ritmos theta que son más lentos. Se ha encontrado que los ritmos theta del hipocampo se acoplan a los ritmos gamma, los sostienen y los modulan (Fujisawa & Buzsaki, 2011) durante el procesamiento de la información y especialmente en la fijación de contenidos en la memoria (Schack, Vath, Petsche, Geissler, & Moller, 2002). Haciendo una simplificación didáctica se podría decir que es como si cada 8 o 10 ciclos hubiese un empujón emocional procedente del sistema límbico que mantiene al pensamiento. Fenoménicamente a este empujón le podríamos llamar “interés” sin el cual el pensamiento se extingue. Además parece ser que estas formas de sincronización son necesarias para que se produzca la vivencia que llamamos “consciencia” (John, 2005), es decir, la que nos hace conscientes del mundo interno y del externo, y añadiríamos, posibilita la voluntad.

Es común en la literatura afirmar la necesidad de controlar las emociones. Según lo dicho, parece que en realidad son las emociones las que lo controlan todo. De hecho hay investigaciones que describen cómo los ritmos del hipocampo “arrastran” a los del pensamiento (Sirota, *et al.*, 2008) y cómo estructuras más relacionadas con procesos vitales mediados por hormonas, como el hipotálamo, regulan a su vez las estructuras límbicas (Kirk, 1998). La información vital y emocional es necesaria para formar significados a partir de las formas que llegan por los sentidos. Un león no significaría lo mismo si prescindimos de las emociones de miedo y peligro. En personas con discapacidad intelectual encontramos con cierta frecuencia el curioso fenómeno de poder relatar un peligro y sin embargo no sentirlo ni reaccionar ante él. Incluso en muchas ocasiones está ausente lo que en medicina se llama “el componente pático del dolor”, es decir, la emoción ligada al dolor.

No obstante, parece que no es del todo exacto que estemos necesariamente regulados por los sistemas vitales y emocionales. La naturaleza nos ha dotado de vías de doble sentido. Hay investigaciones que han estudiado neurofisiológicamente los dos caminos llegando a la conclusión de que cognición y emoción se regulan mutuamente (Blair, *et al.*, 2007). Especialmente se han estudiado los mecanismos que, actuando desde las zonas prefrontales y frontales, están implicados en la supresión de las emociones negativas.

10. Conclusiones

El conocimiento está basado en la construcción de significados que se realiza en las redes de percepción - acción, redes que incluyen los sistemas neurales que procesan la información emocional. Pocas cosas hemos dicho que no estuviesen en los escritos de los pensadores clásicos sobre las facultades del alma. La diferencia más radical es que ahora podemos medir sus manifestaciones y aplicar esas mediciones al conocimiento de las causas de los trastornos de aprendizaje.

Excede el espacio de este trabajo, y de las posibilidades del autor, desarrollar las implicaciones educativas de los aspectos comentados, aunque, dicho de manera sintética, sugieren la idea de enseñar a mirar activamente buscando los significados de lo que vemos en las tres dimensiones funcionales de las redes neurales de percepción - acción. Una primera dimensión es la descriptiva, cuya finalidad es comprender las formas, es decir, cómo son las cosas. Otra es operativa, que se proyecta hacia el futuro, cuya

finalidad es comprender las posibilidades que nos aportan las cosas. Finalmente, una tercera dimensión es estimativa, que pone en relación nuestra experiencia pasada con las posibilidades de futuro, y cuya finalidad es comprender cómo nos afectan las cosas, su relevancia y conveniencia para nuestros propósitos, ventajas, inconvenientes o peligros. No solo hay que educar al alumno en los sentimientos y emociones fuertes sino también en los sutiles, es decir, hay que educar para la sensibilidad. En este contexto la creatividad en el arte, la empresa o la ciencia se resume en dos palabras: pasión y forma. Confío en que el verdadero maestro sabrá trasladar las reflexiones al aula.

Referencias bibliográficas

- AHMADLOU, M., & ADELI, H. (2011): "Fuzzy synchronization likelihood with application to attention-deficit/hyperactivity disorder". *Clin EEG Neurosci*, 42(1), 6-13.
- ALVIRA, R. (1986): "Reflexiones sobre el concepto de percepción en la filosofía aristotélica". *Anuario Filosófico*, 19, pp. 157-162.
- ARISTÓTELES, (2000): *Acerca del alma* (T. Calvo Martínez, Trans.). Gredos, Madrid.
- ASHKENAZI, S.; ROSENBERG-LEE, M.; TENISON, C., & MENON, V. (2012): "Weak task-related modulation and stimulus representations during arithmetic problem solving in children with developmental dyscalculia". *Dev Cogn Neurosci*, 2 Suppl 1, S152-166.
- BARCELO, F.; SUWAZONO, S., & KNIGHT, R. T. (2000): "Prefrontal modulation of visual processing in humans". *Nature Neuroscience*, 3(4), pp. 399-403.
- BELL, R.; BUCHNER, A.; ERDFELDER, E.; GIANG, T.; SCHAIN, C., & RIETHER, N. (2012): "How specific is source memory for faces of cheaters? Evidence for categorical emotional tagging". *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 38(2), pp. 457-472.
- BERGADO, J. A.; LUCAS, M., & RICHTER-LEVIN, G. (2011): "Emotional tagging--a simple hypothesis in a complex reality". *Prog Neurobiol*, 94(1), pp. 64-76.
- BLAIR, K. S.; SMITH, B. W.; MITCHELL, D. G.; MORTON, J.; VYTHILINGAM, M.; PESSOA, L., et al. (2007): "Modulation of emotion by cognition and cognition by emotion". *Neuroimage*, 35(1), pp. 430-440.
- BRANNAN, J. R.; SOLAN, H. A.; FICARRA, A. P., & ONG, E. (1998): "Effect of luminance on visual evoked potential amplitudes in normal and disabled readers". *Optom Vis Sci*, 75(4), pp. 279-283.
- BRECELJ, J.; STRUCL, M., & RAIC, V. (1996): "Do visual neurophysiological tests reflect magnocellular deficit in dyslexic children?" *Pflugers Arch*, 431(6 Suppl 2), R299-300.
- BREM, S.; LANG-DULLENKOPF, A.; MAURER, U.; HALDER, P.; BUCHER, K., & BRANDEIS, D. (2005): "Neurophysiological signs of rapidly emerging visual expertise for symbol strings". *Neuroreport*, 16(1), pp. 45-48.
- CAVADA, C.; COMPANY, T.; TEJEDOR, J.; CRUZ-RIZZOLO, R. J., & REINOSO-SUAREZ, F. (2000): "The anatomical connections of the macaque monkey orbitofrontal cortex". A review. *Cereb Cortex*, 10(3), pp. 220-242.
- FARAH, M. J. (1985): "Psychophysical evidence for a shared representational medium for mental images and percepts". *J Exp Psychol Gen*, 114(1), pp. 91-103.
- FARAH, M. J.; LEVINE, D. N., & CALVANIO, R. (1988): "A case study of mental imagery deficit". *Brain Cogn*, 8(2), pp. 147-164.
- FOXE, J. J., & SIMPSON, G. V. (2002): "Flow of activation from V1 to frontal cortex in humans. A framework for defining "early" visual processing". *Exp Brain Res*, 142(1), pp. 139-150.
- FUJISAWA, S., & BUZSAKI, G. (2011): "A 4 Hz oscillation adaptively synchronizes prefrontal, VTA, and hippocampal activities". *Neuron*, 72(1), pp. 153-165.
- FUSTER, J. M. (1980): *The prefrontal cortex : anatomy, physiology, and neuropsychology of the frontal lobe*. Raven Press, New York.
- , (2008): *The Prefrontal Cortex* (Fourth ed.). Academic Press, London:
- , (2010): "The reticular paradigm of cortical memory". *Rev Neurol*, 50 Suppl 3, S3-10.
- GASSER, T.; PIETZ, J., SCHELLBERG, D., & KOHLER, W. (1988): "Visual evoked potentials of mildly mentally retarded and control children". *Dev Med Child Neurol*, 30(5), pp. 638-645.
- GREGORIOU, G.G., GOTTS, S.J.; ZHOU, H., & DESIMONE, R. (2009): "High-frequency, long-range coupling between prefrontal and visual cortex during attention". *Science*, 324(5931), pp. 1207-1210.
- HAKAMADA, S., WATANABE, K.; HARA, K., & MIYAZAKI, S. (1981): "The evolution of visual and auditory evoked potentials in infants with perinatal disorder". *Brain Dev*, 3(4), pp. 339-344.
- HEBB, D. O. (1949): *The organization of behavior; a neuropsychological theory*. New York: Wiley.
- JACOB, P., & JEANNEROD, M. (2007): "Précis of Ways of Seeing, the Scope and Limits of Visual Cognition". *Psyche*, 13(2):
- JEANNEROD, M. (2001): "Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition". *Neuroimage*, 14(1 Pt 2), S103-109.
- JOHN, E.R. (2005): "From synchronous neuronal discharges to subjective awareness?". *Prog Brain Res*, 150, pp. 143-171.
- KARAYANIDIS, F.; ROBAEY, P.; BOURASSA, M.; DE KONING, D.; GEOFFROY, G., & PELLETIER, G. (2000): "ERP differences in visual attention processing between attention-deficit hyperactivity disorder and control boys in the absence of performance differences". *Psychophysiology*, 37(3), pp. 319-333.
- KIRK, I.J. (1998): "Frequency modulation of hippocampal theta by the supramammillary nucleus, and other hypothalamo-hippocampal interactions: mechanisms and functional implications". *Neurosci Biobehav Rev*, 22(2), pp. 291-302.
- KOSSLYN, S.M., & OCHSNER, K.N. (1994): "In search of occipital activation during visual mental imagery". *Trends Neurosci*, 17(7), pp. 290-292.
- LEHMKUHLE, S.; GARZIA, R.P.; TURNER, L.; HASH, T., & BARO, J.A. (1993): "A defective visual pathway in children with reading disability". *N Engl J Med*, 328(14), pp. 989-996.
- LENZ, D.; KRAUEL, K.; FLECHTNER, H.H.; SCHADOW, J.; HINRICHS, H., & HERRMANN, C.S. (2010): "Altered evoked gamma-band responses reveal impaired early visual processing in ADHD children". *Neuropsychologia*, 48(7), pp. 1985-1993.
- LORENTE DE NO, R. (1938): "Analysis of the activity of the chains of internuncial neurons". *Journal of Neurophysiology*, 1(3), pp. 207-244.
- LUX, J. P. (1977): "Detection of learning disabilities using the visually evoked cortical potential". *J Pediatr Ophthalmol*, 14(4), pp. 248-253.
- MAURER, U.; BREM, S.; BUCHER, K.; KRANZ, F.; BENZ, R.; STEINHAUSEN, H.C., et al. (2007): "Impaired tuning of a fast occipito-temporal response for print in dyslexic children learning to read". *Brain*, 130(Pt 12), pp. 3200-3210.
- MILNER, A.D., & GOODALE, M.A. (1995): *The visual brain in action*. Oxford ; New York: Oxford University Press.
- MUNOZ-RUATA, J.; CARO-MARTINEZ, E.; MARTINEZ PEREZ, L., & BORJA, M. (2010): "Visual perception and frontal lobe in intellectual disabilities: a study with evoked potentials and neuropsychology". *J Intellect Disabil Res*, 54(12), pp. 1116-1129.
- MUNOZ-RUATA, J.; GOMEZ-JARABO, G.; MARTIN-LOECHES, M., & MARTINEZ-LEBRUSANT, L. (2000): "Neurophysiological and neuropsychological differences related to performance and verbal abilities in subjects with mild intellectual disability". *J Intellect Disabil Res*, 44 (Pt 5), pp. 567-578.
- MUÑOZ-RUATA, J. (2008): "Capacidad y discapacidad intelectual: Una propuesta semiótico-neurológica". *Ethos Educativo*, 41, pp. 77-98.

- NOVECK, I. A.; GOEL, V., & SMITH, K. W. (2004): "The neural basis of conditional reasoning with arbitrary content". *Cortex*, 40(4-5), pp. 613-622.
- ODOM, J. V.; BACH, M.; BRIGELL, M.; HOLDER, G.E.; MCCULLOCH, D.L.; TORMENE, A.P., *et al.* (2010): "ISCEV standard for clinical visual evoked potentials" (2009 update). *Doc Ophthalmol*, 120(1), pp. 111-119.
- OSAKA, M., & OSAKA, N. (1980): "Human intelligence and power spectral analysis of visual evoked potentials". *Percept Mot Skills*, 50(1), pp. 192-194.
- PALAU-BADUELL, M.; SALVADÓ-SALVADÓ, B.; CLOFENT-TORRENTÓ, M., & VALLS-SANTASUSANA, A. (2012): "Autismo y conectividad neural". *Rev Neurol*, 54 (Supl 1), S31-S39.
- PASCUAL-MARQUI, R.D.; ESSLEN, M.; KOCHI, K., & LEHMANN, D. (2002): "Functional imaging with low-resolution brain electromagnetic tomography (LORETA): a review". *Methods Find Exp Clin Pharmacol*, 24 Suppl C, pp. 91-95.
- PSATTA, D.M. (1981): "Visual evoked potential habituation in mental deficiency". *Biol Psychiatry*, 16(8), pp. 729-740.
- PUIG MONTADA, J. (2005): "Averroes: Comentario mayor al libro Acerca del alma de Aristóteles". Traducción parcial. *Anales del Seminario de Historia de la Filosofía*, 22, pp. 65-109.
- REVERBERI, C.; CHERUBINI, P.; FRACKOWIAK, R.S.; CALTAGIRONE, C.; PAULESU, E., & MACALUSO, E. (2010): "Conditional and syllogistic deductive tasks dissociate functionally during premise integration". *Hum Brain Mapp*, 31(9), pp. 1430-1445.
- RICHTER-LEVIN, G., & AKIRAV, I. (2003): "Emotional tagging of memory formation--in the search for neural mechanisms". *Brain Res Brain Res Rev*, 43(3), pp. 247-256.
- RITZINGER, B.; HUBERLE, E.; & KARNATH, H.O. (2012): "Bilateral theta-burst TMS to influence global gestalt perception". *PLoS One*, 7(10), e47820.
- SANDMAN, C. A., & BARRON, J. L. (1986): "Parameters of the event-related potential are related to functioning in the mentally retarded". *Int J Neurosci*, 29(1-2), pp. 37-44.
- SCHACK, B.; VATH, N.; PETSCHKE, H.; GEISSLER, H. G., & MOLLER, E. (2002): "Phase-coupling of theta-gamma EEG rhythms during short-term memory processing". *Int J Psychophysiol*, 44(2), pp. 143-163.
- SCHULTE-KORNE, G.; BARTLING, J.; DEIMEL, W., & REMSCHMIDT, H. (1999): "Attenuated hemispheric lateralization in dyslexia: evidence of a visual processing deficit". *Neuroreport*, 10(17), pp. 3697-3701.
- SCHULTE-KORNE, G., & BRUDER, J. (2010): "Clinical neurophysiology of visual and auditory processing in dyslexia: a review". *Clin Neurophysiol*, 121(11), pp. 1794-1809.
- SIROTA, A.; MONTGOMERY, S.; FUJISAWA, S.; ISOMURA, Y.; ZUGARO, M., & BUZSAKI, G. (2008): "Entrainment of neocortical neurons and gamma oscillations by the hippocampal theta rhythm". *Neuron*, 60(4), pp. 683-697.
- SUMMERFIELD, C.; EGNER, T.; GREENE, M.; KOEHLIN, E.; MANGELS, J., & HIRSCH, J. (2006): "Predictive codes for forthcoming perception in the frontal cortex". *Science*, 314(5803), pp. 1311-1314.
- TADEL, F.; BAILLET, S.; MOSHER, J.C.; PANTAZIS, D.; & LEAHY, R.M. (2011): "Brainstorm: a user-friendly application for MEG/EEG analysis". *Comput Intell Neurosci*, 2011, 879716.
- UNGERLEIDER, L.G., & MISHKIN, M. (1982): "Two cortical visual systems". In D. Ingle, M. A. Goodale & R. J. W. Mansfield (Eds.), *Analysis of visual behavior* (pp. 549-586): Cambridge, Mass.: MIT Press.
- WECHSLER, D. (1993): *WISC-R: Escalas de Inteligencia para Niños* (versión española). TEA, Madrid.
- WIEGMAN, M.J.; DE GROOT, J. C.; JANSONIUS, N.M.; AARNOUDSE, J. G., GROEN, H., FAAS, M.M., *et al.* (2012): "Long-term visual functioning after eclampsia". *Obstet Gynecol*, 119(5), pp. 959-966.
- ZURRON, M., & DIAZ, F. (1995): "Auditory and visual evoked potentials in individuals with organic and cultural-familial mental retardation". *Am J Ment Retard*, 100(3), pp. 271-282.

