

Educación y Neurociencia

Education and Neuroscience

Francisco Rodríguez Santos
Universidad Autónoma de Madrid

Resumen. El objetivo de la presente revisión es plantear algunas de las implicaciones de los datos de la neurociencia en los procesos educativos. El primero de ellos es considerar el aprendizaje como un factor más en la potenciación de la plasticidad neuronal. En segundo lugar, la constatación de la estrecha relación que existe entre el cerebro y el propio cuerpo proporcionando una interacción constante de los procesos cognitivos y emocionales. Y, en tercer lugar, la importancia de considerar los mecanismos cerebrales del aprendizaje asociativo y no asociativo, así como de los distintos sistemas de memoria. La presencia de factores genéticos y no genéticos en el desarrollo de unidades funcionales cognitivo-neuronales a lo largo de toda la vida, abre un amplio abanico de oportunidades para el aprendizaje más allá de la etapa escolar.

Palabras clave: cerebro y educación, plasticidad neuronal, memoria y aprendizaje, neurociencia y educación.

Abstract. The aim of this review is to explain some of the implications of neuroscience's data for the educational process. First, learning is considered one more factor of neuronal plasticity. Second, the evidence of the close links between brain and body reveals the interaction between cognitive and emotional processes. Third, brain mechanisms underlie both associative and non associative learning and memory processes. Finally, the presence of both non genetic factors in the development of cognitive-neural functional units over the lifetime opens a wide range of learning opportunities beyond the school period.

Key words: brain and education, neural plasticity, memory and learning, neuroscience and education.

Durante mucho tiempo se ha obviado en educación un principio fundamental: la mente está en el cerebro. Esto es, todo lo que afecta al cerebro se va a manifestar en procesos, estilos o alteraciones mentales y, el cerebro se transforma a partir de aquello que afecte a la mente, siendo la experiencia, el aprendizaje, uno de los elementos más importantes.

La mente como producto de una triple interacción

La génesis de la mente puede entenderse como el

La correspondencia sobre este artículo puede enviarse al autor al siguiente correo electrónico: frodriguez@cap.es

producto de la interacción de las diferentes áreas del cerebro, de éste con el propio cuerpo y finalmente de su interrelación con el mundo circundante.

- La mente como producto de la interacción cerebro consigo mismo.

En cuanto a la relación entre diferentes áreas cerebrales, probablemente el modelo explicativo más sencillo sea el defendido por Luria a partir del estudio de las lesiones en personas con daño cerebral debido a heridas de bala y metralla (Luria, 1979). Este autor plantea la existencia de una primera "unidad funcional" o Sistema de Activación,

compuesta por el sistema reticular de activación ascendente (SARA) desde zonas superiores de la médula, el tronco del encéfalo (bulbo raquídeo, protuberancia y mesencéfalo), y el diencéfalo (tálamo e hipotálamo). Dichas estructuras se encargarían de modular la activación cortical, filtrando los estímulos de entrada y participando por tanto en procesos de atención (fásica y tónica). Serían responsables también de proporcionar información al sistema para suministrar respuestas básicas de orientación ante los estímulos del entorno, como mirar a la fuente de un sonido o seguir con la mirada un objeto que se desplaza en su campo visual, así como mantener las funciones básicas de supervivencia del organismo (p.ej. control de la temperatura, ciclos vigilia-sueño...). Estas funciones se mantienen en personas con graves alteraciones del desarrollo cerebral como algunos de aquellos escolarizados en centros de Educación Especial.

La segunda unidad o Sistema Sensorial se encarga de procesar la información que llega a través de los sentidos tanto los que se producen en el propio cuerpo como los externos a éste. Esta unidad se encuentra a su vez dividida en distintas áreas de procesamiento consecutivamente más complejo. Así, el lóbulo temporal primario se encargaría de la percepción auditiva; el lóbulo temporal secundario, analiza y sintetiza los sonidos y los procesa de forma secuencial, incluyendo la intensidad, tono y ritmo, tanto en sus aspectos verbales como no verbales; el lóbulo parietal primario tiene como función la percepción táctil básica mientras que el parietal secundario participa de la discriminación tanto de estímulos sencillos como: de la detección del movimiento de los miembros y el reconocimiento de objetos por el tacto; el lóbulo occipital primario analiza los estímulos visuales básicos (sombras, contrastes, dirección...) proporcionando los datos suficientes al lóbulo occipital secundario para la discriminación y reconocimiento de formas, patrones, letras...; finalmente, un área de integración plurimodal, denominada región parieto-occipito-temporal, tiene la función de analizar la información que llega de diferentes zonas para la realiza-

ción de una tarea compleja como la morfosintaxis, la lecto-escritura, el cálculo, la rotación mental espacial... (fig. 1)

Gran parte de las dificultades del aprendizaje, incluyendo los trastornos específicos del lenguaje, las dislexias-disgrafías, discalculias, dismnias y agnosias visoespaciales y táctiles, se deben a disfunciones en el procesamiento de estas áreas.

Por último, la tercera unidad, relacionada con la Planificación y Emisión de las conductas, se compone de tres áreas funcionales, una terciaria implicada en la toma de decisiones y evaluación de las propias respuestas en el ambiente, el control de los impulsos, la demora de la gratificación y la atención sostenida o focalizada. De aquí parte la información para la secuenciación de la actividad motora, incluyendo el habla, que se sitúa en las áreas frontales secundarias y, finalmente, la programación de los actos motores simples en el área motora primaria.

