

MENTE, CEREBRO Y EDUCACIÓN

Mind, brain and education

Emilio SÁNCHEZ MIGUEL
Universidad de Salamanca

Fecha de aceptación definitiva: 15 de marzo de 2009

Biblid. [0214-3402 (2009) (II época) n.º 1; 25-46]

RESUMEN: En estas páginas se revisa el tipo de aportación que el desarrollo más reciente de las neurociencias ha hecho al estudio de la cognición y de la educación. Para ello, se considera la contribución de la neurociencia al estudio de (a) los procesos cognitivos implicados en el aprendizaje, (b) de la interacción entre ayudas y aprendizaje y (c) de los logros del aprendizaje, contraponiendo en todos los casos los hallazgos obtenidos a través de medidas conductuales y las que proceden del registro de la actividad cerebral de seis líneas de investigación diferentes. En la segunda parte se analizan las consecuencias que pudieran tener esos conocimientos sobre la acción educativa.

PALABRAS CLAVE: procesos de aprendizaje, ciencia cognitiva, neurociencias, ayudas instruccionales.

ABSTRACT: A revision is made on the current of neuroscience contributions to cognition and education inquiry. After analyzing six lines of research —comparing data from behavioural and neuroimage measures— on (a) cognitive processes involved in learning, (b) the interaction between instructional support and learning processes, and (c) the learning outcomes (skills and capabilities) resulting from this complex interaction, two kind of conclusions are drawn about the notions of mind, brain and education research. Several implications for instructional practice are discussed.

KEY WORDS: learning processes, cognitive sciences, neurosciences, instructional aids.

MENTE, CEREBRO Y EDUCACIÓN parecen formar un trío bien avenido: la mente es el producto de la actividad del cerebro y, en la especie humana, la mente y el propio cerebro son conformados por la educación. En la práctica, sin embargo, la educación se ha inspirado más por tradiciones profesionales y conocimientos intuitivos, que por el conocimiento acumulado sobre cómo nuestra mente se desarrolla y aprende gracias a la acción intencional de los demás. Esto es importante recordarlo antes de crear falsas expectativas sobre el impacto que puedan tener las neurociencias en la acción educativa. De la misma manera, y

aunque se asumía que la actividad mental estaba asentada en nuestro cerebro, los modelos que las ciencias cognitivas habían venido elaborando sobre cómo comprendemos, tomamos decisiones, leemos, o razonamos aritméticamente se basaban en indicadores conductuales que reflejaban los resultados del aprendizaje (usando medidas de recuerdo o de transferencia, por ejemplo) o los procesos implicados en ellos (usando medidas de tiempos de respuesta o analizando los pensamientos en voz alta). Por supuesto, al afirmar que aprender «algo» supone una transformación de las redes de conceptos o de los sistemas de reglas de la memoria a largo plazo (MLP), se asumía que esos cambios suponían transformaciones biológicas en nuestro cortex¹; unas transformaciones que no podían registrarse o, al menos, no con la precisión necesaria. Lo que ha ocurrido en los últimos años es que se ha empezado a poder tomar medidas directas de la actividad cerebral mientras resolvemos problemas, interpretamos el lenguaje o leemos. Cabe así registrar los cambios en el consumo de glucosa en un área cerebral específica (PET), así como en la afluencia de sangre (fMRI) o en el potencial eléctrico (recogidos por electrodos implantados quirúrgicamente en determinadas aéreas) que son concomitantes a una determinada actividad cognitiva inducida experimentalmente. Y a ello hay que agregar los conocimientos sobre el genoma y los procesos de expresión genética, que subyacen a disciplinas como la genética de la conducta, por no hablar del estudio comparado del comportamiento de nuestra especie y el de los primates desde una perspectiva evolucionista. Todo ello nos ha llevado a una nueva etapa en el desarrollo de las disciplinas implicadas en entender nuestra mente, nuestro cerebro y la educación. Al menos, como enseguida se verá, la pareja mente-cerebro ha iniciado un baile a todas luces provechoso, ahora queda ver cómo esa danza puede inspirar la acción organizada institucionalmente para promover cambios en nuestra mente y, por extensión, nuestro cerebro.