El autor

Jorge Muñoz Ruata

Es Doctor en Medicina. Psiquiatra dedicado a los trastornos de aprendizaje en la Fundación PROMIVA y profesor de Intervención Psicopedagógica en Deficiencia Mental en el Centro Universitario Villanueva de la Universidad Complutense de Madrid. Durante 12 años ha sido coordinador y profesor de los cursos de formación del profesorado. Ha participado en varios libros sobre educación, psiquiatría y neurociencia en editoriales nacionales y extranjeras. Ha dirigido varios proyectos de investigación sobre neurociencia y educación, y es autor de numerosas publicaciones científicas y ponencias.



Pere Brunsó Ayats

Universitat de Barcelona

Resumen

Santiago Ramón y Cajal fue un niño díscolo y mal estudiante. No obstante, su infancia puede considerarse profundamente educadora, un milagro de la voluntad. A pesar de sus travesuras, el pequeño Santiago realiza una gigantesca obra de autoeducación. Si se suprimen sus diabluras infantiles no es posible explicar su obra científica.

Asombro, actitud interrogativa ante la Naturaleza y revelación: he aquí los pasos del saber científico que le llevaron al premio Nobel de Medicina en 1906. Renuncia a la propuesta de ser nombrado Ministro de Instrucción Pública: "Era quimera acometer la magna obra de nuestra elevación pedagógica".

El padre de la Neurociencia nos avanzó lo que podríamos llamar el paradigma educativo cajaliano para el siglo XXI: "Es preciso sacudir energicamente el bosque de las neuronas cerebrales adormecidas".

Palabras clave: Díscolo, conducta traviesa, voluntad, autoeducación, asombro, actitud interrogativa, revelación, Premio Nobel, Ministro de Instrucción Pública, quimera pedagógica, elevación pedagógica, neuronas cerebrales adormecidas.

Abstract

Santiago Ramón y Cajal was a rebellious boy and a bad student. However, we can state that he had a thoroughly educational childhood due the miracle of willpower. Despite his mischievous behaviour, little Santiago managed to make a wonderful job on self-education. Without his childish pranks it would be impossible to explain his scientific works.

Astonishment, an interrogative attitude towards Nature and revelation: these are the steps in scientific knowledge which lead him to the Nobel Prize in Medicine in 1906. He declined the proposal of being appointed Minister of Education: "It would be an chimera to undertake the immense task of our pedagogical elevation".

The father of Neuroscience anticipated us on what we could call the cajalian education paradigm for the 21st century: "It is essential to thoroughly shake the forest of sleepy brain cells".

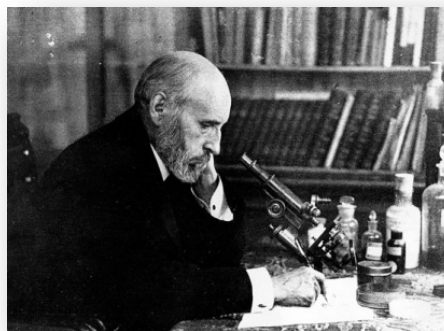
Keywords: *ebellious boy, mischievous behaviour, willpower, self-education, astonishment, interrogative attitude, revelation, Nobel Prize, Minister of Education, pedagogical chimera, pedagogical elevation, sleepy brain cells.*

En "La infancia de Ramón y Cajal contada por él mismo" D. Santiago reconoce que fue un niño díscolo y mal estudiante. No obstante, su infancia puede considerarse profundamente educadora: la educación del pequeño Santiago fue un milagro de la voluntad; a fuerza de tenacidad consiguió abrirse su propio camino. En medio de sus travesuras, en las que nunca había perversidad, sino más bien indicios de una naturaleza fértil, Santiago realiza, más o menos conscientemente, una gigantesca obra de autoeducación: "Pronto nuestras picardías y diabluras me dieron triste celebridad y era el jefe de una pandilla de traviesos que, sobre todo, cuando se trataba de una hazaña en que hubiese de entrar algo la mecánica, reconocían mi superioridad. Tuve la honra de figurar rápidamente en el Índice de las malas compañías".

El pequeño Santiago fue adquiriendo vigor físico a fuerza de constancia: "Gracias a la continua gimnasia brincaba como un saltamontes, trepaba como un mono, corría como un gamo, escalaba una tapia como una lagartija y, en fin, manejaba el palo, la flecha y, sobre todo, la honda con tino y maestría". Pero el pequeño Santiago también contemplaba asiduamente los fenómenos de la naturaleza, como el eclipse de 1860; se asombraba ante la fuerza ciega de la naturaleza, como el rayo que cayó en la escuela. Le impresionaron dos inventos: el ferrocarril y la fotografía; a partir de los 8 años crecían sus aficiones artísticas; le gustaba criar animales para observar sus curiosos instintos que le llenaban de admiración, pero jamás los atormentaba; se apasionaba por los pájaros y sus nidos; exploró peligrosamente un nido de águilas; dominaba el dibujo y el colorido, que le serían útiles, más tarde, como investigador; ejercitaba la destreza manual en el juego con los camaradas; construía con la habilidad de un primitivo salvaje, armas y utensilios: "el estampido del cañón de madera que construí tuvo como consecuencia dar con mis huesos en la cárcel del lugar"; contrajo el hábito de largas lecturas; se emocionó con dos

libros: Robinson Crusoe y Don Quijote; se inició, escondido en un granero, en anatomía con el estudio de los huesos; entró de manco de barbería y, posteriormente, de aprendiz de zapatero; castigado en el "cuarto oscuro", hizo un descubrimiento físico y la Física le pareció la ciencia de las maravillas; descubrió el poder maravilloso de las Matemáticas en el libro de J. Fabre "Le ciel": "Vi cómo la "ciencia del espacio" había conseguido medir la dimensión y determinar la forma de la Tierra, fijar la distancia y el tamaño de la luna, averiguar el volumen y la lejanía del sol, determinar la forma de las órbitas planetarias, conocer la elevación y anchura de una montaña sin remontarla, fijar la posición de un barco perdido en el mar...; odiaba la Gramática latina; mantuvo siempre viva y constante su inventiva.

Todo ello quedará integrado, más tarde, en su laboratorio de



científico y en su personalidad de biólogo y médico admirable. "Si suprimimos sus diabluras infantiles no es posible explicar su obra científica", concluye Luis de Zulueta en el prólogo.

Los “Recuerdos de mi vida” de Cajal constituyen una lectura más extensa y más apasionante que “La infancia de Ramón y Cajal contada por él mismo”. Los “Recuerdos” muestran la progresión ascendente, como señaló Pedro Laín Entralgo en “Cajal y el problema del saber”, de sus asombros precientíficos (“1.ª parte: Infancia y adolescencia”) y de sus asombros científicos (“2.ª parte: Historia de mi labor científica”).

Un primer asombro se manifiesta ante la naturaleza cósmica (en especial, ante el eclipse de sol de 1860 y ante el rayo que cayó en la escuela); un segundo asombro es ante el artificio mecánico (la pólvora, el ferrocarril, la fotografía); el tercer asombro, ante la ciencia (la Física, la ciencia de las maravillas: la óptica, la electricidad, el magnetismo y las Matemáticas, con su poder maravilloso): “El Universo, tanto en los dominios de lo infinitamente grande como en el arcano de lo infinitamente pequeño, está construido con arreglo a las normas de una sabia geometría y de una admirable dinámica”.

Las “raggione matematiche” de Leonardo da Vinci y la “lingua matemática” en que Galileo Galilei veía escrito el libro de la Naturaleza, reviven en el alma del admirativo Santiago.

Asombro también por el cuerpo animal y humano. Toda su futura ciencia histológica tuvo su principio en la capacidad de su espíritu para hallar “admirables” los despojos que manejaba como disector de cadáveres, hasta llegar al definitivo y fecundo “culto al cerebro, esa obra maestra de la vida”: “Comencé a deletrear con delectación el admirable libro de la organización interna y microscópica del cuerpo humano”.

Asombro, en fin, ante la dialéctica, ante el poder de la palabra. Cada hombre debe forjar “en caliente y sobre la marcha” su propia hipótesis personal. La hipótesis es una interrogación interpretativa de la naturaleza. Para estimular la aparición de hipótesis de trabajo en la mente del aspirante a sabio, Cajal apuntó seis famosas reglas. Su “hipótesis cumbre” tuvo lugar siendo catedrático de Histología en la Facultad de Medicina de la Universidad de Barcelona, en el año 1888: “Declaro que la nueva verdad (“la teoría de la neurona”) laboriosamente buscada y tan esquiva durante dos años de vanos tanteos surgió de repente en mi espíritu como una revelación”. Asombro, actitud interrogativa y revelación: he ahí los pasos del saber científico que le llevaron al Premio Nobel de Medicina en 1906.

En el prólogo a la segunda edición de sus “Recuerdos” reconoce que “me proponía ofrecer al público cierta crítica razonable de nuestro régimen docente, mostrar los vicios de la enseñanza y de la educación: “Mi autobiografía puede inspirar a aquellas personas sinceramente preocupadas por el arduo problema de la educación nacional. Asistía a la escuela, pero atendía poco y aprendía menos. No trato de disculpar mis errores —confieso claramente que del resultado de mis estudios entonces fui el único responsable— pero debo decir que la manera cómo se entendía la enseñanza tuvo también mucha parte en mi conducta. Nos hacían aprender de memoria las lecciones, al pie de la letra, y como yo no descollaba en la facultad de repetir con las mismas palabras lo que estudiaba, mi falta de memoria se tomó como falta de aplicación y los castigos llovieron sobre mí. Como único método pedagógico reinaba allí el memorismo puro. Desgraciadamente ocurría lo mismo en los institutos. El sistema era general -¡qué digo!- lo es todavía”.

“Mi verdadero maestro fue mi padre. Mi instrucción elemental era bastante buena gracias a las lecciones de mi padre”. La

intervención severa de su padre, médico, ante él y ante sus profesores fue determinante en la educación de Santiago. Su padre ya había reparado en ello. Prevenía a sus preceptores y profesores, diciéndoles: “Tengan ustedes cuidado con el chico. De concepto lo aprenderá todo; pero no le exijan ustedes las lecciones al pie de la letra, porque es encogido de expresión. Discúlpenle ustedes si en las definiciones cambia palabras empleando voces poco propias. Déjenle explicarse, que él se explicará”.

En 1906, D. Segismundo Moret, jefe del partido liberal, quiso hacer a D. Santiago Ramón y Cajal Ministro de Instrucción Pública. D. Santiago tuvo la debilidad de apuntarle algunas reformas encaminadas a desperezar la enseñanza española de su largo letargo. “Cuando esperaba yo que Moret se mostrara asustado ante un plan de reformas que implicaba la demanda a las Cortes de créditos cuantiosos, me contestó jubiloso: “Estamos perfectamente de acuerdo. Usted será mi Ministro de Instrucción Pública”.

Semanas después, D. Santiago escribió a D. Segismundo retirándole su promesa y excusando lo mejor posible su informalidad. “Era quimera acometer la magna obra de nuestra elevación pedagógica”.

Cajal denunció, más tarde, “el gran error pedagógico sancionado por ley” de la pésima distribución de las asignaturas sin tener en cuenta la edad, es decir, la fase reflexiva de la evolución mental de los alumnos, que consideraba de capital trascendencia en la función educadora. Añádase otro error: la forma excesivamente abstracta en que se exponía la enseñanza de las ciencias. “¿Por qué los pedagogos y los promotores de los planes de enseñanza no tienen en cuenta estas verdades?”.

Pero el padre de la Neurociencia moderna, en una intuición o “revelación” verdaderamente genial, nos avanzó lo que podríamos llamar el paradigma educativo cajalano para el siglo XXI, el siglo del cerebro, o la Neurociencia aplicada, cien años después, a la Instrucción Pública. Un paradigma educativo sustentado en tres axiomas:

- Primero: “Excitar la curiosidad de las tiernas inteligencias, ganando a la par para la obra docente el corazón y el intelecto del alumno”.
- Segundo: “Sacudir enérgicamente el bosque de las neuronas cerebrales adormecidas”.
- Tercero: “Fabricar cerebros originales: he aquí el gran triunfo del pedagogo”.

El autor

Pere Brunso Ayats

Especialista en Neurodidáctica, ha desarrollado un prototipo de “unidad neurodidáctica” que se ha aplicado a una parte del currículo de ESO. Ha desarrollado igualmente protocolos didácticos de mejora de la competencia lectora sobre una base neurodidáctica en la Cátedra de Didáctica General y Organización Educativa del Dr. Joan Mallart (Universidad de Barcelona)

Experiencias educativas

CÓMO ENSEÑAR NEUROCIENCIA A PROFANOS

TEACHING NEUROSCIENCE TO LAYPERSONS

Carmen Cavada

Departamento de Anatomía, Histología y Neurociencia, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Madrid

Resumen

Este artículo presenta planes prácticos y concretos para educar al público en general, incluyendo en particular a maestros y escolares, en temas de Neurociencia. Tales planes incluyen actividades presenciales en forma de charlas o coloquios y, sobre todo, actividades basadas en demostraciones y visitas a laboratorios de investigación en Neurociencia. Se propone la participación de jóvenes estudiantes de programas de doctorado en Neurociencia y de profesionales expertos en Neurociencia. Finalmente, se plantea la necesidad de educar a base de páginas web idóneas y se ofrecen soluciones concretas sobre cómo hacerlo.

Abstract

This article presents specific and practical plans to educate the public at large, and in particular teachers and schoolchildren, in Neuroscience topics. The plans include face-to-face activities, such as talks and discussions, and in particular, activities based on demonstrations and visits to Neuroscience research laboratories. The participation of young graduate students engaged on Neuroscience Doctoral Programs and of Neuroscience experts is suggested. Finally, the need to educate through appropriate web pages is presented and explicit means to meet this need are offered.

La Neurociencia es el resultado de la convergencia de muchas disciplinas científicas en torno a un objetivo común: comprender la composición, estructura, función y disfunción del sistema nervioso, el órgano vivo más complejo, espléndido y admirable de la naturaleza.

El término Neurociencia y, sobre todo, el enfoque conceptual asociado a él, cuajó en 1969 al fundarse la “Sociedad de Neurociencia” (Society for Neuroscience –SfN–) en América del Norte. A partir de entonces, la SfN ha crecido desde los 500 miembros a los más de 40.000 actuales. La Sociedad Española de Neurociencia (SENC) se constituyó en 1985, aunque este arranque estuvo

precedido por varias “reuniones de neurobiólogos españoles” en la primera mitad de los años ochenta del siglo XX. Actualmente, la SENC cuenta con 1.000 miembros y forma parte del Foro Europeo de Sociedades de Neurociencia (FENS), que agrupa a 19.000 neurocientíficos y que nació en 1998. Las sociedades de Neurociencia son actualmente las más pujantes y activas; no en vano concitan el secular interés humano por comprender la naturaleza de sus sensaciones, de su capacidad de moverse, de conmovirse, de tomar decisiones o de crear nueva belleza.

Figura 1.- Demostración de cómo se montan cortes de cerebro en portaobjetos de vidrio para luego ser teñidos y observados al microscopio



Fuente: fotografía tomada por la autora en la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Madrid durante la Semana de la Ciencia 2012. Taller “2012 - Año de la Neurociencia: ¿Cómo trabajamos los neurocientíficos?”

Es un hecho, además, que la Neurociencia ha alcanzado la calle; el término se usa en multitud de ámbitos, desde los medios de comunicación a entornos en principio alejados de ella, como los de la economía, la filosofía o la teología. La web contiene numerosos blogs y páginas en torno a la Neurociencia. Y sin embargo, el sistema nervioso sigue estando mal comprendido por los no especialistas; aún se habla de la indescifrable y misteriosa “caja negra”, y en el ambiente circulan numerosos “neuro-mitos” en torno al cerebro y a su funcionamiento. Es evidente que quienes nos dedicamos a la Neurociencia tenemos el deber de divulgar y hacer accesibles a no especialistas los saberes de la Neurociencia; la necesidad está en la calle.

El objetivo de este artículo es brindar ideas prácticas y concretas para educar en Neurociencia a profanos en esta disciplina, incluyendo en particular a maestros y a escolares. Considero muy afortunado que el Consejo Escolar del Estado haya optado por tender puentes entre la Neurociencia y la Educación en esta nueva etapa de su revista, que coincide además con la celebración del 2012 - Año de la Neurociencia en España.

Figura 2.- Un grupo de jóvenes observa el aspecto de los cerebros de diversas especies animales animados por una estudiante del Programa de Doctorado en Neurociencia que les explica cuestiones evolutivas relacionadas con la forma de esos cerebros



Fuente: fotografía tomada por la autora en la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Madrid durante la Semana de la Ciencia 2012. Taller “2012 - Año de la Neurociencia: ¿Cómo trabajamos los neurocientíficos?”

Mis propuestas se apoyan en la experiencia de haber organizado talleres y demostraciones de divulgación en el contexto de la Feria y de la Semana de la Ciencia de Madrid, así como en la experiencia de haber impartido numerosas charlas a grupos de adultos no especialistas sobre diversos temas de Neurociencia. En todas estas actividades he percibido la curiosidad y fascinación de niños, jóvenes y adultos cuando se asoman al sistema nervioso y vislumbran la grandeza que encierra (Figuras 1-4). Por eso estoy convencida de que el éxito de divulgar la Neurociencia está garantizado.