Estudios recientes, han especificado al menos cuatro grandes funciones de los lóbulos prefrontales: *energetización*, ejecutivas, autorregulación conductual/emocional y aquellas implicadas en los procesos metacognitivos (Stuss, 2009). La función de *energetización* consiste en el proceso de iniciación y mantenimiento de cualquier forma de respuesta, situada fundamentalmente en el córtex frontal medial superior relacionada con los estados de sueño, vigilancia, alerta..., atención fásica en definitiva, en estrecha interacción con lo que Luria denominó primera unidad funcional. La disfunción en éste área implica lentitud de procesamiento y conductual, ausencia de iniciativa, apatía, mutismo y reducción de la fluidez verbal.

Existe un gran grupo de funciones denominadas *ejecutivas*, que constituyen actividades cerebrales de alto nivel que proporcionan control y dirección a las funciones de bajo nivel más automáticas (atención, percepción...). Suele diferenciarse entre funciones de inicio de la tarea y de monitorización. La primera es la habilidad para establecer una relación entre estímulo y respuesta antes de haber iniciado la tarea (planificación) o a través de ensayo-error durante el

aprendizaje inicial de una nueva tarea. Las áreas cerebrales implicadas son el córtex prefrontal ventromedial, especialmente del lóbulo izquierdo o bilateral. Los síntomas de su disfunción incluyen la dificultad para establecer el criterio para responder o la pérdida de éste, así como la regulación verbal del acto motor. Por su parte, la función de monitorización, es el proceso de comprobación sobre la marcha de la calidad de conducta emitida y su ajuste. Se sitúa en el córtex prefrontal ventrolateral derecho y su disfunción produce problemas, además de monitorización de la propia conducta, la dificultad para regular el tiempo de realización de las tareas que se le proponen al sujeto.

La función de *auto-regulación conductual/emocional* representa la comprensión de las consecuencias emocionales de la propia conducta, para determinar la respuesta más ajustada, cuando por alguna circunstancia, no son suficientes: el análisis cognitivo, los hábitos o las claves ambientales. El área cortico prefrontal ventromedial, implicado en el sistema de recompensa, es el encargado de llevar a cabo dicha función. El síntoma de disfunción más importante es la inhabilidad regular la conducta de acuerdo a metas y restricciones internas.

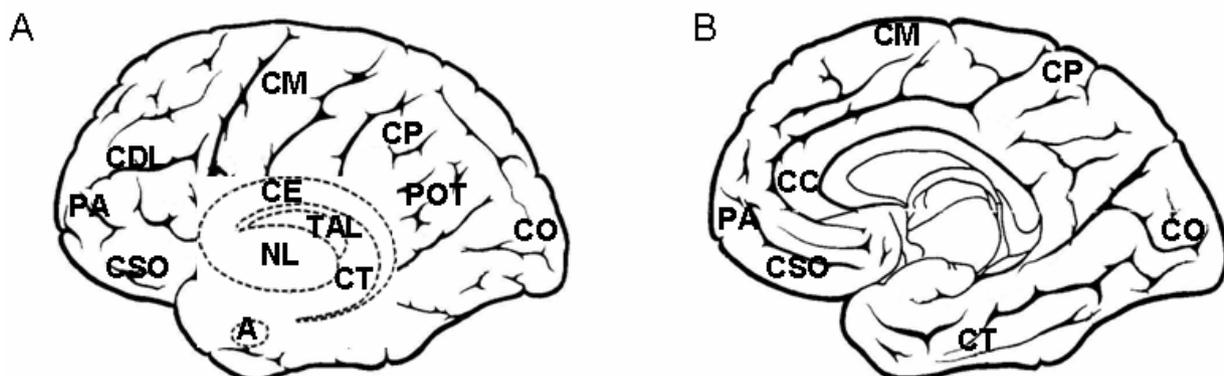
Para finalizar esta descripción de las funciones prefrontales, nos referiremos a aquellas relacionadas

con la habilidad para hacer inferencias sobre el mundo, comprender y empatizar con los otros y servir de base para el juicio social apropiado que en psicología cognitiva se denominan procesos metacognitivos y que incluye aspectos tan importantes para la cognición de uno mismo y de los demás: la integración de emoción y cognición, conciencia de sí mismo y de la propia historia, aspectos de la personalidad, teoría de la mente y apreciación del humor. El área cuya disfunción provoca alteraciones en dichas capacidades es el polo anterior frontal y medial.

Los trastornos que cursan con afectación de las funciones del lóbulo frontal son múltiples, tanto aquellos relacionados con el control de los impulsos (trastorno de conducta, hiperactividad, tics, obsesiones-compulsiones, estereotipias...) como los relacionados con el estado de ánimo (ansiedad, depresión, síntomas bipolares...) y que pueden observarse en el Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad-Impulsividad, los Trastornos del Espectro Autista, el Trastorno Obsesivo-Compulsivo o el Síndrome de Gilles de La Tourette, entre otros...

Por lo explicado hasta el momento podría hacerse la idea de un cerebro que procesa la información de forma secuencial, es decir, un dato detrás de otro,

Figura 1. Principales áreas cerebrales enumeradas en el texto. A: vista lateral del hemisferio izquierdo con núcleos subcorticales en línea discontinua. B: vista medial del hemisferio derecho. CP: Córtex parietal; CO: C. occipital; CT: C. temporal; POT: área de asociación heteromodal parieto-occipito-temporal; CSO: C. asociación supra-orbital; PA: polo anterior frontal; CDL: C. asociación dorsolateral; CM: C. motor primario; CC: C. cingular; A: amígdala; CE: cuerpo estriado; NL: núcleo lenticular; TAL: tálamo.



activando áreas de forma paulatina. Sin embargo, esto no es del todo cierto. Aunque es verdad que existe un procesamiento secuencial de la información, en especial para el lenguaje oral y el análisis perceptivo visual de estímulos complejos o novedosos, la mayor parte del procesamiento cerebral ocurre de forma paralela y simultánea. La idea general es que cuando llega un estímulo al área cerebral receptor correspondiente, éste es analizado en partes, procesado de forma separada por módulos especializados, y vueltos a integrar posteriormente para proporcionar una respuesta adaptada al medio.