En estas páginas tratamos de aclarar qué es lo que están aportando las neurociencias a la comprensión de cómo los seres humanos aprenden con ayudas y sus consecuencias en la acción educativa, un problema más amplio que el resto de los tratados en este monográfico. Para ello examinamos con algún detalle un cierto número de líneas de investigación consolidadas que nos permiten contestar estas dos grandes preguntas:

— ¿Qué es lo que las neurociencias han aportado hasta ahora a la comprensión de (1) *los procesos implicados* en el aprendizaje humano, (2) *la interacción* entre esos procesos y las ayudas intencionales destinadas a favorecerlo y (3) *la naturaleza de los logros o resultados* de esa interacción?

— ¿Qué consecuencias pueden tener esos conocimientos en la organización de la acción educativa?

En el primer apartado, esbozamos brevemente los tres elementos que constituyen los procesos educativos: procesos, logros y ayudas. En segundo lugar, y a partir de líneas de investigación específicas que presentamos con algún detalle,

¹ Vía alteraciones de las propiedades integrativas de las neuronas individuales, o mediante cambios anatómicos en la conectividad de redes neuronales o modificaciones en la eficacia de las conexiones excitatorias e inhibitorias entre las neuronas.

tratamos de mostrar el tipo de avances que el estudio conjunto de la mente, el cerebro y la educación pueden proporcionarnos sobre estos tres elementos. En tercer lugar, examinamos las consecuencias de esos posibles avances en la innovación educativa. El artículo termina trazando cuatro conclusiones que resumen todo lo expuesto.

1. Aprendiendo con ayudas: una mirada rápida al problema que debemos resolver

Los seres humanos tenemos que *aprender* para poder (sobre)vivir, y una parte de esos aprendizajes —¡no todos!— dependen del empeño de quienes nos rodean por ayudarnos, dándonos explicaciones, modelos de actuación, retroalimentaciones, etc. La Psicología de la Educación tiene justamente como objeto de estudio entender *cómo cambia nuestra mente (aprendizaje) gracias a las ayudas (enseñanza)* que nos proporcionan *otras mentes*. Se asume que gracias a esa interacción entre aprendizaje y enseñanza podemos adquirir las capacidades básicas (hablar, andar, relacionarse con los demás) que nos hacen humanos y aprender las competencias más específicas (leer, aprender un oficio, tocar un instrumento musical) que requiere nuestra participación en la vida social y cultural, que es lo que nos convierte en civilizados. Se sobreentiende que sin esas ayudas tanto el desarrollo de esas capacidades como el aprendizaje de esas competencias sería menos probable, menos firme o menos profundo. Todo ello puede quedar reflejado en el siguiente esquema que nos servirá para organizar la revisión.

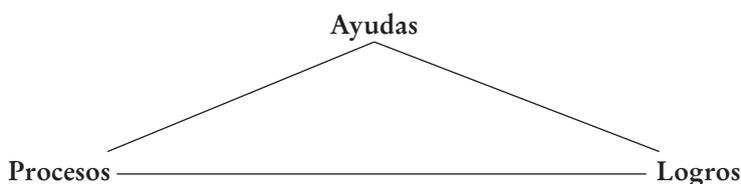


Figura 1. En la base del triángulo se distingue entre *procesos* (atender, observar, inferir, asociar, resolver problemas) y *logros o resultados de aprendizaje* (tocar la guitarra, conducir, leer). Se asume que cada logro o resultado involucra procesos diferentes (para aprender a conducir se requieren procesos diferentes de los que intervienen para aprender a derivar o leer, por ejemplo). Además, esos procesos pueden verse apoyados por la existencia de ciertas *ayudas intencionales (enseñanza)* que, como decíamos antes, facilitan que se movilice la atención, se conecten ciertos estímulos y ciertas respuestas o se definan mejor los problemas a los que nos enfrentamos.