Figura 3. Una joven estudiante del Programa de Doctorado en Neurociencia explica cuestiones del cerebro a los visitantes del Taller “2012 - Año de la Neurociencia: ¿Cómo trabajamos los neurocientíficos?”



Fuente: fotografía tomada por la autora en la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Madrid durante la Semana de la Ciencia 2012. Taller “2012 - Año de la Neurociencia: ¿Cómo trabajamos los neurocientíficos?”

Creo que para comunicar eficazmente cómo está organizado el sistema nervioso y cómo funciona es imprescindible la interacción directa, presencial, de neurocientíficos con el público. Esto se puede hacer de diversas maneras:

- Mediante charlas y coloquios divulgativos en colegios, centros culturales y foros similares
- Mediante exposiciones y talleres sobre métodos o temas de Neurociencia
- Mediante visitas a laboratorios de investigación en Neurociencia

Las dos últimas formas de divulgación son probablemente las más eficaces porque la visualización directa y en acción de instrumentos, tejidos, abordajes o modelos, transmite mejor que ningún discurso la esencia del quehacer de los neurocientíficos (Figuras 1-4). Además, estas demostraciones permiten el diálogo directo e informal, ideal para la formulación de dudas y preguntas y para la clarificación de ideas. Las charlas divulgativas son, sin duda, también útiles, en particular porque permiten abordar temas concretos y desarrollarlos de forma sistemática.

Para estas demostraciones y actividades divulgativas presenciales propongo involucrar de forma muy destacada a estudiantes de Doctorado en Neurociencia (Figuras 2-4). Soy testigo de que su entusiasmo e ingenio son contagiosos y, contando con una buena organización y dirección, transmiten los temas con gran eficacia y competencia. La participación en tales actividades de divulgación debería ser, en mi opinión, un componente obligatorio de las becas de postgrado; esto redundaría en beneficio de todos, no sólo de los destinatarios, sino en particular de los doctorandos, por el rico adiestramiento que adquieren al difundir sus conocimientos y experiencia.

Figura 4. Una joven estudiante del Programa de Doctorado en Neurociencia explica la organización del cerebro humano y de la médula espinal a los visitantes del Taller “2012 - Año de la Neurociencia: ¿Cómo trabajamos los neurocientíficos?”



Fuente: fotografía tomada por la autora en la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Madrid durante la Semana de la Ciencia 2012. Taller “2012 - Año de la Neurociencia: ¿Cómo trabajamos los neurocientíficos?”

La implementación de las actividades antedichas requiere responsables, organización y recursos. La obligación de la organización recae, a mi entender, por un lado, en agentes públicos y privados de Educación, como el Consejo Escolar del Estado y departamentos afines de ministerios y conserjerías, y por otro, en las instituciones y asociaciones con competencia en Neurociencia, incluyendo universidades, centros de investigación, y de forma destacada la Sociedad Española de Neurociencia y otras sociedades afines. En el marco de tales diálogos se organizan Semanas de la Ciencia y Ferias de Ciencia en que encajan de forma natural demostraciones y otras actividades divulgativas sobre Neurociencia.

Además de estas actividades puntuales, de cara a conseguir objetivos educativos más estables, sobre todo entre maestros y escolares, deben organizarse ciclos de actividades más prolongadas. De nuevo, los interlocutores para la organización de estas actividades deben ser los agentes públicos y privados de Educación, por un lado, y los agentes expertos en Neurociencia, universidades y sociedades científicas, en particular, por otro. En este contexto, creo que deben priorizarse actividades con contenidos

sistematizados dirigidas específicamente a maestros, debido a su protagonismo en la educación escolar. Me consta el éxito de alguna iniciativa en esta línea llevada a cabo en la Comunidad de Madrid. Es muy importante y necesario prolongar y extender estas experiencias de formación de maestros en temas de Neurociencia. Propongo involucrar en esta tarea formativa a profesores universitarios competentes en Neurociencia.

En paralelo a las actividades presenciales expuestas hasta aquí, es necesario ofrecer información cualificada, interesante y asequible sobre temas de Neurociencia en la web. Aquí tenemos un amplísimo terreno pendiente de cultivar. Fuera de nuestro país, la Fundación DANA, con sede en los EEUU, a través de la DABI (DANA Alliance for Brain Initiatives) y de su rama europea, la EDAB (European DANA Alliance for the Brain), tienen como misión informar sobre los progresos y beneficios de la investigación en el cerebro y diseminar esta información de forma accesible. Además de ofrecer información en la web, organizan cada año la Semana del Cerebro en el mes de marzo, una iniciativa de ámbito global dirigida a educar en Neurociencia al público de todas las edades. Esta iniciativa DABI y EDAB es un buen ejemplo de interacción entre una buena información en la web y las imprescindibles actividades presenciales comentadas más arriba.

Pienso que en España deberíamos aprovechar la experiencia y recursos divulgativos de EDAB, cuya web y contenidos están en inglés. Propongo que se establezca una colaboración con EDAB de cara a implementar contenidos educativos sobre Neurociencia en la web.

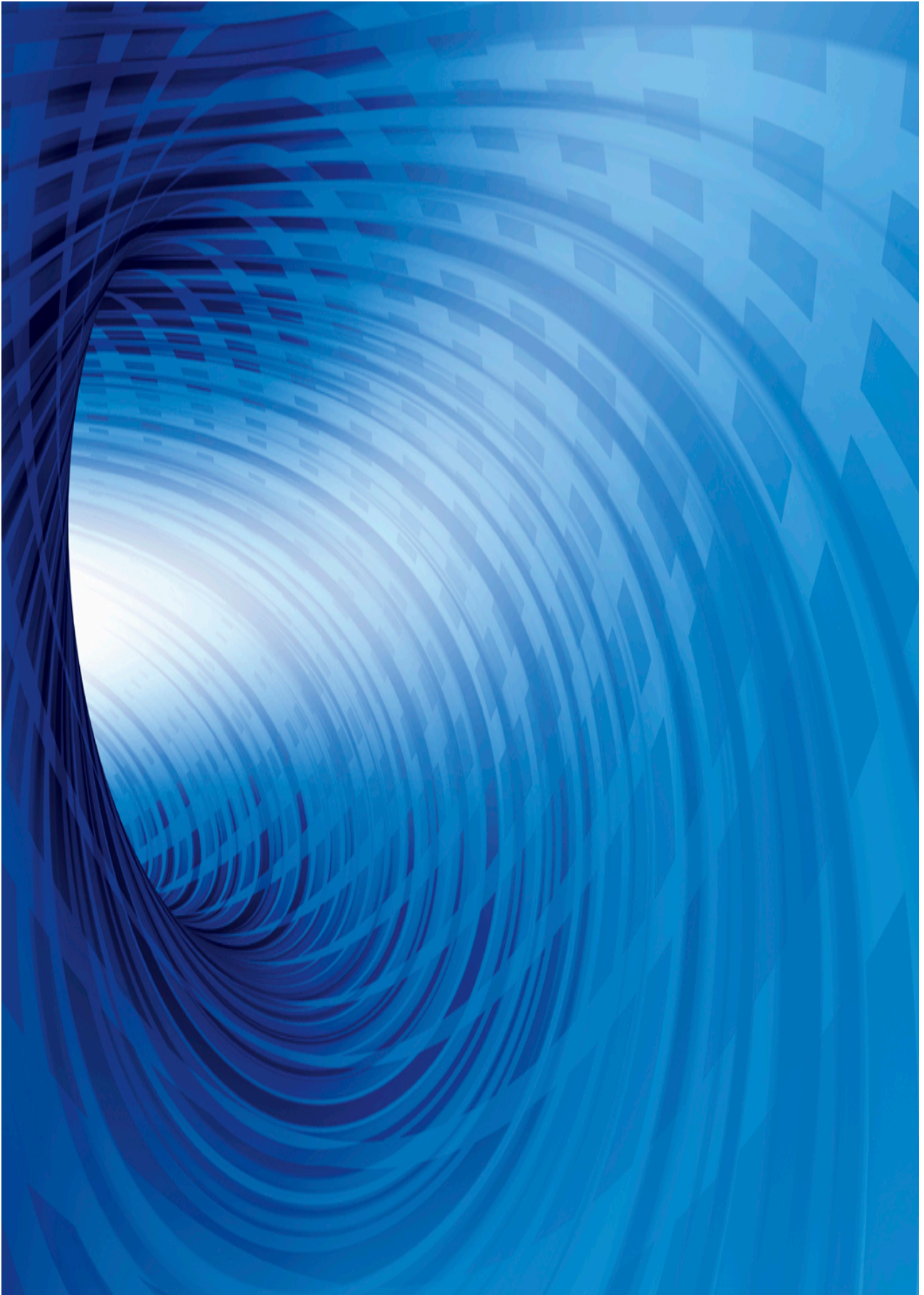
Los párrafos que anteceden contienen propuestas concretas y factibles para educar en Neurociencia a escolares, maestros y público en general en España. Disponemos en nuestro país de expertos cualificados e idóneos para llevarlas a cabo. Resta organizarlas y asignar los recursos económicos necesarios. Insisto en la necesidad de asignar recursos económicos; sin ellos no se conseguirá materializar ni consolidar ninguna iniciativa; no se conseguirá el objetivo de educar en Neurociencia a los españoles. Hemos ser conscientes, no obstante, de que contamos con lo fundamental, las ideas y las personas, es decir, neurocientíficos expertos y en formación, que pueden protagonizar las iniciativas formativas dirigidas a maestros, escolares y público en general.

Quiero confiar en que seremos capaces de aprovechar y cultivar este caudal de recursos humanos para ofrecer a los españoles una formación seria, amable e interesante sobre el órgano que nos hace humanos.

La autora

Carmen Cavada Martínez

Es Doctora en Medicina y Cirugía y Catedrática de Anatomía Humana y Neurociencia en la Universidad Autónoma de Madrid. Su trabajo de investigación se ha centrado en el estudio de la arquitectura del cerebro de los primates, incluido el humano, abordando en particular las regiones más directamente relacionadas con las llamadas “funciones cerebrales superiores”. Más recientemente, estudia también regiones involucradas en la regulación de los movimientos. Ha realizado estancias de investigación en las Universidades Erasmus (Holanda), Yale (EEUU), Memphis (EEUU), Bolonia (Italia) y Emory (EEUU). Ha sido y es miembro del Comité Editorial de diversas revistas, evaluadora de programas y proyectos científicos y miembro de juntas directivas de sociedades científicas internacionales y nacionales. Como Presidenta de la Sociedad Española de Neurociencia (2009-2011) logró la proclamación de 2012 como Año de la Neurociencia en España por el Congreso de los Diputados.



LA NEUROCIENCIA EN LA FORMACIÓN INICIAL DE EDUCADORES: UNA EXPERIENCIA INNOVADORA

NEUROSCIENCE TEACHER'S TRAINING: AN INNOVATING EXPERIENCE

M^a Pilar Martín Lobo

Centro Universitario Villanueva. Universidad Complutense de Madrid (www.villanueva.edu)

Resumen

Este artículo describe la puesta en marcha de un Título Universitario en Neurociencia para alumnos de Magisterio y muestra sus percepciones del Programa, mediante el análisis de los resultados de una Encuesta para la evaluación (alumnos de primero, segundo, tercer curso y graduados en Magisterio) que forma parte de un Informe Diagnóstico sobre la titulación de Neurociencia aplicada a la Educación. Los resultados obtenidos muestran el alto índice de satisfacción de los alumnos sobre el programa realizado y respaldan una experiencia innovadora para la formación inicial de los educadores en neurociencias y educación.

Palabras clave: Neurociencia aplicada a la educación, planes de estudio, formación del profesorado, innovación.

Abstract

This paper describes the implementation of a university degree in Neuroscience for students coming from a teacher's training degree and shows their perceptions of the program and the results of a survey to evaluate a diagnostic report of the degree in Neuroscience applied to Education (students in first, second, third year as well as graduate. The obtained results show the high level of satisfaction of the students on the program implemented and supports an innovative experience for the initial training of such teachers with both neuroscience and education.

Keywords: Neuroscience applicated to education, programmes, teaching education, innovation.

1. Introducción

La mayoría de los estudios publicados sobre la aplicación de la neurociencia a la educación reflejan los esfuerzos de los investigadores por diseñar propuestas de enseñanza-aprendizaje en las que los alumnos puedan aplicar críticas constructivas e integren sus experiencias en diversos contextos (Litwin, 2008). La realidad que se está viviendo en algunos centros educativos muestran la eficacia que tiene la integración y aplicación de diferentes disciplinas: la neurociencia aporta conocimiento sobre los aspectos biológicos del sistema nervioso que están en la base de los aprendizajes, la neurociencia cognitiva informa de las representaciones mentales y la educación aplica los procesos de enseñanza-aprendizaje (Diamond, 2007) para preparar profesionales tanto en la investigación como en la práctica educativa.

Si abordamos el ámbito concreto de aplicación, observamos que muchos aspectos del neurodesarrollo se enriquecen con las aportaciones neurocientíficas desde la educación infantil hasta el final de la adolescencia en el marco escolar. Es muy conocida la importancia que tiene la neurociencia en la educación infantil; sin embargo, las experiencias de aplicación en educación primaria y secundaria resultan tan interesantes y efectivas como en las etapas tempranas. Disponemos ya de conocimientos relevantes que inciden directamente en el enfoque, los contenidos, las metodologías y la práctica educativa. En este sentido, si nos centramos, por ejemplo, en la etapa de primaria, conocemos la importancia de estudios electrofisiológicos que muestran que de 7 a 9 años se produce un incremento brusco de la actividad en las regiones frontales y se da una gran integración de conexiones de larga distancia en el hemisferio derecho (Case, 1985), lo cual indica la necesidad de presentar los contenidos de forma global y secuencial, así como del desarrollo de funciones ejecutivas. En este periodo, además, se dan otras características importantes: el alumno es capaz de ocuparse de la información en diversas áreas

del cerebro al mismo tiempo y requiere coordinación y una amplia mielinización, así como un aumento de neurotransmisores (Bressler, 2002); la automatización es cada vez más fácil y rápida, como ocurre con la lectura o en el desarrollo de habilidades motoras gruesas, y se produce un aumento de velocidad de procesamiento, ya que libera espacio para ejecutar otras tareas simultáneamente (Schneider, Pressly, 1997). De los 9 a los 12 años maduran los procesos de control atencional, que provocan una mejora de la atención selectiva (Goldberg, Maurer, Lewis, 2001) y de los 10 a los 12 años se da un incremento de la sustancia gris de las regiones parietales y frontales, implicadas en la memoria de trabajo (Campo P, Maestú F, Ortiz T., et al. 2005). Estas informaciones a las que ahora podemos acceder, nos han llevado a plantearnos cómo pueden incidir en el conocimiento de los alumnos y cómo podemos aplicarlas para la prevención, el desarrollo y la atención a sus necesidades específicas (Armstrong, 2012).

Las experiencias de aplicación de la neurociencia en las aulas muestran que existen diferentes factores neuropsicológicos que inciden en el rendimiento escolar. En este sentido, en un estudio sobre las Bases Neuropsicológicas del fracaso escolar, aplicado a 200 alumnos de Primaria de la población escolar española, patrocinado y financiado por el CIDE (Centro de Investigación y Documentación Educativa, MECD), en el año 2000 y liderado desde la Universidad Complutense de Madrid, se mostraron diferencias significativas en más de cuarenta factores neuropsicológicos entre 100 alumnos de primaria con buen rendimiento escolar, buen nivel de lectura y de lenguaje y 100 alumnos con dificultades de aprendizaje (Santiuste, V.; Martín Lobo, M.P.; Ayala, C., 2000, publicado en 2005): factores relacionados con habilidades visuales, auditivas y vestibulares, de niveles táctiles y motricidad, gnosias espacio-temporales, lenguaje, memoria, lectura y escritura. Las conclusiones de este estudio mostraron la importancia de conocer estos procesos por parte de los profesores y la prometedora posibilidad que suponía la incorporación de programas para

la prevención de las dificultades de aprendizaje y el desarrollo de capacidades para todos los alumnos en edad escolar. Otro estudio mostró diferencias significativas de habilidades neuropsicológicas entre alumnos de primaria con dificultades de aprendizaje, alumnos con buen rendimiento escolar y alumnos con altas capacidades (Martín Lobo, 2004), The 9th Conference of the European Council for the high ability, Pamplona, 2004.

Por otra parte, se han realizado investigaciones y otros estudios que muestran la mejora significativa de la lectura, de la escritura y del aprendizaje, mediante la aplicación de programas en el ámbito escolar y en colaboración con los psicólogos escolares, de habilidades visuales, auditivas, motrices, de desarrollo lateral, de lenguaje y de memoria que se muestran en diferentes tesis doctorales, comunicaciones en congresos (III Congreso Internacional de Neuropsicología y Educación de 1999) y en publicaciones diferentes (Miguel, 2010; Martín Lobo, 1999; Martín Lobo, 2004; García-Castellón, Martín Lobo, Rodríguez y Vallejo, 2004; Ochoa, 2011).