- La mente como producto de la interacción cerebro-cuerpo.

El sistema nervioso central, encéfalo y médula espinal, reciben información del estado del cuerpo a través de las distintas divisiones o subsistemas del sistema nervioso periférico y endocrino, para proporcionar una respuesta adecuada con el objeto de regular el medio interno. En cuanto al sistema periférico, la división somática proporciona información sobre el estado muscular, la posición de las extremidades y el medio externo. Por otra parte, el sistema autónomo, también denominado sistema motor visceral, se encarga de la musculatura lisa y las glándulas exocrinas. Este último se divide a su vez en el sistema simpático, implicado en la respuesta del organismo ante el estrés; el sistema parasimpático, que interviene en la preservación de los recursos y recuperación de la homeostasis o equilibrio y; el sistema entérico, que se encarga del control del músculo liso del tubo digestivo.

A través del sistema somático, el cerebro va elaborando una representación del propio cuerpo durante el desarrollo. Suelen distinguirse tres niveles de esta representación en el funcionamiento cognitivo (Peña-Casanova, 2007), una descripción estructural, la conciencia del propio cuerpo y el conocimiento general sobre el cuerpo humano. Nos centraremos en esta revisión únicamente en los dos primeros por su relevancia con el tema.

La estructura del propio cuerpo se construye prin-

cipalmente a través de la visión de éste por la persona, de esta forma sabe donde empieza y termina su cuerpo y la relación entre sus partes y el cuerpo de otros. Este conocimiento puede verse alterado en las personas con déficit visuales que han de guiarse por otras entradas sensoriales. Algunos de los trastornos habituales de este nivel son la agnosia digital, o dificultad para identificar o nombrar los propios dedos de la mano, así como la desorientación derecha-izquierda en el cuerpo de uno mismo. En algunos casos éstos síntomas se dan junto a alteraciones en el cálculo y en la grafía formando el denominado Síndrome de Gerstmann, por lesiones parietales izquierdas (Peña-Casanova, 2007).

Por otra parte, la conciencia del propio cuerpo se elabora a partir de la recepción constante de estímulos de los husos musculares, los receptores osteotendinosos, la información vestibular del oído interno, de los sentidos táctiles y la visión. Para algunos autores, esta conciencia es lo que define el esquema corporal. La alteración más conocida es la denominada sensación del miembro fantasma (Ramachandran, 1998), en el que la persona sigue percibiendo como real una parte de su cuerpo que ha desaparecido por amputación quirúrgica o traumática. Ésta sensación perdura en el tiempo y con frecuencia, por efecto de la plasticidad cerebral, se va desplazando a otras partes corporales que tienen representación cortical cercana a las de la zona amputada. Así, una persona puede sentir que se toca su mano, cuando se estimula una parte de su cara.

Existen sin embargo otras alteraciones de la conciencia del cuerpo que ocurren con cierta frecuencia en el contexto educativo. Una de ellas es la anosognosia de la hemiplejía o negación de la existencia de dicho trastorno a pesar de la evidencia, que puede ir acompañada a su vez de una heminegligencia o falta de atención al propio lado del cuerpo y al espacio extrapersonal correspondiente. Cuando se acompaña de alucinaciones sinestésicas y asimbolía al dolor, se denomina Síndrome de Anton-Babinski y se produce por accidente cerebro vascular de la arteria cerebral media derecha.

La asimbolía al dolor es considerada un trastorno

de la conciencia corporal como consecuencia de la interrupción de las asociaciones entre la corteza sensorial parietal, que recibe las aferencias del propio cuerpo, y el sistema límbico, que proporciona carácter emocional a dichas percepciones. Este trastorno podría explicar la alta resistencia al dolor, o quizá únicamente su expresión emocional, en personas con autismo, esquizofrenia y otras alteraciones del desarrollo.

Los datos más recientes sobre la anosognosia implican a un sistema de feedforward que incluye particularmente regiones corticales prefrontales y parieto-temporales, así como el cortex insular y el tálamo derechos (Orfei et al. 2007).

El sistema nervioso autónomo es denominado así porque en un tiempo se pensó que era independiente del nervioso central. Junto con el sistema neuroendocrino y sus conexiones con el sistema somático, participa en el sistema corporal de regulación interno, proporcionando información al cerebro sobre los órganos, facilita la emisión de respuestas adecuadas para su regulación y participa en los estados emocionales.

Esta regulación implica el mantenimiento de la homeostasis, integración de respuestas adaptativas a los estímulos internos y externos, incluyendo las reacciones de miedo y estrés, está implicado en las conductas motivacionales básicas (alimentación, ingesta de líquidos y respuesta sexual), modula la sensación de dolor y regula la función inmune (Westmoreland et al. 1994). La emoción se considera el producto de la interacción entre factores periféricos y centrales, correspondiendo a la corteza el papel de interpretar y dar significado emocional a la información que recibe de las reacciones corporales (Kandel et al. 1996). A este respecto, Damasio plantea la hipótesis del “marcador somático” que proporciona información a zonas ventrales y mediales del cortex prefrontal, valiéndose de significados emocionales en una situación de riesgo y conflicto, incluso sin tener todos los datos cognitivos conscientes (Damasio, 2001).