Conforme al triángulo de la Figura 1, «aprender a colocar de forma rápida y precisa los dedos sobre las cuerdas de la guitarra» es un *logro* o un *resultado* del aprendizaje; «observar cómo lo hace alguien más competente» es uno de los tipos de *procesos* que nos permiten aprender (a colocar los dedos sobre las cuerdas); «proporcionar modelos» (o explicaciones o dar un *feedback*) son ejemplos de *ayudas* que pueden favorecer esos procesos (de imitación) que nos permiten adquirir la habilidad de tocar la guitarra (*logro*). Podemos, por supuesto, aprender a tocar

la guitarra sin enseñanza, esto es, sin ayudas intencionales. De igual manera, podemos no aprender aunque alguien quiera ayudarnos o enseñarnos. Finalmente, cabe que aprendamos porque alguien nos ayuda, esto es, nos proporciona elementos (un modelo, una explicación) que hacen más probable que se movilicen ciertos procesos mentales (atención, memoria, motivación) y de aprendizaje (imitación y resolución de problemas). Esta compleja interacción es justo lo que ha definido los esfuerzos de la Psicología de la Educación. El desarrollo de las neurociencias no cambia, como es evidente, la naturaleza de este problema, simplemente nos ayuda a resolverlo.

Ahora me gustaría mostrar qué beneficios está teniendo el estudio de la actividad cerebral a la hora de entender los tres elementos de la Figura 1.

2. Qué estamos aprendiendo gracias a la neurociencia

2.1. ¿Qué aporta el estudio de la actividad cerebral a la cognición?

Para contestar esta pregunta debemos contrastar lo que se venía haciendo en el seno de la ciencia cognitiva con lo que se puede hacer gracias al desarrollo de las neurociencias. Y aquí conviene examinar esta cuestión con algún detalle, pues no es posible entender el impacto de medidas de actividad cerebral para estudiar los procesos cognitivos sin clarificar de antemano cómo veníamos estudiando estos mismos procesos. Enseguida se verá la íntima complementariedad de ambos planteamientos hasta el punto de que cabe dudar de la necesidad de separar ciencia cognitiva y neurociencia como si fueran dos mundos distantes. Veámoslo en el siguiente ejemplo, tomado de Graesser, Singer y Trabasso (1994), sobre los procesos implicados en la comprensión de un texto como el que sigue:

- (1) El dragón estaba llevándose a rastras a la muchacha.
Un héroe llegó y se enfrentó al dragón.

Un fenómeno fácilmente documentado es que quien lee ese texto tiende a asumir la idea de que

- (2) El héroe se enfrentó al dragón *para* salvar o rescatar a la muchacha.

Sabemos, así, que si pedimos a lectores adultos que nos expliquen lo que han entendido al leer (1), la idea del *rescate* aparecerá en una o en otra versión en la mayoría de los protocolos de recuerdo. Sobra advertir que esta idea —(2)— no figura en el texto original (1), por lo que se deduce que el deseo de rescatar a la muchacha, como razón para la acción del héroe, es una noción extraída de los conocimientos del lector sobre el comportamiento de este tipo de personajes y no del texto que habla de ellos. Mejor aún, poco cuesta aceptar que (2) proporciona una representación o modelo mental coherente de lo que se enuncia en (1), pues permite *conectar* el significado de la primera oración con el de la segunda. Otra manera de decir eso mismo es que si los lectores no fueran capaces de conectar causalmente los significados de las dos oraciones de (1) muy probablemente experimentarían la sensación de que no lo están comprendiendo. Basándonos en

estas evidencias *off-line*, esto es, obtenidas después de la lectura del texto, se puede llegar a formular estas conclusiones sobre la actividad mental de comprender:

- a) Comprender implica crear una representación o modelo mental coherente entre las piezas de información que se extraen del texto o del discurso.
- b) Usualmente, para crear esa representación coherente, necesitamos aportar un cierto número de ideas a lo expuesto en el texto. Esas ideas que aportamos se denominan inferencias. En este caso, (2) es una inferencia causal antecedente.