Estudios actuales, como el de la OECD ("Organisation for Economic Co-operation and Development", 2007) -publicado por el CERI ("Centre for Educational Research and Innovation") y titulado *Understanding the Brain: The Birth of a Learning Science*- reflejan la gran aportación que supone la Neurociencia a la educación actual. En este estudio participaron expertos en neurociencia y educación de países de la OECD y de la Unión Europea.

Estas investigaciones y experiencias han favorecido la creación de Centros e Instituciones dedicadas a la investigación y a la formación de los educadores en Alemania (Ulm University), Holanda (Lab Denmark), Inglaterra (Cambridge University), Estados Unidos (Sackler Institute), Japón (Riken Brain Science Institute) y otros.

Además, los programas Máster actuales dan oportunidades de formación a muchos profesores, como el "Máster universitario de Neuropsicología y Educación" de la UNIR (Universidad Internacional de la Rioja), con un enfoque de aplicación a la práctica educativa (<http://www.unir.net/master-neuropsicologia-educacion.aspx>), iniciado con anterioridad en el Centro Universitario Villanueva, adscrito a la Universidad Complutense de Madrid, y que se imparte también en la Universidad Panamericana de México (<http://www.up.edu.mx/document.aspx?doc=31497>), con más de 600 graduados ya en estos estudios. Otros programas de Master se relacionan con temáticas similares, entre los que podemos destacar el "Master of Education: Program in Mind, Brain and Education" de la Universidad de Harvard⁹.

Por otra parte, la adaptación al Espacio Europeo de Educación Superior tiene entre sus objetivos el de conseguir la convergencia europea en la educación universitaria para crear una red europea de investigación (Bermúdez, Castro, Sierra y Buela-Casal, 2009). Este enfoque supone un nuevo reto y nuevas oportunidades para mejorar los Planes de estudio y aportar las mejores investigaciones que puedan producir los cambios necesarios para hacer avanzar la calidad educativa, desde la misma formación inicial de profesores y maestros. Este progreso exige el desarrollo de procedimientos para evaluar la calidad y fomentar la investigación y las mejores prácticas (Declaración de Bolonia, 1999).

2. Título Superior en Neurociencias aplicadas a la Educación

El plan de estudios que se describe y valora en éste artículo corresponde al Título Superior Propio (TSP) en Neurociencias aplicadas a la Educación del Centro Universitario Villanueva, Título que se viene impartiendo desde el curso académico 2009-2010. El Programa se ha elaborado partiendo de las experiencias llevadas a cabo con el Proyecto ADI (Apoyo y Desarrollo de la Inteligencia), por parte de psicólogos y profesores, además de directivos, en más de cuarenta centros educativos de diferentes países y por un equipo multidisciplinar de psicólogos, psicopedagogos, optometristas, profesores expertos en Educación Física y el asesoramiento de neurólogos, otorrinos y otros profesionales, así como por la experiencia de formación de educadores y profesionales de la educación a través del Máster en Neuropsicología y Educación.

Los resultados de las aplicaciones de los programas de intervención reflejaron una mejora significativa en los procesos neuropsicológicos del aprendizaje y en el rendimiento escolar de los alumnos de Educación Infantil, Primaria, Secundaria y Bachillerato (Miguel, 2010; Martín Lobo, 1999; Martín Lobo, 2004; García-Castellón, Martín Lobo, Rodríguez y Vallejo, 2004; Ochoa, 2011).

2.1. Planteamiento

El Centro Universitario Villanueva proporciona una titulación propia, añadida a la titulación de Magisterio y de Grado oficial de la Universidad Complutense de Madrid. El avance científico en el campo de las neurociencias y la aplicación práctica de programas innovadores en el ámbito educativo para una educación de calidad, indican la necesidad de incorporar nuevos descubrimientos sobre el desarrollo del niño desde los primeros años de vida, los procesos de aprendizaje y la formación personal.

El *Título Superior Propio en Neurociencias aplicadas a la Educación* supone una oportunidad de enriquecimiento actualizado de los estudios universitarios y la adquisición de competencias profesionales en éste ámbito, acordes con las necesidades educativas que exige la sociedad actual.

2.2. Objetivos

1. Proporcionar conocimientos actuales sobre los procesos de neurociencias aplicadas a la educación en las diferentes etapas educativas.
2. Desarrollar un plan de estudios universitarios para cuatro cursos académicos.
3. Aplicar los procesos neurocientíficos del aprendizaje a la práctica educativa, con el rigor y las competencias necesarias.
4. Disponer de recursos innovadores y tecnológicos para la educación actual.
5. Adquirir competencias a nivel universitario: alto nivel de comprensión, desarrollo del pensamiento crítico, transferencia y aplicación práctica al aula, creatividad, sensibilidad estética, autorregulación y formación personal.

2.3. Diseño del Plan de Estudios

Se diseñó un plan de estudios que contiene: las etapas del neurodesarrollo (de 0 a 6 años, de 7 a 11) y los cambios cerebrales en la adolescencia con sus implicaciones educativas, los procesos de aprendizaje desde la neurociencia y la atención a las dificultades de aprendizaje y la atención a la diversidad. El programa se organizó en los créditos correspondientes a cada asignatura y se marcó su carácter obligatorio (ver cuadro 1).

⁹ (USA, University of Harvard), (<http://www.gse.harvard.edu/academics/masters/mbe/>)

Cuadro 1.- Título Superior en Neurociencias Aplicadas a la Educación. Plan de Estudios

Curso	Asignatura	Créditos	Carácter
Primer curso	Neurodesarrollo de 0 a 6 años e implicaciones educativas	6	Obligatorio
	Procesos neuropsicológicos en la lectura y en la escritura	6	Obligatorio
Segundo curso	Neurodesarrollo de 7 a 12 años e implicaciones educativas	6	Obligatorio
	Desarrollo lateral e incidencia en las matemáticas y rendimiento escolar	3	Obligatorio
	Cerebro, persona y Tecnología.	3	Obligatorio
Tercer curso	Cambios cerebrales en la adolescencia y repercusiones educativas	3	Obligatorio
	Audición, lenguaje y aprendizaje de idiomas	3	Obligatorio
Cuarto curso	Neuropsicopatología	3	Obligatorio
	Proyecto final	3	Obligatorio

Total = 36 ECTS (European Credit Transfer System)

El Plan de Estudios se completa con programas de desarrollo integral, tecnología educativa e innovación. En cada asignatura se abordan las características y el desarrollo neuropsicológico del proceso que es objeto de estudio, las pautas de observación para el conocimiento de cada alumno en el aula y los programas de intervención para la mejora de los procesos de aprendizaje y de neurodesarrollo. Se presentan experiencias llevadas a cabo en los centros educativos y se realizan prácticas y talleres de todos los programas de neurociencia aplicados. Por ejemplo, la asignatura “Neurodesarrollo de 0 a 6 años e implicaciones educativas” incluye los siguientes contenidos, prácticas y trabajos:

- Características y desarrollo cerebral.
- Desarrollo neuropsicológico en los niños de 0 y 6 años: Funcionalidad visual, auditiva, táctil, motriz, del lenguaje y la memoria. Inicio del desarrollo lateral.
- Pautas de observación y conocimiento del nivel neuropsicológico de cada alumno.
- Pautas de detección de posibles dificultades en el desarrollo.
- Programas de intervención para mejorar el neurodesarrollo infantil en esta edad.
- Experiencias de neurociencia aplicadas a la educación de 0 a 3 años.
- Experiencias de neurociencia aplicadas a la educación de 4 y 5 años.
- Utilización y creación de programas y recursos neuropsicológicos para el aula.
- Condiciones y nivel de neurodesarrollo para el aprendizaje de la lectura y de la escritura.
- Utilización y creación de programas y recursos neuropsicológicos para el aula.

2.3.1. Metodología

La programación de cada una de las asignaturas incluye contenidos, bibliografía, videos, estudio de casos de grupos de alumnos en el aula e individuales, prácticas, actividades y recursos, en función del carácter específico de cada asignatura.

Además, se contemplan sesiones con profesores y profesionales especializados expertos en los diferentes procesos de neurociencia aplicada a los procesos del aprendizaje y a las técnicas instrumentales básicas del aprendizaje; Jornadas para profundización en procesos tales como la funcionalidad visual para la lectura, neurodesarrollo y metodologías relacionadas; visitas a centros educativos que aplican metodologías de neurociencia y

presentación de experiencias por parte de directivos, orientadores y profesores de centros educativos.

A través de las diferentes asignaturas se trabajan competencias de búsqueda y elaboración de información científica, análisis de casos, observación de experiencias, aplicación de habilidades superiores de pensamiento de análisis, síntesis, aplicaciones a la práctica y valoraciones; de desarrollo de pensamiento crítico; de resolución de problemas; de aplicación a la práctica educativa y de elaboración de programas y guías para su posterior aplicación en el aula.

2.3.2. Desarrollo de contenidos

Los contenidos de cada asignatura han sido elaborados específicamente para el programa y en la actualidad se encuentran desarrollados en la web, donde el alumno puede acceder para su estudio, para la realización de proyectos y para su utilización en las clases presenciales, en los trabajos en equipo con otros compañeros y de forma individual.

2.3.3. Evaluación de los alumnos

Los alumnos presentan sus proyectos y trabajos para exponerlos y defenderlos ante la comunidad académica: profesores y alumnos universitarios. La evaluación en cada asignatura se realiza mediante la valoración de la asistencia y de la participación en las clases y prácticas; de las visitas de estudio a centros educativos y de la elaboración de los informes correspondientes; de los trabajos realizados y de la exposición y defensa de su proyecto.

3. Informe diagnóstico y evaluación del programa académico conducente al Título Superior de Neurociencias aplicadas a la Educación

3.1. Método

3.1.1. Participantes

La muestra ha estado constituida por un total de 86 alumnos de Magisterio que han cursado las enseñanzas correspondientes al Título Superior de Neurociencias aplicadas a la Educación (63 de primero, segundo y tercero de Magisterio y 23 graduados que han terminado sus estudios de Magisterio y han obtenido el Título

Superior Propio). Todos fueron seleccionados del Centro Universitario Villanueva, adscrito a la Universidad Complutense de Madrid (www.villanueva.edu), centro universitario donde se cursaron estos estudios.

3.1.2. Variables

Dependientes. Valoración de las siguientes dimensiones: el plan de estudios, la organización, los recursos humanos y materiales, los procesos de enseñanza-aprendizaje y los resultados.

Independiente: Desarrollo del Plan de Estudios conducente al Título Superior Propio de Neurociencias aplicadas a la Educación.

3.1.3. Instrumentos

Se empleó una encuesta para la elaboración de un Informe Diagnóstico de la Titulación de Neurociencias aplicadas a la Educación. Se empleó una escala tipo Likert diseñada para este estudio que permite reflejar las percepciones de los estudiantes acerca del título que están cursando o que ya han obtenido. La versión de la escala está elaborada sobre la base de la literatura disponible: ha sido realizada y adaptada a partir de otras existentes (Versión: 27 de marzo-2007, de la Universidad de Zaragoza para el Informe Diagnóstico de Titulaciones. Incluye 50 ítems para valoración estadística del objeto de estudio). Los ítems se definieron agrupándolos en seis criterios relacionados con las actuales Guías de Evaluación de Titulaciones, con formato similar a los que se exige en la ANECA y es empleado en el Programa de Evaluación Institucional para definir e implementar acciones de mejora continua con la participación de los implicados, en éste caso de los propios alumnos. Se ha seguido el modelo de valoración de la formación de Kirkpatrick, que parte de las reacciones y opiniones de los alumnos (Kirkpatrick, 1994, 1998; Kirkpatrick y Kirkpatrick, 2006).

El instrumento fue sometido a un *juicio de expertos* -cinco participantes- con el fin de analizar la adecuación de cada uno de los ítems, de un conjunto de dimensiones, que se evaluaron entre 1 y 5 puntos según la escala Likert (cuadro 2). Se utilizó el acuerdo inter-jueces para eliminar los ítems que se consideraban inapropiados.

En el cuadro 3 se presentan los 50 ítems de la versión definitiva del cuestionario, agrupados por dimensiones: Programa formativo: Plan de estudios y estructura, Organización, Recursos

humanos, Recursos materiales, Proceso formativo enseñanza-aprendizaje, Resultados.

El procedimiento consiste en leer cada ítem, reflexionar y valorarlo cuantitativamente con una única respuesta, en función del grado de acuerdo que corresponde a la escala que se muestra en el cuadro 2.

3.1.4. Procedimiento

En primer lugar, se propuso la colaboración y aceptación del estudio a la dirección del C.U. Villanueva para la colaboración y la administración del cuestionario, que se aplicó en horario escolar; la participación de los alumnos se planteó como voluntaria y fue aceptada por la totalidad de los alumnos que se encontraban en el centro universitario. Se indicó que debía ser cumplimentado de forma individual y se guardaría la confidencialidad y el anonimato debidos. Se preguntó a los sujetos sobre las seis dimensiones medidas mediante la escala tipo Likert, en el orden establecido, así como el grado de valoración y satisfacción que tienen respecto al título cursado. La fiabilidad de la escala se obtuvo calculando el coeficiente alfa de Cronbach para el que se obtuvo una puntuación de 0,962.

3.1.5. Técnicas de análisis de datos

Se realizaron análisis descriptivos de los ítems y de las dimensiones, valoradas de acuerdo con la escala, mediante las puntuaciones medias de los ítems que las componen. Además, se ha estimado la fiabilidad (alfa de Cronbach) de la prueba incluyendo los 50 ítems. Se han llevado a cabo comparaciones entre las puntuaciones de las dimensiones, así como la valoración y satisfacción de los alumnos encuestados en función del curso. Como el tamaño de la muestra es pequeño, se ha aplicado la prueba no paramétrica H de Kruskal-Wallis. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico SPSS 19.0.

Cuadro 2.- Escala para el Informe Diagnóstico del Título Superior Propio en Neurociencias aplicadas a la Educación

Grado de acuerdo	Valoración cuantitativa	Valoración cualitativa
Del 0 al 20 %	1	Totalmente en desacuerdo
Del 21 al 40%	2	En desacuerdo
Del 41 al 60%	3	Ni de acuerdo ni en desacuerdo
Del 61 al 80%	4	De acuerdo
Del 81 al 100%	5	Totalmente de acuerdo

Cuadro 3.- Cuestionario para el Informe Diagnóstico del Título Superior Propio en Neurociencias aplicadas a la Educación

Dimensión 1: Plan de estudios y estructura

1. Existe una correspondencia entre el plan de estudios y las asignaturas que se imparten.
2. El plan de estudios consta de una secuenciación coherente de las asignaturas, tanto horizontal como verticalmente.
3. Existe información accesible y pública donde están las asignaturas definidas en la web.
4. Los objetivos del Plan Formativo se pueden conseguir con la duración prevista en el plan de estudios.
5. Existen procedimientos para coordinar los contenidos de las asignaturas.

Dimensión 2. Organización

6. Los responsables tienen definida la planificación del Programa Formativo que incluye instrumentos para la gestión y acciones de mejora continua.
7. Los programas de las asignaturas están al alcance de los alumnos.
8. La gestión de los procesos de la organización (matrícula, horarios, atención al alumno...etc.) es adecuada.
9. Existen mecanismos sistemáticos y periódicos para revisar la adecuación de la organización de la enseñanza a la estructura y objetivos del programa.
10. Se llevan a cabo acciones de mejora a partir de los resultados de los análisis.

Dimensión 3. Recursos humanos

11. El personal académico es adecuado al Programa Formativo en cuanto a número, nivel, categoría, dedicación y legislación vigente.
12. El perfil de los profesores es adecuado al plan de estudios.
13. La formación y actualización del profesorado se adecúa al Programa.
14. La estructura del Personal de Administración y Servicios implicado en el Proceso Formativo es adecuada (conserjes, personal de secretaría, biblioteca, etc.).
15. Existen mecanismos sistemáticos y periódicos para revisar la adecuación de e incorporar acciones de mejora continua.

Dimensión 4. Recursos materiales

16. Las aulas destinadas al proceso formativo se adecúan al número de alumnos y a las actividades programadas (número y espacio).
17. Los espacios destinados al trabajo y estudio de los alumnos se adecúan al número de alumnos y a las actividades programadas.
18. El equipamiento necesario para el trabajo y estudio de los alumnos se adecúa al número de alumnos y a las actividades programadas (biblioteca con suficiente espacio, amplitud horaria, fondos de libros y revistas, etc).
19. Los espacios son adecuados para el desarrollo y coordinación del personal académico.
20. El equipamiento es adecuado para el desarrollo y la coordinación de funciones del personal administrativo y de servicios.