En este sistema emocional intervienen varios componentes. Uno relacionado con la actividad pe-

riférica y central y los cambios subyacentes viscerales y hormonales (temperatura, frecuencia cardíaca, presión arterial...), otro que tiene que ver con las conductas asociadas a los estados emocionales (expresión facial, tono de voz y postura) y, finalmente, los procesos cognitivos sobre los que las personas informan en cuanto a sentimientos subjetivos como el amor y el odio, así como ideas, memorias, planes (Kolb y Whishaw, 1996).

La modulación de la conducta emocional se ha atribuido a distintas estructuras en diferentes niveles del sistema nervioso que están estrechamente relacionadas entre sí. Así, parece que el hipotálamo, actuando sobre el sistema nervioso autónomo, a través de los circuitos reflejos viscerales que se organizan en el tronco del encéfalo, es responsable de las manifestaciones corporales de los estados emocionales (Kandel et al., 1996). Por su parte, un área del sistema límbico, la amígdala, se encarga del análisis de la información que procede del cuerpo, relacionarlo con la memoria autobiográfica y proporciona una interpretación inicial del valor emocional del estímulo. Finalmente, la corteza, interviene en la interpretación cognitiva de la emoción y la expresión de la conducta emocional. Así, el hemisferio derecho tendría un papel importante en la mediación de las emociones negativas y el izquierdo en las positivas, el lóbulo frontal intervendría en la expresión facial, verbal y cognitiva de la emoción, y el lóbulo temporal con la personalidad (Kolb y Whishaw, 1996).

Algunos de los datos más importantes por su implicación con el ámbito educativo están relacionados con las alteraciones emocionales como consecuencia de afectación hipotalámica en lesiones cardíacas (Woo et al. 2009) por la relación estrecha entre cerebro y corazón (Samuels, 2007). En el caso de niños con trastorno del espectro autista, con trastorno de conducta y los que han sufrido maltratos, se observa un aumento del tamaño de la amígdala cerebral, que es mayor en niñas y que correlaciona positivamente con la severidad de los síntomas especialmente en los niños (Schumann et al. 2009).

En el caso de los trastornos de conducta parece

haber una alteración en los circuitos amigdalinos que se manifiesta en problemas en la empatía ante la expresión de tristeza o miedo en los demás (De Wied et als. 2009). En un seguimiento de niños adoptados, se observó una reducción en la amígdala izquierda relacionada con el tiempo total de institucionalización y de privación.

- La mente como producto de la interacción del cerebro con su entorno.

El cerebro tiene información del espacio exterior a través de los sentidos de la vista, el oído, el tacto, el gusto y el olfato. En todos los casos existe un conjunto de neuronas modificadas que forman los receptores, todos estos sentidos, excepto el olfato, transmiten la información al tálamo, que suele interpretarse como una central de relevo y de aquí parte a las cortezas correspondientes.

Suele diferenciarse entre sensación y percepción de los estímulos. En el primer caso, la información se procesa en niveles bajos del SNC, médula y tronco del encéfalo, y se realiza un primer análisis de los datos aferentes en términos de intensidad, duración y magnitud del estímulo. El resultado de este procesamiento permite la emisión de respuestas básicas de adaptación al entorno, respuesta orientación, seguimiento estimular, sobresalto, etc., en la que no interviene la conciencia.

La percepción del mundo externo es una construcción del cerebro a través de las experiencias de aprendizaje y forma parte de la adaptación del sujeto al medio. Podríamos pensar que la información de las sensaciones llega al cerebro de forma pasiva al igual que el agua de los afluentes a un río, sin embargo, esto no es así. Estudios recientes (Nicoletis y Ribeiro, 2007) demuestran que el procesamiento de la información sensorial se parece más un complejo sistema de activaciones en diferentes niveles cerebrales a semejanza de las múltiples ondas que se forman en la superficie de un lago cuando se arrojan varias piedras. Dichas ondas se van haciendo paulatinamente más amplias y además modifican su curso por la acción de otras, hasta que

finalmente desaparecen. En todo este proceso tiene un papel muy relevante el conjunto de vías nerviosas entre el tálamo y las cortezas correspondientes. Como hemos dicho, en el tálamo hacen relevo la mayoría de las vías nerviosas desde los sentidos, realizando un primer procesamiento de la información para mandar su resultado al córtex, pero es éste último el que “decide” filtrando que información debe ir más allá. Esto se produce a través de vías córtico-talámicas que inhiben las entradas y cuyo producto es la atención a determinados estímulos y la desatención a otros irrelevantes.

Cuando se produce una debilidad cortical, sea por factores estructurales como puede ocurrir en la discapacidad intelectual, o funcionales en el caso de alteraciones bioquímicas a imagen de lo que ocurre con la dopamina en el Déficit de Atención o simplemente por un factor disposicional como la fatiga, se ocasiona un problema en el filtrado de la información que llega de los sentidos, impidiendo la atención selectiva y sostenida hacia el entorno.

Es relevante introducir en este momento el concepto de “cognits” (Fuster, 2006). Los *cognits* son redes, perceptivas o motoras, que representan unidades de conocimiento (sobre el mundo, uno mismo o la interacción entre ambos), algunos como consecuencia de la expresión genética de la especie (reflejos, impulsos, preferencias estímulares...) y otros adquiridos a través del aprendizaje en interacción con el ambiente. Así, se habla de una memoria perceptual, que incluiría redes sucesivas de conocimiento, en áreas posteriores del cerebro, en relación a: la integración multisensorial, la memoria de eventos, la memoria de hechos y la memoria de conceptos. Por otro lado, se hace referencia a una memoria ejecutiva de actos motores, programas de acción, planes y conceptos práxicos, ubicadas en los lóbulos frontales.