Ahora bien, estos datos, obtenidos al concluir la lectura, no nos permiten saber si esas inferencias surgieron mientras los ojos se desplazaban por la página impresa o, como también podría ocurrir, durante el recuerdo que les es solicitado a los sujetos. Tampoco nos permiten saber cuántas inferencias y de qué tipo tienen lugar durante la lectura. De hecho, cabría la posibilidad de que los lectores generaran todas estas ideas:

El héroe deseaba rescatar a la princesa.
El héroe empleó una espada para luchar.
El héroe se casó con la muchacha.
El dragón estaba recubierto de escamas.

¿Es eso realmente lo que ocurre? Mejor aún: ¿cómo podemos llegar a saberlo? Supongamos que para recabar evidencias al respecto se siguiera el siguiente procedimiento: se presenta el texto oración a oración en la pantalla del ordenador, de manera que cuando los participantes consideran que han concluido la lectura de una oración presionan el teclado y, de inmediato, aparece la siguiente oración, repitiéndose este procedimiento tantas veces como oraciones hubiera. El procedimiento está diseñado para que justamente cuando se finaliza la lectura de todas ellas aparezca en el centro de la pantalla del ordenador la palabra «rescate», que debe ser pronunciada por los participantes tan rápido como puedan². Pues bien, supongamos, como así ocurre, que el tiempo que se necesita para nombrar la palabra «rescate» fuera inferior tras leer (1) del que se precisa cuando esa misma palabra aparece después de leer (3), un contexto semántico neutral para la idea de rescate.

- (3) Juan hizo los ejercicios de calentamiento.
La temporada de maratón estaba a punto de empezar.

¿Cómo explicar este fenómeno? ¿Por qué se tarda menos en reconocer la palabra «rescate» después de (1) que tras la lectura de un texto como (3) ajeno por completo a ese significado? La interpretación de este dato sería que en (1) la idea de «rescatar» ya estaba en primer plano en la mente del lector (antes, por tanto, de que apareciera físicamente esa palabra en el ordenador), cosa que no puede ocurrir —salvo excepciones— tras un contexto neutral como el que proporciona

² Debemos aclarar que se familiariza a los participantes con el procedimiento antes de tomar los datos que se tendrán finalmente en cuenta.

(3), de ahí que se tarde algo más en nombrarla. En otras palabras, la menor latencia en nombrar «rescate» muestra que esa palabra estaba ya activada y que, por tanto, fue inferida *durante* la lectura de (1) pero no en la lectura de (3).

¿Qué ocurriría si hacemos lo mismo con las palabras «escamas» o «boda»? Si la respuesta fuera que no hay ventaja con ellas tras leer (1) respecto de leer (3), habremos de concluir que ideas como la de que «el dragón tiene escamas» o que «el héroe se casará con la muchacha» no están más activas de lo normal y, por tanto, no fueron inferidas durante la lectura de (1). Esto es justo lo que los datos revelan. Consecuentemente, podemos concluir que el modelo mental que creamos durante la lectura de un texto se nutre de cuanto ya sabemos, pero —y esto es importante reiterarlo— eso no significa que todo cuanto sabemos se ponga «en primer plano». En otras palabras, los datos sugieren que los lectores sólo llevan a cabo las inferencias estrictamente necesarias para alcanzar una *coherencia* entre las acciones o acontecimientos leídos. En (1) esa coherencia queda garantizada infiriendo una razón (una causa antecedente) para la acción del héroe, sin necesidad de considerar con qué se llevó a cabo la acción ni las consecuencias futuras que puedan derivar de ella. Por supuesto, alguien podría detenerse a recrear con todo detalle estos elementos de la escena, pero entonces dejaría de leer y se dedicaría a pensar en lo que ha leído. Recuérdese que intentamos entender lo que ocurre *mientras* leemos y aquí, uniendo todo cuanto hemos expuesto, podemos defender estas cuatro ideas:

- a) «comprender implica construir modelos o representaciones coherentes de lo que se nos dice»,
- b) «los lectores necesitan hacer inferencias para conseguirlo»,
- c) «no es posible hacer muchas inferencias a la vez»,
- d) «las inferencias causales sobre los antecedentes de la acción que se está interpretando son decisivas y suelen generarse automáticamente».