Dimensión 5. Proceso formativo enseñanza-aprendizaje

21. Existen procesos de captación de nuevos alumnos.
22. Se acoge a los alumnos y se les da una orientación adecuada respecto al funcionamiento y organización del Programa Formativo.
23. Existen programas de formación integral para el alumno de orden cultural, de cooperación y otros.
24. Existen mecanismos de orientación profesional.
25. Existen mecanismos sistemáticos y periódicos de medida de la eficacia de los programas para la formación integral e incorporar acciones de mejora continua.
26. La metodología del proceso enseñanza-aprendizaje responde a los objetivos del Programa Formativo.
27. Las actividades del proceso enseñanza-aprendizaje son adecuadas al Plan Formativo.
28. Las prácticas son adecuadas a los objetivos del Programa Formativo.
29. Los procesos de evaluación son coherentes con la metodología utilizada en el proceso enseñanza-aprendizaje.
30. Existen mecanismos sistemáticos y periódicos para medir la eficacia de los métodos y técnicas utilizados en el proceso enseñanza-aprendizaje e incorporar acciones de mejora.

Dimensión 6. Resultados de los alumnos

31. El alumno termina sus estudios en el tiempo previsto.
32. Existen procedimientos para recoger sugerencias y quejas de los alumnos.
33. Se tienen en cuenta las sugerencias y quejas de los alumnos para implementar acciones de mejora.
34. Es concordante el perfil de los egresados y el previsto en el Programa Formativo en cuanto a conocimientos adquiridos y habilidades desarrolladas.
35. Se recaban valoraciones de los alumnos para llevar a cabo acciones de mejora.
36. La realización del TSP supone desarrollar competencias necesarias para llevar a cabo procesos de investigación educativa.
37. La realización del TSP supone desarrollar competencias necesarias para formarme como profesional del ámbito.
38. La realización del TSP supone el desarrollo del sentido crítico.
39. La realización del TSP supone una mayor motivación hacia el aprendizaje.
40. La realización del TSP supone un mayor desarrollo de la capacidad de búsqueda de información.
41. La realización del TSP supone el desarrollo de una mayor capacidad de selección de información.
42. La realización del TSP supone mayor utilización de recursos académicos y científicos, como la bibliografía proporcionada, el acceso a fuentes de documentación, revistas científicas, etc. como complemento formativo.
43. Existen procedimientos para recabar de forma sistemática y periódica información sobre el grado de satisfacción del personal académico.
44. Se realizan acciones de mejora como consecuencia del análisis de los resultados.
45. Se realizan acuerdos con otras instituciones para visitas de los alumnos y se vincula así el Programa Formativo con la sociedad (Colegios Senara, Montserrat, Europeo de Madrid, etc.).
46. Se realizan acuerdos con organizaciones y centros especializados para visitas de los alumnos y se vincula el Programa Formativo con la sociedad (Centro Acu-visión, Centro de Reflejos y otros).
47. Se realizan otras actividades (conferencias, Jornadas, invitación a expertos, etc.), mediante los que se vincula el Programa Formativo con la sociedad.
48. La información colgada en la plataforma tuvo una contribución valiosa en el producto final del TSP.

Satisfacción personal del alumno

49. La valoración global del TSP es alta.
50. La satisfacción personal después de haber realizado el TSP es alta.

Nota: TSP, Título Superior Propio en Neurociencias aplicadas a la Educación

3.2. Resultados

En primer lugar, se presentan los estadísticos descriptivos (media, desviación típica, máximo y mínimo) de las diferentes dimensiones y las variables de valoración y satisfacción para cada uno de los cursos por separado. El grupo 1 no contestó a la dimensión 6 de Resultados, puesto que al estar en el primer curso no disponían de las suficientes vivencias e información para valorar este apartado de la Encuesta.

En segundo lugar, se presentan los resultados del análisis de diferencias de las puntuaciones entre los distintos cursos analizados.

3.2.1. Dimensiones analizadas

Dimensión 1. Plan de estudios y estructura

Los alumnos de los cursos de primero, segundo, tercero y graduados valoran positivamente (todos por encima de 4 puntos), la correspondencia entre el plan de estudios y las asignaturas que se imparten, la secuenciación y la coordinación entre las mismas. Los contenidos desarrollados en la web, y disponibles para los alumnos, facilitan mucho su aprendizaje. Es de destacar el esfuerzo realizado en este sentido para elaborar contenidos de neurociencia relacionados con los procesos educativos, en un lenguaje claro y comprensible para los alumnos.

Dimensión 2. Organización

La planificación de los programas de cada asignatura incluye metodologías diversas como son la elaboración y explicación de los contenidos, completando el dominio de las competencias correspondientes a cada asignatura con talleres prácticos, visitas a centros educativos para observar directamente la aplicación y la práctica en las aulas, y sesiones con expertos que transmiten sus vivencias y conocimientos sobre la neurociencia aplicada a la educación. Se han podido observar diferentes niveles de respuestas por parte de los alumnos en esta dimensión, acorde con la realidad de cada grupo en el momento en que se les pasó la encuesta: en el caso de los alumnos de segundo y tercero no habían tenido todavía talleres prácticos, ni habían asistido a centros educativos para observar la realidad y esto influyó claramente en una inferior valoración. De hecho, sugirieron la necesidad de adelantar dichas actividades prácticas en el calendario por lo efectivas que resultan para comprender los objetivos marcados. En cambio, los alumnos de primero y los graduados valoran muy bien esta dimensión debido a que habían tenido las sesiones prácticas y las visitas de expertos.

Dimensión 3. Recursos humanos

De nuevo se da una valoración alta en la adecuación del personal académico al plan de estudios y a la formación y actualización de los mismos, junto al personal administrativo y de servicios como la biblioteca, que cobra una gran importancia en este tipo de estudios (por encima de 4 puntos en todos los grupos).

Dimensión 4. Recursos materiales

Habitualmente hay mucho dinamismo en la actividad universitaria de este título, utilizando los espacios y las aulas en función de las actividades previamente programadas. La actividad docente se realiza en aulas de informática, en la biblioteca, en espacios para prácticas y en aulas que disponen de espacios adaptados al desa-

rollo de los proyectos y de los trabajos que tienen que realizar los alumnos, de forma que pueden asistir a la biblioteca y utilizar la bibliografía específica, seleccionada previamente, o bien consultar fuentes tecnológicas y disponer de recursos y de materiales relacionados con los programas de intervención que posteriormente utilizarán con los alumnos de edad escolar. Este aspecto es valorado por todos los grupos a nivel alto (por encima de 4 en todos los casos).

Dimensión 5. Proceso formativo enseñanza-aprendizaje

La metodología del procesos enseñanza-aprendizaje se valora, una vez más, de acuerdo a la situación de cada grupo: los alumnos de primero y los graduados dan un valor alto a las actividades, las prácticas y los procesos de evaluación; sin embargo, los alumnos de segundo y tercero bajan esta calificación por no haber realizado las actividades prácticas en la fecha en que se aplicó la escala y estar previstas para fechas posteriores del calendario. Además, un alto porcentaje de alumnos propone que se pueda optar al título de neurociencias aplicadas a la educación sin que coincida en el horario de otras actividades y con otros títulos como el de Inglés (tan necesario en la actualidad para obtener trabajo en el ámbito educativo de infantil y primaria).

Dimensión 6. Resultados de los alumnos

En la encuesta se midieron los resultados de los alumnos y de los egresados, del personal académico y los resultados en la sociedad. A los alumnos de primero se les indicó que no contestaran esta dimensión, puesto que no disponían todavía de información de resultados. Los alumnos de segundo valoran a un nivel de 3,83 de puntuación media esta dimensión, los alumnos de tercero con un 4,2 y los alumnos graduados con un 4,7. Todos ellos están de acuerdo en que este programa supone desarrollar competencias necesarias para formarse como profesional en el ámbito educativo y mayor motivación hacia el aprendizaje. Además, tienen una puntuación muy alta las actividades de conferencias, jornadas con expertos y las visitas a centros escolares que vinculan el programa con la sociedad. Valoran también la utilización de la bibliografía proporcionada, el acceso a fuentes de documentación y a las revistas científicas como complemento formativo.

La valoración global y el índice de satisfacción

Una de las valoraciones de interés en el ámbito universitario es la medida de la satisfacción de los estudiantes en relación con los procesos de enseñanza-aprendizaje y otros aspectos (Pichardo, 2007). La satisfacción del estudiante constituye un índice de calidad y se establece de acuerdo a lo que se espera o desea y está en relación con el resultado (Zas, 2000).

La satisfacción del estudiante refleja la eficiencia en las dimensiones valoradas: Plan de estudios y estructura, Organización, Recursos humanos, Recursos materiales, Proceso formativo enseñanza-aprendizaje y Resultados.

Como puede apreciarse en la Tabla 1, es de destacar la alta puntuación en la valoración del título en Neurociencias aplicadas a la Educación de todos los estudiantes. En el caso de los graduados la puntuación correspondiente a la valoración global es de 4,87 y el índice de satisfacción es de 5 puntos, es decir, la máxima puntuación. En los cursos de primero, segundo y tercero se valora por encima de 4, por lo que se puede afirmar que hay un índice alto de satisfacción con respecto a estos estudios.

Tabla 1.- Estadísticos descriptivos

		N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Curso 1.º	Dimensión 1. Plan de estudios y estructura	27	3,8	5	4,5556	0,29
	Dimensión 2. Organización	27	3	5	4,5309	0,50855
	Dimensión 3. Recursos humanos	27	4	5	4,7037	0,25643
	Dimensión 4. Recursos materiales	27	1,6	5	4,037	0,87537
	Dimensión 5. Proceso formativo enseñanza-aprendizaje	27	3,7	5	4,4963	0,34915
	Dimensión 6. Resultados del alumno	0	s/d	s/d	s/d	s/d
	Valoración global	27	4	5	4,9259	0,26688
	Satisfacción personal del alumno	27	4	5	4,9259	0,26688
Curso 2.º	Dimensión 1. Plan de estudios y estructura	23	3,4	5	4	0,38612
	Dimensión 2. Organización	23	3	4,6	3,913	0,48176
	Dimensión 3. Recursos humanos	23	3,2	4,8	4,0696	0,51029
	Dimensión 4. Recursos materiales	23	2,6	5	4,0609	0,63657
	Dimensión 5. Proceso formativo enseñanza-aprendizaje	23	2,7	4,9	3,7783	0,52393
	Dimensión 6. Resultados del alumno	23	3,17	4,94	3,9396	0,48197
	Valoración global	23	3	5	4,1739	0,65033
	Satisfacción personal del alumno	23	3	5	4,2609	0,61919
Curso 3.º	Dimensión 1. Plan de estudios y estructura	13	3	5	4,2154	0,55052
	Dimensión 2. Organización	13	2	3	2,6769	0,26506
	Dimensión 3. Recursos humanos	13	3,2	5	4,2	0,53541
	Dimensión 4. Recursos materiales	13	2,4	5	4,4462	0,70783
	Dimensión 5. Proceso formativo enseñanza-aprendizaje	13	3,2	4,4	3,9	0,43012
	Dimensión 6. Resultados del alumno	13	3,44	4,83	4,2009	0,36539
	Valoración global	13	3	5	4,0769	0,49355
	Satisfacción personal del alumno	13	3	5	4,1538	0,5547
Graduados	Dimensión 1. Plan de estudios y estructura	23	3,8	5	4,6696	0,38428
	Dimensión 2. Organización	23	3,8	5	4,8087	0,34891
	Dimensión 3. Recursos humanos	23	4,2	5	4,8261	0,25085
	Dimensión 4. Recursos materiales	23	3,6	5	4,6957	0,44259
	Dimensión 5. Proceso formativo enseñanza-aprendizaje	23	3,4	5	4,5826	0,44174
	Dimensión 6. Resultados del alumno	23	3,83	5	4,7826	0,27773
	Valoración global	23	4	5	4,8696	0,34435
	Satisfacción personal del alumno	23	5	5	5	0

3.2.2. Comparaciones entre cursos y por dimensión

Se llevó a cabo las comparaciones entre las puntuaciones de las seis dimensiones, además de la valoración y la satisfacción, en función del curso. Se cuenta con cuatro grupos distintos a comparar y un tamaño inferior a 30 casos. Por estos motivos se ha utilizado la prueba no paramétrica H de Kruskal-Wallis. Estos resultados corroboran los anteriores.

La prueba de Kruskal-Wallis muestra diferencias en todas las dimensiones y también en valoración y satisfacción entre

los grupos. Para comprobar qué grupo valora más alto debe observarse la tabla de rangos anterior (tabla 2). Un mayor rango promedio equivale a una mayor puntuación de ese grupo. En las seis dimensiones, los graduados son los que obtienen mayores puntuaciones, como demuestra su mayor rango promedio. En las variables de valoración y satisfacción, las puntuaciones del grupo de graduados y los estudiantes del primer curso son similares.

Tabla 2.- Comparaciones entre cursos y por dimensión

	Curso	N	Mean Rank
Dimensión 1. Plan de estudios y estructura	Curso 1.º	27	51,44
	Curso 2.º	23	22,91
	Curso 3.º	13	35,92
	Graduados	23	59,04
	Total	86	
Dimensión 3. Recursos humanos	Curso 1.º	27	51,89
	Curso 2.º	23	23,57
	Curso 3.º	13	29,08
	Graduados	23	61,74
	Total	86	
Dimensión 5. Proceso formativo enseñanza-aprendizaje	Curso 1.º	27	54,41
	Curso 2.º	23	23,15
	Curso 3.º	13	27,92
	Graduados	23	59,85
	Total	86	
Valoración global	Curso 1.º	27	56,46
	Curso 2.º	23	28,89
	Curso 3.º	13	23,58
	Graduados	23	54,15
	Total	86	
Dimensión 2. Organización	Curso 1.º	27	21,7
	Curso 2.º	23	53,28
	Curso 3.º	13	18,38
	Graduados	23	73,5
	Total	86	
Dimensión 4. Recursos materiales	Curso 1.º	27	35,87
	Curso 2.º	23	32,67
	Curso 3.º	13	50,08
	Graduados	23	59,57
	Total	86	
Dimensión 6. Resultados del alumno	Curso 1.º		
	Curso 2.º	23	17,54
	Curso 3.º	13	25,12
	Graduados	23	45,22
	Total	59	
Satisfacción personal del alumno	Curso 1.º	27	53,93
	Curso 2.º	23	28,76
	Curso 3.º	13	24,04
	Graduados	23	57
	Total	86	

Tabla 3.- Diferencias entre las dimensiones

	Valoración	Satisfacción	Dimensión 1	Dimensión 2	Dimensión 3	Dimensión 4	Dimensión 5	Dimensión 6
Chi-Square	38,46	41,715	29,007	71,485	35,371	17,616	35,49	31,303
df	3	3	3	3	3	3	3	2
Asymp. Sig.	0	0	0	0	0	0,001	0	0

3.2.3. Otras aportaciones de los alumnos

Al finalizar la encuesta se preguntó a los alumnos si aplicarían las metodologías de neurociencias en el aula y todos los alumnos contestaron afirmativamente. A continuación, reflejamos las respuestas de algunos de ellos.

¿Aplicarías las metodologías de Neurociencias Aplicadas a la Educación en tu trabajo de educador?

- “Sí. A lo largo de toda la carrera hemos ido aprendiendo métodos muy valiosos, que nos serán de gran ayuda en el día a día del aula. Además, de mostrarnos información útil para aumentar nuestra capacidad y saber”.
- “Por supuesto, es algo que todos los educadores deberíamos aplicar, ya que completa en gran medida los estudios aportados en la carrera. Y sobre todo, me encantaría poder hacerlo bien para poder desarrollar al máximo el potencial de los alumnos, y poder ayudar así al máximo en su crecimiento y desarrollo como personas”.
- “Obviamente me encantaría poder aplicar todo lo aprendido en mi clase, pero es un poco difícil, pero estoy segura que cuando tenga más práctica no dudare en hacerlo. Este título me ayudado a detectar cosas que solo con magisterio no se aprecian en el aula”.

- “Sí; muchísimas gracias por descubrirnos el apasionante universo de la neurociencia, imprescindible para los maestros del siglo XXI”.
- “¡Absolutamente! El TSP ha sido para mí una gran fuente de formación y de información. Sé y creo que es algo fundamental que todo maestro debería tener a lo largo de sus estudios o de su carrera profesional”.
- “He disfrutado muchísimo cursando el TSP y se lo recomiendo a todo el mundo. Gracias al TSP he aprendido gran cantidad de cosas que considero valiosas al desempeñar mi tarea como maestra”.
- “El TSP a mí, me ha aportado mucho. Me ha abierto otra vía de aprendizaje, es algo apasionante, interesante, que todo el mundo debería conocer; y en lo que me gustaría dedicar tiempo de mi vida. El TSP me ha marcado mucho”.
- “Claro. Además, me parece fundamental. Todo lo que he aprendido de la Neurociencia considero que es “obligatorio” ponerlo en práctica, y, donde mejor que en el aula con nuestros niños en el día a día”.
- Sí lo aplicaría, pero creo que sería conveniente aplicarlo desde que los niños son pequeños, es decir desde que están en infantil, y por supuesto, continuar en los cursos siguientes”.

- “Pienso que aplicar esta metodología es algo imprescindible para que los niños obtengan buenos resultados académicos. Hay que trabajar mucho pero la evolución de los alumnos se ve rápidamente”.
- “Sin dudarlo, me parece un campo apasionante en el cual me gustaría todavía profundizar más”.