Estas redes de conocimiento tienen su sustrato anatómico en sucesivas redes de capas neuronales en orden de complejidad y contenido cognitivo. Estas redes están conectadas entre sí en los diferentes niveles perceptuales o ejecutivos e interconectadas entre ellas, posteriores y frontales (fig. 2)

Los cognits, como unidades funcional del sistema mente-cerebro van desarrollándose con el aprendizaje, incorporando el nuevo conocimiento y condicionando los aprendizajes posteriores. El modelo de desarrollo de las redes neuronales que conforman los cognits a través de la experiencia es de tipo evolucionista. Esto es, se produce una potenciación o inhibición a largo plazo de aquellos circuitos y combinaciones de éstos que resultan más adaptativos para el individuo en su interacción con el medio.

El desarrollo del cerebro está condicionado por factores genéticos y ambientales

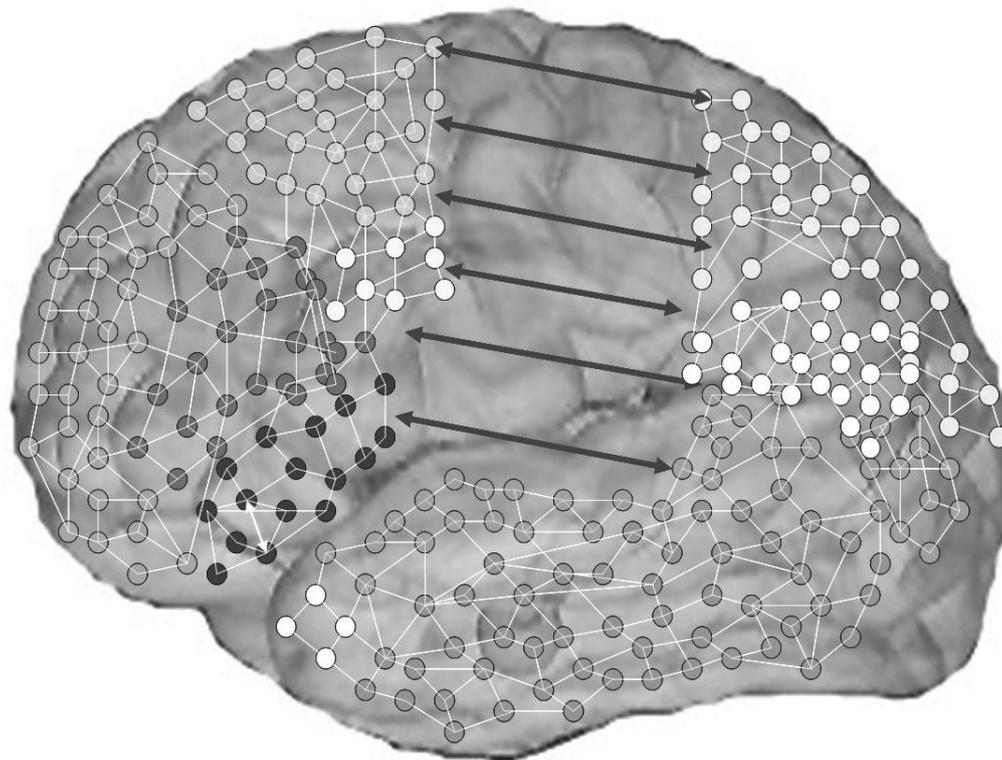
Hoy en día se considera que los procesos guiados por los genes proporcionan una canalización básica en las primeras etapas de desarrollo, que cumplen un papel primordial de resistencia a las potenciales influencias negativas del entorno. La migración de

las neuronas para alcanzar su diana en la mayoría de las conexiones sinápticas y determinar así sus funciones diferenciadas sería uno de estos efectos iniciales.

El efecto del ambiente sobre el desarrollo del cerebro y su modificación estructural y funcional se realiza gracias a la plasticidad del cerebro para adaptarse a las condiciones del entorno, tanto intra como extracerebral. Dicha plasticidad se pone en marcha como consecuencia de factores sensoriales, motores, sociales, emocionales y, también, de la presencia de lesiones cerebrales (Cicchetti et al, 2006). A su vez, los factores ambientales provocan modificaciones en la expresión génica en el núcleo de la neurona, expresando ARNm que codifica las proteínas necesarias para la formación de nuevas sinapsis y dendritas, estableciendo así modificaciones estructurales.

Suelen diferenciarse dos procesos diferentes en la influencia del entorno sobre el desarrollo del cerebro: expectantes y dependientes de experiencia

Fig. 2. Representación gráfica de las redes cognitivo-neuronales (cognits). Nótese las interrelaciones entre redes perceptivas y motoras



(Black et al., 1998). El primero corresponde a los denominados periodos “críticos” o “sensibles” y tienen lugar en las edades tempranas del desarrollo del sistema sensorial, un momento en el que se prima recibir clases particulares de información sobre otras del entorno. El mecanismo neuronal se refleja en la “poda” del exceso de sinapsis que se dan en las primeras etapas evolutivas (Bavelier and Neville, 2002).

La plasticidad mediada por los procesos dependientes de experiencia va *esculpiendo* literalmente el cerebro a través de nuevas conexiones como respuesta a eventos que provén información, única para cada individuo, que ha de ser codificada en su sistema nervioso. Este proceso ocurre a lo largo de todo el ciclo vital, gracias a la modificación, potenciación e inhibición de sinapsis nerviosas existentes, a la creación de otras nuevas, e incluso por el desarrollo de nuevas neuronas en el cerebro adulto (Gould et al., 1999).