4. Discusión y conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio van en la misma dirección que otras propuestas de aplicación de la neurociencia a la educación (Jensen, 2004; Blakmore y Frith, 2007; Ortiz, T., 2009; Martín Lobo, M.P., 2003, 2004, 2006; Marina, 2012; Armstrong, 2012), y subrayan la necesidad de modificar las prácticas educativas en este sentido, así como la formación inicial de los futuros educadores mediante planes específicos que aseguren una preparación actualizada en el marco universitario de los planes vigentes (Espacio Europeo de Educación Superior, RD 1393/2007).

De los resultados obtenidos se deriva un alto nivel de valoración global y de satisfacción de los alumnos de Magisterio hacia los estudios de Neurociencia aplicada a la Educación, según el modelo de valoración de la formación de Kirkpatrick, que parte de las reacciones y opiniones de los alumnos (Kirkpatrick, 1994, 1998; Kirkpatrick y Kirkpatrick, 2006). Aunque la muestra no ha sido grande, todos los alumnos y los graduados valoran a un alto nivel cada una de las dimensiones consideradas: los planes de estudio realizados, la organización, los recursos humanos y materiales, los procesos de enseñanza-aprendizaje y los resultados obtenidos; e incluso, proponen la aplicación de la correspondiente formación a todos los alumnos de Magisterio y han manifestado el deseo de utilizar las enseñanzas recibidas en su futuro profesional. Es destacable la importancia que dan a las prácticas en el programa, así como a las aportaciones de expertos y a las visitas a los centros educativos donde se aplica la neurociencia a la educación, con el objetivo de dominar la transferencia del aprendizaje al puesto de trabajo futuro.

El estudio realizado sigue apuntando a la necesidad de incorporar disciplinas innovadoras a la formación de los educadores que sean facilitadoras e intermediarias entre la Neurociencia, la Psicología Educativa, la Psicología Cognitiva y la Neuropsicología, como se ha venido proponiendo desde hace algún tiempo (Byrnes, Fox, 1998; Stanovich, 1998); se trata de que se puedan incorporar los hallazgos neurocientíficos cognitivos al aprendizaje en el ámbito de la educación formal y, específicamente, en la formación inicial de los educadores en diferentes áreas de la neurociencia (Ansari y Coch, 2006). Estas incorporaciones están ya enriqueciendo los modelos educativos actuales y nos marcan líneas de trabajo futuro para hacer extensible este tipo de formación a todos los educadores, de forma que se puedan incorporar los avances científicos de la neurociencia para la prevención educativa, el desarrollo del talento, la erradicación del fracaso escolar y una respuesta educativa de calidad.

Referencias bibliográficas

ANSARI, D. y COCH, D. (2006): “Bridges over troubled waters: education and cognitive neuroscience”. *Trends Cognitive Science* 2006; 4: 146-51.

ARMSTRONG, T. (2012): *El poder de la neurodiversidad*. Paidós: Madrid.

BERMÚDEZ, M.P.; CASTRO, A.; SIERRA, J. C. y BUELA-CASAL (2009): “Análisis descriptivo transaccional de los estudios de doctorado en EEES”. *Revista de Psicodidáctica*, 14, 193-210.

BYRNES, JP y Fox. (1998): “The educational relevance of research in cognitive neuroscience”. *Educational Psychology Review* 1998; 10: 297-342.

BLAKEMORE, S-J. y FRITH, U. (2007): *Cómo aprende el cerebro*. Ariel: Barcelona.

BRESSLER, SL., en “Understanding cognition through large-scale cortical networks”. *Curr Dir Psychol Sci* 2002; 11: 58-61.

CAMPO, P.; MAESTÚ, F.; ORTIZ, T. et al. (2005): “Time modulated prefrontal and parietal activity during the maintenance of integrated information as revealed by magnetoencephalography”. *Cerebr cortex* 2005; 15: 123-30.

CASE R. (1985): *Intellectual development: birth to adulthood*. Academic Press, New York

CUETOS, F. (2012): *Neurociencia del lenguaje*. Panamericana, Madrid.

DIAMOND, A. (2007): “Interrelated and interdependent”. *Dev Sci* 2007, 10:152-8.

GOLDBERG, M.; Maurer, D.; Lewis, T. (2001): “Development changes in attention the effects of endogenous cueing and of distracters”. *Dev Sci* 2001; 4:209-19.

JENSEN, E. (2004). *Cerebro y aprendizaje. Competencias e implicaciones educativas*. Narcea, Madrid.

KIRKPATRICK, D.L. (1994): *Evaluating training programs. The four levels*. Berrett-Koehler Publishers, San Francisco.

— (1998): *Evaluating training programs. The four levels (2ª edición)*. Berrett-Koehler Publishers, San Francisco.

— (2006): *Evaluating training programs. The four levels (3ª edición)*. Berrett-Koehler Publishers, San Francisco.

LITWIN, E. (2008): *El oficio de enseñar. Condiciones y contextos*. Paidós, Buenos Aires.

MARINA, J.A. (2012): *La inteligencia ejecutiva*. Ariel, Barcelona.

MARTÍN LOBO, M.P. (2004): “Study of the neuropsychological factors in infant and gifted and talented”, Program and Abstract of the 9th Conference of the European council for the high ability, Pamplona, 2004.

— (2006): *El salto al aprendizaje. Cómo obtener éxito en los estudios y superar las dificultades de aprendizaje*. Palabra, Madrid.

— (2003): *La lectura. Procesos neuropsicológicos del aprendizaje, diagnósticos, estudio de casos y programas de intervención*. Lebnón, Barcelona.

MIGUEL, V. (2010): La importancia del entrenamiento visual y los movimientos sacádicos en el reconocimiento de los grafemas y su relación con los procesos de automatización de las reglas de conversión del grafema al fonema. Tesis doctoral, Universidad Camilo José Cela. Departamento de Psicología, Facultad Ciencias de la salud.

OCHOA, C. (2011): “Programa de Intervención Pedagógica con Niños Hiperactivos del Primer Ciclo. Diseño desde la Educación Física”. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid. Programa de Innovación y Formación del Profesorado.

ORTIZ, T. (2009): *Neurociencia y Educación*. Alianza Editorial, Madrid.

SANTIUSTE, V., MARTÍN LOBO M^a P., AYALA, C. (2005): *Bases neuropsicológicas del fracaso escolar*. Fugaz, Madrid.

SCHENEIDER, W., PRESSLY, M. (1997): Memory development: between two and twenty. Mahbah, NJ: Erlbaum.

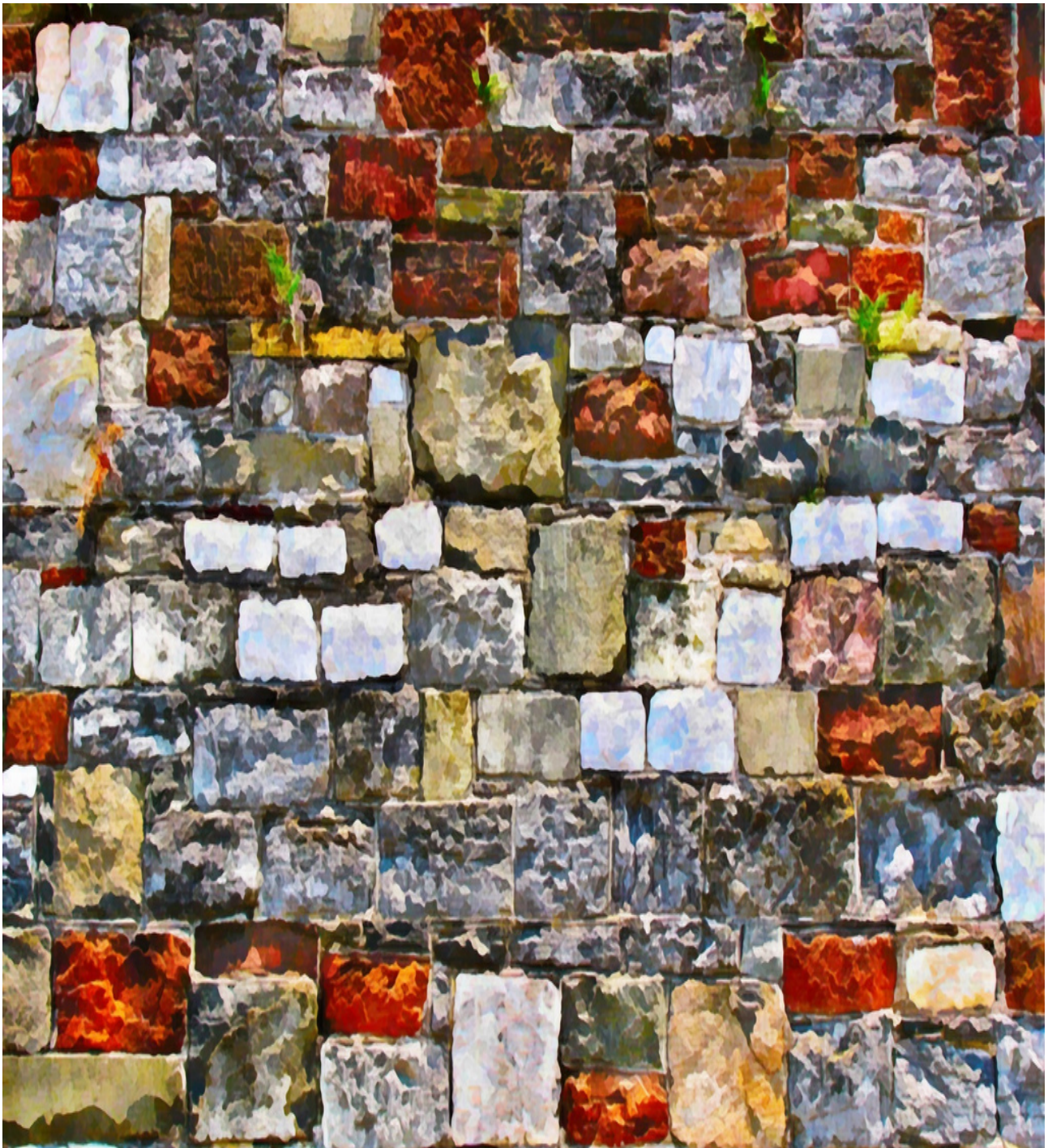
STANOVICH, KE (1998): “Cognitive neuroscience and educational psychology: what season is it?” *Educational Psychology Review* 1998; 10: 419-26.

ZAS, B. (2002): “La satisfacción como indicador de excelencia en la calidad de los servicios de salud”. Publicado en la revista electrónica psicología científica en el 2002, (psicologiacientifica.com). Consultada en febrero de 2010.

La autora

M^a Pilar Martín Lobo

Doctora en Psicología, Licenciada en Filosofía y Letras (Psicología) y Maestra. Directora del TSP en Neurociencia aplicada a la Educación en el C.U. Villanueva, adscrito a la Universidad Complutense. Directora del Máster Oficial de Neuropsicología y Educación en la UNIR (Universidad Internacional de la Rioja). Experiencia docente, orientadora, investigadora y directiva en todas las etapas escolares y en la universidad. Autora de Proyectos educativos para el desarrollo de la inteligencia y las altas capacidades, y de libros y artículos científicos en neurociencia, neuropsicología y educación.



RECENSIONES



La inteligencia ejecutiva

José Antonio Marina

Editorial Ariel (Colección Biblioteca UP), 2012

He de confesar que al final de la lectura de este libro, dedicado a la inteligencia ejecutiva, me he quedado un tanto perplejo por el caudal de ideas que en él se contienen y, a la vez, sorprendido, agradablemente, por su final, al vincular la inteligencia con la moral y, a la postre, con la educación. La idea de una inteligencia, que dirija bien la acción, que comience en la neurología y termine en la ética; la idea de no vivir para conocer sino conocer para vivir de la mejor manera posible; la idea de ir más allá de la inteligencia cognitiva –conocer- y de la emocional –sentir-, y centrar la atención en la ejecutiva –dirigir bien la acción (mental o física), aprovechando nuestros conocimientos y nuestras emociones- no deja de tener atractivo y solucionaría el problema de considerar al ser humano dividido en compartimentos estancos, cuando en realidad es un ser unitario.

Al final del camino en el proyecto biográfico de cada persona existe, debe existir, un componente cognitivo-emocional-ejecutivo, que no esté alejado de lo ético, donde cada persona desarrolle la capacidad de dirigir bien el comportamiento mediante metas elegidas. Por tanto, es coherente que en los capítulos finales del libro se termine hablando de la educación del carácter, lo cual, he de confesar, es original y oportuno. En este momento en que leemos, y vemos a nuestro alrededor, que nuestros alumnos andan escasos de instrucción y sobre todo de virtudes (virtud, “el hábito de la excelencia”, como dice el autor), que se vincule el éxito/fracaso escolar en gran medida a factores morales, es una tesis atrevida y valiente, a contracorriente de una gran parte de la sociedad. Y, desde mi punto de vista, es un diagnóstico acertado.

Es creciente en la sociedad y en ciertos sectores oficiales la preocupación por la educación del carácter en el medio escolar. Sin ir más lejos, desde la Presidencia del Consejo Escolar de la Comunidad de Madrid, siendo Presidente el actual Presidente del Consejo Escolar del Estado, se me encargó el estudio, con estruc-

tura de Informe, que tenía como objetivo la búsqueda de una “Metodología de desarrollo de los valores de la esfera de la voluntad en el medio escolar¹⁰”. La tarea, pues, a nivel individual, familiar, escolar y social reside en la formación del carácter, como en el libro se defiende.

En él se ofrecen los fundamentos de una educación moral, basada en la inteligencia ejecutiva –“siguiendo el rastro de la inteligencia ejecutiva, hemos desembocado en la moral”. Es un gozo leer que de nuevo se aboga por la creación de hábitos. Es verdad, como afirma el autor, que al final una buena Filosofía termina en la Pedagogía. Se defiende el desarrollo de la fortaleza, la responsabilidad, el esfuerzo –¿quién no lo reclama ahora como uno de los remedios para muchos de las males de nuestros desmoralizados alumnos?-, la disciplina, la prudencia, la templanza, la justicia; la magnanimidad (“hábito de emprender voluntariamente cosas difíciles”), la valentía, la resiliencia (“capacidad de soportar los traumas y recuperarse de ellos”), la resistencia, la determinación, etc.

En una época en que la inversión en educación ha sido enorme, en que la ratio escolar ha sido cada vez más baja, constatamos, sin embargo, que los países que más alto rinden en educación no son aquéllos donde la inversión ha sido especialmente fuerte ni los que tienen una ratio alumnos/profesor más baja. El problema probablemente resida en otro lugar y, desde luego, la solución también.

Recuerdo una frase del autor, escrita hace varios lustros, que me impactó especialmente y que he repetido con frecuencia. Más

¹⁰ “Un ejemplo de aplicación de la pedagogía para el dominio (Learning for mastery) a primero de la ESO” en el apartado “Experiencias” de la web: “Para que nadie se queda atrás <www.educa2.madrid.org/web/ccem>”

o menos decía: Una de las ideas más perjudiciales introducidas en la educación ha sido a través del concepto de motivación. El alumno –¿sólo el alumno?- se ha convencido de que el problema del aprendizaje no reside en él sino en que le motive el profesor. “Como no me motiva”, dice el alumno. Sin embargo, existe un hecho tozudo, que con frecuencia expresan los profesores, cuando afirman: “Si por más que le motivo, no quiere aprender”. Un recordado profesor, Catedrático de Didáctica, nos repetía en clase algo más o menos así: Nadie desde fuera –motivación extrínseca- puede mover a alguien dentro –motivación intrínseca-, si no es uno mismo a través de un acto de la voluntad. En esta obra se reivindica la voluntad. No hemos invertido en la moral de las personas, que es donde en gran medida reside el problema del aprendizaje y del comportamiento (“una inteligencia, que dirija bien la acción”).

La investigación experimental ha confirmado esta orientación. En efecto, he citado frecuentemente el estudio del matrimonio Ramey, Craig T. y Sharon Landesman, del Georgetown University Center on Health and Education, quienes en 1999¹¹ publicaron un estudio, donde se revisaba la literatura precedente, en el que abordaron, entre otras cuestiones, cuáles eran los rasgos que caracterizaban a los niños exitosos en la escuela. Identificaron diez rasgos, que se pueden agrupar alrededor de tres grandes áreas, según sean características de los mismos alumnos, de sus familias o de las escuelas a las cuales asisten:

Este es el grupo de características de los alumnos exitosos: los que están ansiosos por aprender; los que preguntan gran cantidad de cuestiones; los que trabajan duro y saben que el esfuerzo importa mucho; los que tienen buenas destrezas sociales y emocionales; y los que pueden evaluar bien sus propias destrezas.

Otro grupo de características de niños exitosos en la escuela está asociado a la familia: Sus padres son modelos para aprender; promueven el aprendizaje en el hogar; asimismo, fijan y mantienen límites; y las rutinas familiares apoyan el hacerlo bien en la escuela.

Finalmente, las características de las escuelas: las escuelas tienen altas expectativas sobre el estudiante, apoyan el desarrollo del profesor y se comunican frecuentemente con los padres.