Estos aspectos tienen una enorme relevancia en los programas educativos. Por un lado, justifican la importancia de la estimulación lo más temprana posible en todos los casos, pero especialmente en aquellos niños de riesgo biológico, psicológico o social, puesto que se demuestra una modificación estructural del sistema nervioso de acuerdo a la experiencia, y por otro, al desarrollo de programas individualizados para personas con discapacidad sensorial, física o cognitiva, más allá de la primera infancia, a lo largo de toda su vida.

Más allá de los elementos básicos del desarrollo, se han identificado una serie de factores ambientales que influyen en el aprendizaje.

Nutrición: el desayuno incrementa puntuaciones en test estandarizados y aumento en matemáticas, lectura y vocabulario (Meyers et al. 1989); se obtienen mejores puntuaciones con cereales que con azúcar o no desayuno (Wesnes et al. 2003) y, el suplemento ácidos grasos mejora el rendimiento escolar y conductual en la dispraxia evolutiva (Richardson et al. 2005).

Ejercicio físico: el ejercicio aeróbico mejora la salud cardiovascular y por tanto el aporte sanguíneo

al cerebro, y el aumento de nuevas neuronas postnatales y mejora en funcionamiento áreas fronto-medial y parietal superior (Colcombe et al. 2004) entre otros.

- **Sueño:** facilita la restauración de las funciones corticales (Horne, 2000) y contribuye a la formación de memorias, el sueño de ondas lentas en cuanto a la memoria explícita dependiente de hipocampo y el sueño REM la memoria procedimental.
- **Interacciones sociales:** el caso más claro es la presencia del trastorno por vinculación en niños abandonados y los efectos negativos sobre determinadas estructuras cerebrales (O'Connor et al., 1999); pero también se ha observado que la privación social produce reducción oxitocina, sustancia fundamental para la conducta de vinculación con otros humanos y que funciona como reforzador de la interacción.
- **Regulación emociones:** los estados de ansiedad o estrés afectan de forma aguda en el aprendizaje y la memoria, mediados por adrenalina, noradrenalina y cortisol; su cronicidad produce déficit cognitivo a largo plazo (McEwen et al. 1995).
- **Música:** incrementa la extensión de la corteza auditiva y aumenta la coordinación motora bimanual (Weinberger, 2004).
- **Videojuegos:** tienen un efecto positivo en las habilidades visuales, la atención a estímulos complejos y atención dividida (Grenn et al., 2003), pero los juegos violentos puede incrementar conducta antisocial (Anderson, 2004).

El aprendizaje y la memoria son en último término acontecimientos neurales.

Podemos considerar que somos lo que somos en gran parte como consecuencia de lo que aprendemos y recordamos (Squire y Kandel, 2000), tanto del mundo como de nosotros mismos. De tal forma que podríamos decir, que en los trastornos en los que se da una amnesia anterógrada, es decir, la incapacidad

de adquirir nuevos aprendizajes y por tanto su recuerdo posterior, como ocurre en el caso de las personas con discapacidad intelectual grave, se afecta la propia autoconciencia como persona.

Podemos entender el aprendizaje como el resultado de la integración de toda la información percibida y procesada, que se va a manifestar en modificaciones estructurales en el cerebro. El aprendizaje no es un proceso pasivo, sino que, a través de la asociación de acontecimientos en el entorno (condicionamiento clásico) y la acción sobre este, valorando las consecuencias de nuestra conducta (condicionamiento instrumental), va construyendo la base de conocimiento de nuestra mente.

Los aprendizajes más básicos son la habituación y la sensibilización. En el primero, se produce el descenso de la respuesta a un estímulo moderado y repetitivo, es decir previsible, que se produce por una depresión de la transmisión sináptica, a través de vías intermedias entre las neuronas sensoriales y motoras, mediado por el glutamato. Por el contrario, la sensibilización, es el fortalecimiento de la respuesta a una amplia variedad del estímulo, que sigue a un estímulo intenso o nocivo, se produce por el incremento de la transmisión sináptica, mediada por la serotonina, a través de interneuronas facilitadoras.

A partir de estos dos tipos básicos de aprendizaje, es posible establecer técnicas de evaluación muy básicas para alumnos gravemente afectados, de tal forma que, si se produce la habituación a un estímulo, podemos entender que éste pasa así a ser “conocido”, almacenado en su memoria.

Dentro del aprendizaje asociativo, se considera que el condicionamiento clásico, desde un punto de vista cognitivo, implica un aprendizaje de predicción de las relaciones entre dos estímulos. Para ello, se precisa de una convergencia temporal del estímulo condicionado e incondicionado sobre las neuronas sensoriales individuales, mediado por AMPc y calmodulina (Kandel et al., 1996). Por su parte, el condicionamiento instrumental, que ocurre cuando una conducta se modifica principalmente al regular las consecuencias que las siguen, supone la activación simultánea de neuronas post y presinápticas,

utilizando mensajeros retrógrados. El almacenamiento de estas relaciones implica la potenciación a largo plazo en el hipocampo.

Esta capacidad de aprendizaje está directamente relacionada con el concepto de percepción de contingencias, tan relevante para el manejo del niño en el mundo físico y, especialmente, en el desarrollo del mundo social a través de las interacciones con éste (González y Rivière, 1992).

Recientemente se han llevado a cabo algunos descubrimientos muy interesantes sobre la implicación de determinadas áreas del cerebro en el aprendizaje social y la empatía. Los datos sugieren que existen grupos de neuronas denominadas espejo que se activan ante la realización de un movimiento y también ante la observación de ese movimiento por parte de otro individuo (Rizzolatti y Sinigaglia, 2006). Se hipotetiza también que estas áreas están implicadas en la empatía como función que nos permite “sentir” las emociones de los otros.

La memoria suele definirse como el proceso de almacenamiento de lo aprendido con la posibilidad de su recuperación posterior (Squire, 2002) y, dentro de la memoria a largo plazo, podemos diferenciar entre memoria explícita o declarativa y memoria implícita o no declarativa. El primer tipo de memoria requiere de un esfuerzo consciente para recuperar acontecimientos y conceptos; un tipo específico es la memoria semántica. Ésta hace referencia al conocimiento sobre las personas, los objetos, las acciones, las relaciones, uno mismo y la cultura adquiridos a través de la experiencia. Las regiones implicadas en el procesamiento semántico son principalmente tres: cortex de asociación posterior multimodal, cortex prefrontal heteromodal y regiones límbicas mediales (Binder et al., 2009). Por su parte, la recuperación de datos de la memoria implícita se realiza sin esfuerzo, se encarga del almacenamiento de habilidades y destrezas aprendidas, y su red neuronal se sitúa en el núcleo estriado dorsal.

Querríamos dedicar un breve comentario a la memoria de trabajo (MT). Dicha memoria permite mantener una información durante un corto periodo de tiempo, el suficiente para realizar una tarea y que

luego se desvanece. La MT se considera compuesta por tres componentes (Baddeley, 1986). El ejecutivo central, que es un sistema atencional responsable de funciones reguladoras que incluyen la atención, el control de la acción y la resolución de problemas (en otros modelos denominada funciones ejecutivas). Otros dos sistemas “esclavos” con una capacidad limitada que complementan el sistema anterior, son el bucle fonológico y el cuaderno de apuntes visoespacial. El primero se encarga de almacenar por un corto periodo de tiempo material basado en sonidos, suficiente para retener por ejemplo un número de teléfono o una instrucción verbal, y el segundo hace lo mismo pero con material visual y espacial. La repetición de la información hace que se almacene a largo plazo. Se hipotetiza también la existencia de otro componente de la memoria de trabajo, relacionado con la memoria episódica o buffer episódico (Baddeley, 2000), que integraría múltiples fuentes de memoria, de diferentes modalidades y dominios, tanto de MT como de almacenes a largo plazo.

La disfunción de la MT se ha asociado a problemas en la lectura, el cálculo o ambos (Gathercole et al. 2006), en la adquisición de conocimiento y habilidades complejas durante la etapa escolar e igualmente se observan dificultades asociadas en la memoria episódica. La manifestación más frecuente en el aula es el olvido de las instrucciones para la realización de una tarea y recordar que han hecho durante esa jornada.

La neurociencia puede aportar datos relevantes para una educación basada en la evidencia

En esta breve exposición hemos intentado aportar algunas pinceladas, dentro del enorme ámbito de las posibilidades de aplicación de la neurociencia a la educación. A este respecto, durante los últimos años están apareciendo documentos de consenso (OECD, 2009) y manuales que describen de una forma más pormenorizada este hecho (p.ej. Ortiz, 2009).

Como resumen nos parece interesante incluir algunas de las conclusiones del documento de con-

senso de la OCDE sobre la aplicación de los resultados de los estudios neurocientíficos a la práctica educativa (OCDE, 2009):

- La investigación del cerebro proporciona evidencia científica que apoyan el aprendizaje a lo largo de toda la vida y confirma los amplios beneficios de éste en especial para las personas mayores.
- Es necesaria una aproximación holística basada en la interdependencia entre cerebro y mente, emoción y cognición.
- Debemos considerar la temporalización y la periodicidad cuando desarrollemos un currículo.
- La neurociencia puede contribuir de una forma significativa a cambios en las formas de aprendizaje.
- Debe realizarse una evaluación más individualizada para mejorar el aprendizaje, no para seleccionar y excluir.

Finalizamos esta exposición con un texto de dos grandes neurocientíficos, Squire y Kandel (2000) en el que reconocen que “la evolución cultural humana se debe, no tanto al desarrollo del cerebro que permanece inalterado desde hace cientos de miles de años, con la aparición del Homo Sapiens, sino a la capacidad intrínseca del cerebro humano para registrar lo que aprendemos a través del habla y la escritura y enseñárselo a los otros” (p.10).

Referencias

- Anderson, C.A. (2004). An update on the effects of playing violent video games. *J. Adolesc.*, 27(1): 113-22.
- Baddeley, A.D. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory?. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-422.
- Binder, J.R., Desai, R.H., Graves, W.W. y Conant, L. (2009). Where Is the Semantic System? A Critical