Quiero destacar del libro una serie de ideas en apariencia contradictorias y que sin embargo apoyan la idea de la unidad de la persona, sin compartimentos estancos. Me refiero a las que hablan de la necesidad de hacer compatibles la autonomía con la obediencia, la autoridad con la libertad, el amor con la exigencia; de la necesidad del fijar límites, crear rutinas, ambientes ordenados,... para una buena educación. Es reconfortante ver esto escrito, cuando la opinión predominante es la contraria. Tanto la Psicología como la Pedagogía abogan, entre otros aspectos, por la necesidad del aplazamiento de la recompensa y de la obediencia como el camino natural para la construcción de la personalidad, hacia la autonomía y la libertad. Tanto la experiencia como la investigación concluyen en idéntica dirección.

Por esto mismo, me sorprendió al principio que el autor incluyera en uno de los Talleres a Mary Ohmann, la gran pedagoga, quien junto a otros autores fue la principal redactora del libro de

referencia *Young children in action: a manual for preschool educators: the cognitively oriented preschool curriculum* (Ohmann et al., 1979)¹², en el cual se traduce al aula de preescolar el modelo cognitivo-interaccionista de Piaget. En los años 1960 la Fundación llevó a cabo dos estudios de evaluación: En el primero –*Perry Preschool Study*- se contrapuso el programa de Piaget, al Convencional; y en el que fue su continuación –*Preschool Curriculum Comparison Study* (Curricular)- se pusieron a contraste, además del de Piaget, el de Enseñanza Directa –*Direct Instruction*- y el de Jardín de Infancia. Los sujetos de experimentación del Estudio Perry fueron seguidos hasta 2005 –la más reciente actualización-, cuando ya tenían 40 años de media; los del Estudio Curricular hasta un poco más allá de los 20 años.

Lo chocante fueron los resultados¹³: El aprendizaje en la edad preescolar de los contenidos del programa cognitivo derivó a largo plazo en el desarrollo de dimensiones personales distintas de las meramente cognitivas, esto es, conductas prosociales, beneficios económicos,... Mientras, el programa de Enseñanza Directa, si bien a corto plazo tuvo una enorme repercusión positiva sobre el aprendizaje –de lo cual toda la investigación a nivel mundial se hace eco-, a largo plazo tuvo comparativamente nefastos resultados en variables personales y de integración social.

¿Cuál fue la explicación? Los autores lo encuentran en el distinto énfasis que se da en el Programa de la High Scope y el de Enseñanza Directa al rol del profesor y del alumno en el proceso de enseñanza/aprendizaje. En efecto, el Programa de Enseñanza Directa es altamente dirigido por el profesor, es nulamente participativo por el alumno; mientras tanto, en el Programa Cognitivo el rol directivo del profesor se hace compatible con la alta participación e iniciativa del alumno. En este Programa se mantiene una atmósfera de comodidad y de seguridad; se apoyan las funciones y el lenguaje de los niños; se ayuda a los niños a elegir y a tomar decisiones, así como a resolver sus propios problemas y a hacer cosas por sí mismos. Lo que viene, en resumen, a decirse es que la educación es algo más que mera instrucción, tesis muy querida por el autor.

Si el objetivo se centra meramente en la instrucción, a corto plazo se puede rendir significativamente más. Sin embargo, a largo plazo las metas escolares se van diluyendo y emergen características de tipo personal y social, sin duda de mayor trascendencia, para las cuales es preciso prepararse. Y parece ser que los programas educativos deben integrar adecuadamente lo que enseñan con el cómo se enseña. En educación a largo plazo se da transferencia de aprendizajes a conductas, para bien o para mal. Y en ello el cómo se enseña tiene decisiva importancia.

Por esto, no puedo por menos de ensalzar el intento de aunar, bajo el paraguas de la inteligencia ejecutiva, lo cognitivo y lo emocional junto a la dirección recta de la acción.

¿Qué comentarios suscita el libro en mí? Lo de recurrir a un Congreso Virtual no deja de tener su utilidad, además de origina-

¹² Ohmann et al., (1979). *Young Children in action: A Manual for preschool educators. The cognitively oriented preschool curriculum*, Ypsilanti, Mich. : High/Scope Press, 1979. xvi, 336 p. Existe una traducción en español: Ohmann, M., Banet, B. y Weikart, D.P. (1979: 1995). *Niños pequeños en acción. Manual para educadoras*. México: Trillas, 416 pp.

¹³ Véase para más detalle: López López, E. (2006). Educación compensatoria: Efectos recientes de un estudio clásico (High/Scope), *Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa*, v.12:1,

¹¹ Ramey, S. L. y Ramey, C. T. (1999). *Going to school: How to help your child succeed*. New York: Goddard Press

lidad. Sugiero que el desfile de personas de relieve en el campo vendría bien completado al final con la reseña de alguna de sus obras, por si alguien deseara ampliar contenidos. Por otra parte, dada mi confesión de impericia en el campo de la inteligencia, he echado en falta un mayor desarrollo sobre la entidad de la llamada inteligencia ejecutiva. Es decir, habría deseado ver desarrollado un tanto más dicho constructo.

Si voy a cuestiones más prácticas, dado que el autor confiesa que el “niño no nace con esa inteligencia ejecutiva, sino que tiene que adquirirla” (p.12), un nuevo interrogante se refiere a que, si es preciso adquirirla, ¿se convierte por ese mismo hecho el desarrollo de la inteligencia ejecutiva en objetivo de la educación? En principio hay que pensar que sí, pero ¿cómo articular este pensamiento en un proyecto educativo?

Si la educación es ciencia de los medios, debe concretarse en una Metodología. Por ello, me habría gustado que el autor formalizara el desarrollo de la inteligencia ejecutiva, en el que cree, a través de un modelo pedagógico, que se apoye en los objetivos, como motor final de la acción; en los métodos, que conducen a su desarrollo; y en un modelo de evaluación. En relación con los métodos, ¿a cuáles se ha recurrido para su enseñanza? ¿Son todos igualmente válidos y, por tanto, cuáles la investigación experimental ha identificado como los más eficaces?

Como en alguna ocasión se aboga por un “currículum por proyectos”, ¿qué relación tiene esta perspectiva con los enfoques al uso en la enseñanza sobre el desarrollo de competencias? ¿Este enfoque nos obliga a replantear la misma definición de escuela, sobre si es aquella institución de enseñanza orientada al aprendizaje de los saberes básicos y de la convivencia o es algo más y distinto?

Habla, por otra parte, del desarrollo de competencias meta-cognitivas. ¿Cómo se desarrollan? ¿Realmente se pueden enseñar o más bien se pueden aprender, mediante el aprendizaje de unas determinadas maneras? Al menos con sujetos de baja capacidad, la investigación educativa proclama que se pueden aprender a través de metodologías altamente estructuradas y modelos altamente exigentes en los niveles de ejecución.

Es verdad que el libro no tenía como objeto de desarrollo la vinculación de la inteligencia ejecutiva con el cerebro. Por ello, son escasas las alusiones a la neurociencia y más aún a su vinculación con la educación del carácter. Pero si es verdad que la “auto-organización del cerebro en desarrollo se hace siempre en relación con otro cerebro, socialmente”, el papel de la educación es fundamental, y en especial el de los primeros ambientes. Me impresionó, al leer el *Starting Points Report*¹⁴, lo que en él se decía cuando se afirmaba que el ambiente afecta no sólo al número de células del cerebro, ni sólo al número de conexiones entre sí, sino al modo como dichas conexiones se conectan (“wired”) u orientan.

Por ello, sería de sumo interés conocer la relación de la neurociencia con aquellas metodologías de enseñanza, que la investigación educativa ha demostrado como altamente eficaces. Ello beneficiaría la enseñanza de los profesores y el aprendizaje de los alumnos. Igual es que estamos asistiendo “a un interesante progreso científico (... y) el tiempo está maduro para aceptarlo” (p. II). Estaremos al tanto.

Eduardo López

Catedrático de Pedagogía Diferencial. Dpto. de Métodos de Investigación y Diagnóstico en Educación. Facultad de Educación. Universidad Complutense

¹⁴ Starting points: meeting the needs of our youngest children: the report of the Carnegie Task Force on Meeting the Needs of Young Children, Carnegie Corporation of New York, 1994, 132 pp.



Cómo aprende el cerebro. Las claves para la educación

Sarah-Jayne Blakemore y Uta Frith

Editorial Ariel, 2007

En las últimas dos décadas el interés por el conocimiento neurocientífico ha crecido exponencialmente impregnando los más diversos ámbitos científicos, sociales y culturales. Sin embargo, la educación ha sido un reducto que, salvo excepciones meritorias, se ha resistido a adaptar sus paradigmas a este nuevo conocimiento. Bien es cierto que se han cometido abusos en el uso del prefijo neuro (García-Albea, 2011) hasta el extremo de añadirlo a cualquier producto, programa o idea para dotarlos de una supuesta respetabilidad científica, algo a lo que en este caso no ha sido ajena la educación puesto que han proliferado programas de apoyo o determinadas estrategias educativas que, presuntamente, se basaban en investigaciones neurocientíficas. Los profesionales de la educación en España tienen una escasa formación neurocientífica (García Moreno y Sanhueza, 2009) y esto supone un hándicap profesional, pero también un terreno abonado para estas prácticas pseudocientíficas en un colectivo que ha demostrado sobradamente su interés por conocer el funcionamiento cerebral y por poder aplicarlo en la práctica diaria.

El libro de Blakemore y Frith es un honesto intento de acercar el auténtico conocimiento sobre el funcionamiento cerebral a los profesionales de la educación. Las dos autoras son investigadoras y profesoras del Instituto de Neurociencia Cognitiva del University College de Londres y coeditoras, junto con otros, de la revista *Developmental Cognitive Neuroscience*. Sarah-Jayne Blakemore se ha dedicado preferentemente al estudio del cerebro adolescente, mientras que Uta Frith se orienta hacia el autismo y otros trastornos del neurodesarrollo. En lo que sí coinciden es en su interés por trasladar el conocimiento neurocientífico al mundo de la educación como prueban sus numerosas actividades divulgativas y este libro.

El propio título ya nos avanza cuál va a ser la trayectoria a seguir en los capítulos del libro, pero también deja entrever una dificultad intrínseca: no se puede explicar cómo aprende el cerebro en un libro de trescientas páginas y además vincularlo con la problemática educativa. En este aspecto es de valorar el esfuerzo de síntesis que han realizado las autoras para presentar aspectos relevantes de manera esquemática (a veces demasiado) dejando puertas abiertas a la inevitable ampliación de contenidos en textos más especializados. Los dos primeros capítulos tratan de sentar unas bases mínimas para sacar partido al resto, una especie de manual de uso abreviado para poder comprender algunas de las investigaciones que describen más adelante. Como complemento para alcanzar este propósito, el libro incorpora un glosario, unas lecturas recomendadas y un apéndice donde se describen algunas de las técnicas más utilizadas en investigación como las de registro o neuroimagen cerebral.

Parece imprescindible, cuando se habla de neurociencia y educación, empezar por desenmascarar determinadas falacias

ampliamente aceptadas y que sin pudor alguno se exhiben en textos. Por ese motivo, antes incluso de hablar de neuronas o de circuitos cerebrales hablan de estas falacias (o neuromitos) para poner de manifiesto obviedades como la de que utilizamos la totalidad de nuestro cerebro, aunque existan circuitos especializados que muestren mayor actividad cuando acometemos determinadas tareas; todas las regiones cerebrales poseen una funcionalidad concreta, otra cosa es que la ciencia haya sido capaz de comprenderla o describirla. El segundo capítulo, se titula “El cerebro en desarrollo” pero nuevamente está dedicado a precisar algunos aspectos que la neurociencia ha clarificado y que no todos los profesionales de la educación han incorporado a su bagaje. Por ejemplo, que el concepto de periodos críticos en el desarrollo no refleja una tiranía evolutiva, como se pensaba hasta no hace mucho, según la cual si no se estimula en el momento adecuado el aprendizaje de determinadas habilidades o destrezas, se vuelve imposible. O que se ha sobrevalorado la idea de que es necesario un ambiente enriquecido para crear supercerebros cuando lo único que cuenta con evidencia empírica contrastada es que es mucho más pernicioso la carencia ambiental, ya que la falta de estímulos en periodos evolutivos sensibles (antes llamados críticos) sí puede ocasionar deficiencias cognitivas y emocionales. La estimulación ambiental normal (cojamos con cautela el calificativo de normal; nos referimos a la estimulación adecuada en un entorno de convivencia gratificante con interacciones múltiples entre sus miembros) suele ser suficiente para desarrollar las habilidades cognitivas propias de la especie humana y no hay evidencia de que la sobreestimulación ocasione ventajas significativas. Otra cuestión es el posterior entrenamiento que permite el desarrollo y la mejora de habilidades concretas a lo largo del periodo escolar.

El resto de los capítulos se puede agrupar en dos grandes bloques centrados en el lenguaje y el aprendizaje, respectivamente, más dos capítulos dedicados a trastornos del neurodesarrollo y al cerebro adolescente, aspectos en los que son especialistas las autoras. Parece lógico que sea así cuando hay limitaciones de espacio, porque si el aprendizaje es el objeto de estudio en la investigación neuroeducativa (Howard Jones, 2010), el lenguaje es objeto y herramienta de aprendizaje simultáneamente.

En la mayoría de los capítulos, la estructura viene determinada por los estudios a los que se hace referencia; es decir, nos encontramos ante una recopilación de investigaciones que tienen que ver con los objetivos perseguidos en el capítulo correspondiente. Por un lado, esto tiene la ventaja de que el lector puede obtener una visión panorámica del tema correspondiente a partir de investigaciones diversas que contribuyen, por ejemplo, al aprendizaje de la lectura y la escritura, el cálculo matemático o destrezas motoras. El precio que hay que pagar por presentar una

panorámica tan amplia en tan pocas páginas es que no resulta fácil vincular los contenidos para que el lector se forme una idea organizada de los diferentes aspectos que se abordan en cada capítulo. Pongamos el ejemplo del aprendizaje; se trata de un aspecto fundamental y máxime cuando hablamos de educación. Resulta prácticamente imposible condensar la extensísima investigación neurocientífica sobre este tópico, por lo que las autoras han optado por presentar algunos de los aspectos más novedosos y relevantes. El primero de los capítulos que abordan las bases cerebrales del aprendizaje está dedicado de manera específica a la plasticidad cerebral como soporte neurobiológico de este proceso y a algunas de las diferentes situaciones que pueden modificar dicha plasticidad. En el resto de los capítulos han tratado de mostrar algunos de los estudios más determinantes para comprender el alcance de este tipo de investigaciones. Así, han planteado temas tan dispares como los diferentes sistemas de memoria, las estrategias o procedimientos que mejoran el aprendizaje o los efectos de diversos factores vinculados a la capacidad de aprendizaje como el sueño, las emociones, la nutrición o la psicofarmacología, con la dificultad que supone condensar todo ello en poco más de sesenta páginas.

Mención aparte merecen los dos capítulos al margen de lenguaje y aprendizaje, el dedicado a los trastornos del desarrollo (capítulo 7) y el dedicado al cerebro adolescente (capítulo 8). Teniendo en cuenta las respectivas especializaciones de las autoras, el cerebro adolescente y el autismo, parece obvio que incluirían estos capítulos. En el capítulo dedicado a los trastornos del neurodesarrollo se referencian los más relevantes haciendo especial hincapié en el autismo, pero revisando también estudios sobre el trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH), los trastornos de conducta y las alteraciones emocionales. En el capítulo dedicado al cerebro adolescente se pasa revista a los aspectos neurofisiológicos básicos (poda sináptica y mielinización) que acontecen en la corteza prefrontal y a algunos trabajos sobre diferencias de rendimiento cognitivo. Es muy difícil abarcar todos los matices de la maduración cerebral en la adolescencia y se echa de menos alguna referencia a procesos similares en estructuras límbicas, que estarían en la base del procesamiento emocional y afectivo en esta etapa (Crone y Dahl, 2012) y que ilustrarían algunos aspectos de la problemática adolescente en la educación secundaria.

Es cierto que el libro tiene un carácter más divulgativo que científico, pero el objetivo de las autoras queda claro en el prefacio donde afirman que se trata "... de demostrar con ejemplos cómo las investigaciones sobre el cerebro y el aprendizaje pueden influir en el modo en qué pensamos sobre la enseñanza"

(p. 13). La no inclusión de citas bibliográficas al estilo de las publicaciones científica facilita su lectura a aquellas personas no familiarizadas con ese tipo de publicaciones; para los que tienen intereses más específicos, las autoras dan suficiente información como para poder localizar los estudios que se comentan a través de las fuentes de documentación habituales.