- Review and Meta-Analysis of 120 Functional Neuroimaging Studies. *Cerebral Cortex* 19(12): 2767-2796; doi: 10.1093/cercor/bhp055
- Black, J.E. (1998). How a child builds its brain: some lessons from animal studies of neural plasticity. *Prev Med.*,27(2): 168-71.
- Bavelier, D. y Neville, H.J. (2002). Cross-modal plasticity: where and how?. *Nat Rev Neurosci.* 3(6): 443-52.
- Cicchetti, D. y Curtis, W.J. (2006). The developing brain and neural plasticity: implications for normality, psychopathology and resilience. En D. Cicchetti and D. Cohen (Eds.); *Developmental Psychopathology: vol 2. Developmental Neuroscience* (2nd ed. pp. 1-64). New York: Wiley.
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., McAuley, E., Erickson, K. I., Scalf, P. (2004). Neurocognitive aging and cardiovascular fitness - Recent findings and future directions. *Journal of Molecular Neuroscience.* 24, (1): 9-14.
- Damasio, A. (2001) *La sensación de lo que ocurre*. Madrid: Editorial Debate.
- De Wied, M., Gispen-deWied, C., van Boxtel, A. (2009). Empathy dysfunction in children and adolescents with disruptive behavior disorders. *Eur J Pharmacol.*, (en prensa).
- Fuster, J.M. (2006). The cognit: a network model of cortical representation. *Int J Psychophysiol;* 60(2): 125-32.
- Gathercole, S.E., Lamont, E. y Packiam, A. (2006). Working memory in the classroom. En S. Pickering (ed.) *Working Memory and Education*. Oxford: Academic Press. pp.219-240
- González, A. y Rivière, A. (1992). La percepción de contingencias y el conocimiento social temprano. *Infancia y Aprendizaje*, 57: 99-116.
- Gould, E., Beylin, A., Tanapat, P., Reeves, A. y Shors, T.J. (1999). Learning enhances adult neurogenesis in the hippocampal formation. *Nature Neuroscience*, 2(3): 260-265.
- Green, C.S. y Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*,29;423(6939): 534-7.
- Horne, J.A.(2000). REM sleep - by default?. *Neurosci Biobehav Rev.*; 24(8): 777-97.
- Kandel, E.R., Schwartz, J.H. y Jessell, T.M. (1996). *Neurociencia y Conducta*. Madrid: Prentice-Hall
- Kolb, B. y Whishaw, I.Q. (1996). *Fundamentals of human neuropsychology*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Luria, A.R. (1979). *El cerebro humano y los procesos psíquicos*. Barcelona: Editorial Fontanella.
- McEwen, B.S. y Sapolsky, R.M. (1995). Stress and cognitive function. *Curr Opin Neurobiol.* 5: 205-16.
- Meyers, A.F., Sampson, A.E., Witzman, M., Rogers, B.L. y Kayne H. (1989). School breakfast Program and school performance. *Am J Dis Child.*; 143(10): 1234-9.
- Orfei, M.D., Robinson, R.G., Prigatano, G.P., Starkstein, S., Rusch, N., Bria, P., Caltagirone, C. y Spalletta, G. (2007). Anosognosia for hemiplegia after stroke is a multifaceted phenomenon: a systematic review of the literature. *Brain* 130: 3075-3090, doi: 10.1093/brain/awm106.
- Nicolelis, M.A.L. y Ribeiro, S. (2007). En busca del código neural. *Investigación y Ciencia*, 365: 14-21.
- O'Connor, T.G., Brendenkamp, D. y Rutter, M. (1999). Attachment disturbances and disorders in children exposed to early severe deprivation. *Infant Mental Health Journal*, 20 (10): 10-29.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2009). *La comprensión del cerebro: hacia una nueva ciencia del aprendizaje*. Méjico: Santillana Aula XXI.
- Ortiz, T. (2009). *Neurociencia y educación*. Madrid: Alianza Editorial.
- Peña-Casanova, J. (2007). *Neurología de la Conducta y Neuropsicología*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Ramachandran, V.S., Hirstein, W. (1998). The perception of phantom limbs: The D.O. Hebb Lecture. *Brain*.121: 1603-1630.
- Richardson, A.J., Montgomery, P. (2005). The Oxford-Durham study: a randomized controlled trial of dietary supplementation with fatty acids in children with developmental coordination disorder. *Pediatrics* 115(5): 1360-1366.

- Rizzolatti, G. y Sinigaglia, C. (2006). *Las neuronas espejo. Los mecanismos de la empatía emocional*. Barcelona: Paidós.
- Samuels, M.A. (2007). The Brain-Heart Connection. *Circulation*, 3;116(1): 77-84. doi:: 10.1161/circulationaha.106.678995.
- Schumann, C.M., Barnes, C.C., Lord, C., Courchesne, E. (2009) Amygdala enlargement in toddlers with autism related to severity of social and communication impairments. *Biol Psychiatry*, (en prensa).
- Squire, L. y Kandel, E. (2000). *Memory: from mind to molecules*. New York: WH. Freeman and Company.
- Squire, L. (2002). Memoria, neuropsicología humana. En R.A. Wilson y F.C. Keil (eds.) *Enciclopedia MIT de Ciencias Cognitivas*. pp797-799 Madrid: Editorial Síntesis.
- Stuss, D.T. (2009). Rehabilitation of frontal lobe dysfunction: a working framework. En M. Oddy y A. Worthington, *The rehabilitation of executive disorders*. Oxford: Oxford University Press pp.3-17.
- Weinberger, N.M. (2004). Music and the brain. *Sci Am.*; 291(5): 88-95.
- Wesnes, K.A., Pincock, C., Richardson, D., Helm, G., Hails, S. (2003). Breakfast reduces declines in attention and memory over the morning in schoolchildren. *Appetite* 41(3): 329-331.
- Westmoreland, B.F., Benarroch, E.E., Daube, J.R., Reagan, T.J. y Sandock, B.A. (1994). *Medical Neurosciences*. Boston: Little, Brown and Company.
- Woo, M.A., Kumar, R., Macey, P.M., Fonarow, G.C., Harper, R.M. (2009). Brain injury in autonomic, emotional and cognitive regulatory areas in patients with Heart failure. *J. Car Fail.* 15(3): 214-23.

Manuscrito recibido: 25/09/2009

Revisión recibida: 15/10/2009

Manuscrito aceptado: 21/10/2009