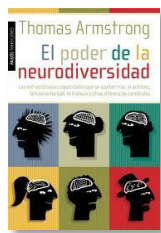
En resumen, podemos considerar este libro como una recopilación de estudios interesantes acerca del funcionamiento cerebral y que pueden ser útiles para el profesional de la enseñanza. No hay que olvidar que la edición original de este libro es de 2005 y el paso del tiempo en neurociencia es más rápido de lo deseable, sobre todo a la hora de valorar revisiones científicas sobre la actividad cerebral y sus implicaciones educativas. Por este motivo, es inevitable que queden fuera algunas investigaciones relevantes que las autoras citan de modo tangencial, pero sin entrar en consideraciones más extensas, en parte porque son incipientes y todavía quedan muchos aspectos por clarificar antes de sacar conclusiones definitivas. Este es el caso de los estudios sobre neurogénesis adulta o el sistema de neuronas espejo, dos aspectos fundamentales para comprender un poco mejor el proceso de aprendizaje. No obstante, el libro en su conjunto constituye un excelente punto de partida para los profesionales de la educación, y también para cualquier persona interesada en el funcionamiento cerebral, en su acercamiento al ámbito de la neurociencia aplicada a la educación.

Referencias bibliográficas

- CRONE, E.A.; DAHL, R.E. (2012): "Understanding adolescence as a period of social-affective engagement and goal flexibility". *Nature reviews. Neuroscience*, 13, pp. 636-650.
- GARCÍA-ALBEA, J.E. (2011): Usos y abusos de lo *neuro*". *Revista de Neurología*, 52(10), pp. 577-580.
- GARCÍA MORENO, L.M. ; SANHUEZA GUZMÁN, C. (2009): "Psicobiología y neurociencia en la formación pedagógica". *Revista de Psicología y Educación*, 1(3), pp. 149-161.
- HOWARD-JONES, P. (2010): *Introducing neuroeducational research*. Routledge, New York

Luis Miguel García Moreno

Profesor titular de Psicobiología. Facultad de Educación. Universidad Complutense



El poder de la neurodiversidad

Thomas Armstrong

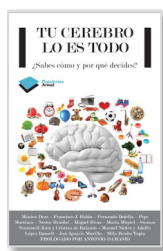
Editorial Paidós. Año 2012

El término neurodiversidad se acuñó recientemente para designar un nuevo modo de ver los trastornos neurológicos a la luz de lo que al respecto han descubierto las investigaciones de las disciplinas neurocientíficas. Efectivamente, en los cerebros de las personas a las que se les diagnostica un trastorno mental, hay disfunciones que en realidad contienen virtualidades inusitadas y capacidades deslumbrantes, que abren a estas personas un amplio campo de posibilidades personales y laborales. Como dice el autor “individuos que los demás consideran problemáticos tienen dones que deberían compartir con el mundo que les rodea: el pensamiento visual de los disléxicos, la búsqueda de novedades de las personas con TDAH, el talento artístico de algunos individuos con trastorno bipolar, el sentido del humor y la mímica de muchas personas con discapacidad intelectual, la sensibilidad mística y poética del esquizofrénico...” Se trata de “talentos y habilidades

literalmente desperdiciadas, porque los empresarios no han sabido ver las destrezas con las que esas personas podrían contribuir al éxito de sus negocios”

El libro aborda temas como el aprovechamiento de las tecnologías de apoyo terapéutico, las salidas profesionales para los adultos neurodiversos, las ventajas de la ansiedad, el aprovechamiento de la neurodiversidad en el aula, el arcoíris de inteligencias, el pensar en una clave diferente, el lado positivo del autismo, etc.

El autor nos anima a preservar esos “genes aberrantes” para dotar a nuestra civilización de una diversidad vital e interesante.



Tu cerebro lo es todo. ¿Sabes cómo y por qué decides?

Mónica Deza, Francisco J. Rubia, Fernando Botella, Pepe Martínez, Néstor Braidot, Miguel Rivas, Marta Miquel, Carla Sanchis-Segura, Cristina de Balanzó, Siemon Scammell-Katz, Manuel Núñez, Adolfo López Rausell, José Ignacio Murillo, Mila Benito

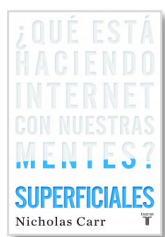
Plataforma Editorial. Colección Actual. Año 2012

El libro recoge las aportaciones de catorce expertos en diversas disciplinas, que a su vez tienen conocimientos sobre las ciencias del cerebro. Estos expertos analizan los procesos de decisión de la mente en los diversos ámbitos en los que son especialistas. Se tratan temas tales como: el neuroliderazgo, los neuro KPI (*Key Performance Indicators*, o Indicadores Clave de Desempeño); el *neuromanager*, el *eye tracking*, la revolución neurocientífica (la cuarta revolución de la historia), la creatividad; cuando los mecanismos del deseo y la motivación enferman, la mente del comprador, *emotion explorer lab*, ética, felicidad y neurociencias, medición de la persuasión, etc.

Los autores son, como se ha indicado, expertos en sus respectivos ámbitos profesionales: Mónica Deza (Vicepresidente Innovación McCann Worldgroup), Francisco J. Rubia (Catedrático emérito de la Facultad de Medicina de la UCM y ex Director del Instituto de Cartografía Cerebral del Inst. Pluridisciplinar-UCM), Fernando Botella (Consultor de formación y desarrollo, CEO de Think & Action), Pepe Martínez (Managing Director de Millward

Brown), Néstor Braidot (Fundador del Centro de Investigación de Neurociencias Aplicadas), Miguel Rivas (Neuroeconomista y Profesor de UCLAN University), Marta Miquel y Carla Sanchis-Segura (Profesor Titular de Psicobiología), Cristina de Balanzó y Siemon Scammell-Katz (Global Head of Neuroscience y Global Director Retail and Shopper de TNS, respectivamente), Manuel Núñez (Socio Director de Clover Bayes Company), Adolfo López Rausell (Director de KMC Consultores y Presidente del Club de Marketing de Valencia), José Ignacio Murillo (Profesor e Investigador del Instituto Cultura y Sociedad de la Universidad de Navarra – Director del Proyecto “Mente, Cerebro, Biología y Subjetividad”) y Mila Benito (Directora de la Unidad de Neurociencias de McCann Erickson).

Una visión multiforme que pone de manifiesto el impacto de la Neurociencia en todos los ámbitos de la actividad humana



Superficiales. ¿Qué está haciendo Internet con nuestras mentes?

Nicholas Carr

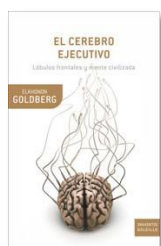
Editorial Taurus. Año 2011

Según Carr, si nuestro cerebro, como demuestran las evidencias neurocientíficas y paleoantropológicas, cambia en respuesta a nuestras experiencias, es posible prever que la tecnología que usamos para encontrar, almacenar y compartir información pueda transformar nuestros procesos neuronales y su soporte; en el bien entendido de que se trata de una transformación en sentido estricto, es decir, una transformación física. Así pues, la Red estaría reconfigurando nuestro cerebro según su propio diseño tecnológico, hasta conseguir que operara como un correlato de sus interfaces (“tecnologías intelectuales” en palabras del autor), emulándolas. Nuestro cerebro se habilitaría así para manejar y revisar informaciones copiosas, dispensadas en formato virtual; pero ese manejo implicaría una mirada superficial, aunque capaz de extraer lo inmediatamente pertinente para los intereses del que busca. Un cerebro experto “surfeador” de un océano que abordaría deslizándose por su superficie, como si toda la realidad sobre la que se desliza fuera una realidad virtual; y

picoteando, distraída y rápidamente, sobre fragmentos pequeños de información-realidad.

La reflexión profunda, la contemplación, el análisis minucioso, la comprensión trabajosa de los detalles, las síntesis totalizantes y las intuiciones brillantes sobre cuestiones complejas, que han sido la base del avance científico, cultural y espiritual de la Humanidad, se verían definitivamente comprometidos. Y la memoria también; la posibilidad de disponer en cualquier momento de la información que necesitamos, dispensaría al cerebro del esfuerzo de la memorización.

El autor declara: “La ciencia habla claro en ese sentido: la habilidad de concentrarse en una sola cosa es clave en la memoria a largo plazo, en el pensamiento crítico y conceptual, y en muchas formas de creatividad. Incluso las emociones y la empatía precisan de tiempo para ser procesadas. Si no invertimos ese tiempo, nos deshumanizamos cada vez más”.



El cerebro ejecutivo. Lóbulos frontales y mente civilizada

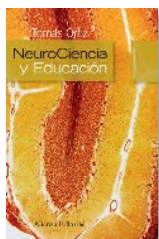
Elkhonon Goldberg

Editorial Crítica. Año 2009

El autor explora la región más humana del cerebro, el lóbulo frontal y describe la gran variedad de “estilos” que presenta el lóbulo frontal en los humanos. Describe cómo esta área cerebral se ocupa de procesos mentales complejos, cómo controla nuestro juicio y nuestro comportamiento social y ético, lo vulnerable que es a las lesiones y lo destructivo que son las consecuencias de una lesión cerebral, conduciendo a los individuos a un comportamiento caótico, desorganizado, asocial e incluso criminal.

Describe también los diversos procedimientos para comprobar el estado de la función cognitiva, así como para desarrollarla y reforzarla.

Presenta además un gran número de casos clínicos, fruto de una dilatada experiencia clínica e investigadora, experiencia que también refiere en este libro, y que comenzó con el gran neurólogo ruso Luria.



Neurociencia y Educación

Tomás Ortiz

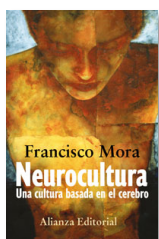
Alianza Editorial. Año 2009

No resulta fácil decidir qué conocimientos sobre el cerebro son más pertinentes para su aplicación a la educación, pero, efectivamente, el autor consigue este objetivo presentándonos los avances científicos sobre el funcionamiento del cerebro en los procesos de aprendizaje y desarrollo del niño y del adolescente, y extrae de ellos consecuencias prácticas inmediatas para padres y educadores.

Por otra parte, el libro pretende animar a padres y profesionales de la enseñanza a adentrarse en este campo apasionante de la Neurociencia. Este ámbito de la investigación científica comparte con otros una característica distintiva: la de encontrarse

inmerso en un proceso de avance acelerado, que tiene un desarrollo igualmente continuado sobre aplicaciones a diferentes áreas del saber.

El conocimiento constituido por la decantación de los avances neurocientíficos consolidados propiciará la participación de padres y de educadores a la hora de aplicar, en sus respectivos entornos educativos, los desarrollos de programas neuropedagógicos, y también recomendaciones de intervención como las que recoge el libro de Tomás Ortiz. Ello podría incrementar, de un modo significativo, los niveles de calidad y eficacia tanto de la práctica docente como de la acción educativa de las familias.



Neurocultura. Una cultura basada en el cerebro

Francisco Mora

Alianza Editorial. Año 2007

El Profesor Mora llama Neurocultura al encuentro entre la Neurociencia, o conjunto de conocimientos sobre el funcionamiento del cerebro, y el producto de ese funcionamiento, que sería la conducta y el pensamiento humanos. Reconoce que por sí sola nunca podrá la Neurociencia ofrecer explicaciones para todas las cuestiones que se plantean en torno a la condición humana - la ética, el arte, la sociología, etc.- pero sí cree que la Neurociencia puede contribuir a que se consiga formular una teoría que unifique todos los conocimientos sobre el hombre.

El autor describe los circuitos neuronales que participan en la elaboración de decisiones, emociones, sentimientos, juicios y comportamientos éticos. Así, la Neurofilosofía se pregunta si compromete nuestra libertad y nuestra objetividad el hecho de saber que nuestras decisiones son producto del condicionamiento que sobre ellas ejercen los códigos ancestrales, nuestras patolo-

gías, la educación recibida, el medio ambiente que nos rodea y nuestro entorno social y cultural. La Neuroética, estudia los circuitos que determinan nuestro ser ético y moral, así como las implicaciones morales correspondientes. La Neurosociología ayudaría a entender las tendencias agresivas, y de este entendimiento podrían derivarse implicaciones jurídicas evidentes.

El estudio también aborda cuestiones de Neuroeconomía, Neuropsicología, Neurolingüística, e incluso de Neuroteología, así como la consideración del Arte desde la perspectiva de sus correlatos cerebrales.

El autor presenta un panorama de cuestiones cuyo desarrollo está por ahora en sus comienzos, pero esboza las bases sobre las que esos desarrollos deben fundamentarse, y los caminos que la investigación debe recorrer.

PARTICIPACIÓN EDUCATIVA

Inicio Dirección y Edición Normas de publicación Números anteriores Contacto

Número extraordinario. Diciembre 2012

La investigación sobre el cerebro y la mejora de la educación

Entrevista

Joaquín Fuster



Profesor e investigador del "Semel Institute for Neuroscience & Human Behavior" de la UCLA (Universidad de California, Los Angeles)

Experiencias Educativas

Carmen Cavada Martínez
Cómo enseñar Neurociencia a profanos

Martín Lobo

... en la formación inicial del ... experiencia pionera

Presentación

Francisco López Rupérez

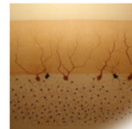
La revista Participación Educativa constituye una aportación del Consejo Escolar del Estado a la reflexión sobre educación que se ha ido consolidando, progresivamente, en el correspondiente panorama bibliográfico en lengua española. Inicia su andadura en 2005 y en el momento presente acumula 19 números ordinarios y 3 números extraordinarios, ...>>



Prólogo

Juan Lerma

El patrimonio científico en el campo de la neurociencia en España es notable, con figuras de renombre como Ramón y Cajal, considerado por muchos como el padre de la moderna neurociencia. Tras un análisis retrospectivo, se concluye que nuestro país ha experimentado un notable crecimiento en cuanto a inversión científica, aunque todavía va a la zaga de muchos países ...>>



El diálogo entre Neurociencia y Educación

Neurociencia y Educación

José Antonio Marina

En este momento, somos conscientes de que la educación es la gran exclusiva humana que define a nuestra especie, porque permite a cada individuo desarrollarse...

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE EDUCACIÓN, FORMACIÓN PROFESIONAL Y UNIVERSIDADES SECRETARÍA DE ESTADO DE EDUCACIÓN, FORMACIÓN PROFESIONAL Y UNIVERSIDADES

Buscar: Buscar

Consejo Escolar del Estado

Bienvenido | Benvingut | Benvido | Ongi etorri

Está usted en: Inicio > Noticias del Consejo

Noticias del Consejo

- Historico de Noticias
- Organización
 - Composición
 - Funcionamiento
- Actuaciones
 - Informe anual sobre el estado del Sistema Educativo
 - Dictámenes
 - Junta de Participación Autonómica
 - Actividad Internacional
- Publicaciones
 - Informes anuales sobre el estado del sistema educativo
 - Revista "Participación Educativa"
 - Seminarios
- Contacto
 - Sede

[19.DIC.2012]

Revista "Participación Educativa" del Consejo Escolar del Estado

Número extraordinario:
 "La investigación sobre el cerebro y la mejora de la educación"

[17.DIC.2012]

El diálogo entre Neurociencia y Educación

El miércoles 19 de diciembre, a las 18:00, bajo el título "El diálogo entre Neurociencia y Educación", tendrá lugar en el **Salón de Plenos** del Consejo Escolar del Estado un encuentro con la intervención del filósofo y escritor, **José Antonio Marina**, y el neurocientífico y director del Instituto de Neurociencias del CSIC, **Juan Lerma**. Este acto se celebra con ocasión de la presentación del número monográfico "La investigación sobre el cerebro y la mejora de la educación" de la revista "Participación Educativa" del Consejo Escolar del Estado, que inicia su 2ª época como revista web. El coloquio, al que se sumará el público asistente, será presidido y moderado por **Francisco López Rupérez**, presidente del Consejo.

* El aforo del Salón de Plenos del Consejo se ha completado con las inscripciones recibidas. Los interesados en el diálogo entre Neurociencia y Educación **podrán seguir en directo la sesión completa a través de internet**, en la dirección:
<http://www.ite.educacion.es/es/emitiendo-en-directo>

El envío de preguntas en el transcurso del Diálogo se puede realizar a través de:
c.e.: participacioneduca@mecd.es y de Twitter: [#NeuroEduca](https://twitter.com/NeuroEduca)



La revista PARTICIPACIÓN EDUCATIVA es una aportación del Consejo Escolar del Estado a la reflexión sobre educación, que comienza su andadura en 2005. El tema elegido para iniciar esta segunda época de la revista, *La investigación sobre el cerebro y la mejora de la educación*, constituye posiblemente el de mayor potencial, en el largo plazo, dentro del marco de la revolución del conocimiento que está protagonizando la humanidad.

La complejidad de la mente humana en formación, su naturaleza intrínsecamente evolutiva, la multiplicidad de factores biológicos, culturales y ambientales en general que inciden sobre ella, y sus interacciones, se dan cita en torno a los aprendizajes escolares y hacen de cada alumno un sujeto irrepetible.

Cabe pensar que ese carácter irrepetible de cada niño haya contribuido a alimentar — más que en otras profesiones que trabajan también con y para personas— la dimensión de arte de la enseñanza, y es poco probable que el ejercicio de la docencia deje alguna vez de poseer esa naturaleza singular y profundamente humana que lo identifica; pero sólo podrá avanzar de un modo sistemático si incorpora progresivamente a su acervo profesional la componente científica.