Es importante subrayar que la idea a) y la b) tienen el respaldo de dos indicadores conductuales: el recuerdo y el tiempo que se tarda en leer ciertos segmentos del texto, mientras que la idea c) y la d) sólo pueden apoyarse en indicadores conductuales *on-line*, como lo son el tiempo que se tarda en nombrar o leer una determinada palabra.

¿Qué añade el estudio de la actividad cerebral a estas conclusiones? Para saberlo basta con realizar la misma tarea (o alguna semejante) y recoger evidencias sobre la actividad cerebral. Es una situación incómoda tener que leer este tipo de textos confinado en el dispositivo físico de un fMRI, pero es algo factible hoy día y nos permite registrar si hay alguna actividad cerebral asociada a estos comportamientos inferenciales. Basta para ello presentar, como lo ha hecho José Antonio León (León y otros, enviado), breves textos del tipo a (1) y (3) en dos condiciones³. En una de estas condiciones, denominada inferencia, el lector debe inferir la causa de la acción del protagonista, tal y como ocurre en (1) con «rescate», mientras que en la segunda condición, denominada explícita, no es necesario hacer la

³ El experimento es de hecho mucho más complejo, pero para los fines de este artículo bastará con considerar estas dos condiciones.

inferencia causal debido a que el texto contiene explícitamente cuál es la causa que motiva la acción⁴. Ahora sólo queda por ver si hay o no diferencias en la activación cerebral entre las dos condiciones. Los datos de neuroimagen revelan que cuando se generan inferencias causales se aprecia una mayor activación en tres núcleos corticales muy importantes en la comprensión del lenguaje. En primer lugar se aprecia una activación bilateral, esto es, en los dos hemisferios, en el área de Broca (IFG) y su homóloga del hemisferio derecho. También se detectó otra activación, también bilateral, en la zona frontal media superior y en el área temporal superior y posterior del hemisferio derecho (área de Wernicke) y de su homóloga izquierda. En otras palabras, contamos con evidencias de neuroimagen, asociadas —¡no lo olvidemos!—, a datos comportamentales, de que se ha generado una inferencia causal. Sobra insistir en que si careciéramos de datos comportamentales no sería posible interpretar las evidencias de que afluye más sangre en ciertas partes del cortex. Ese incremento en sí mismo sería, pues, «mudo». También merece la pena subrayar que sin un modelo previo que estipule que los lectores tienden a construir una representación o modelo mental coherente de lo que leen y que para ello llevan a cabo inferencias causales sobre los antecedentes de la acción sería imposible diseñar las tareas experimentales e interpretar los datos obtenidos gracias al uso del fMRI.

¿Son más importantes los datos de neuroimagen, que hablan de un incremento en la afluencia del riego sanguíneo, que los obtenidos mediante los tiempos de lectura (*on-line*), que hablan de un incremento en el tiempo de lectura? Desde un punto de vista intuitivo probablemente nos sentiremos más impresionados por los registros de actividad cerebral que por los tiempos de lectura, y tenderemos a despreciar los obtenidos mediante recuerdo. Sin embargo, el desarrollo de este campo empezó con datos de recuerdo, luego con medidas *on-line* y, finalmente, con los registros de actividad cerebral. En realidad, todo depende del grado de precisión con la que se obtienen los datos y su fiabilidad, y no de si son comportamentales o de neuroimagen. El conocimiento avanza contraponiendo modelos con evidencias que obligan a enriquecer o transformar los modelos de partida; y, por tanto, lo decisivo es poder contar con evidencias fiables. Las técnicas de neuroimagen parecen poder proporcionarlas de una manera especialmente «limpia», de ahí su enorme importancia, además de que describen el sustrato material que sostiene la actividad cognitiva.

Esto nos debe ayudar a entender lo siguiente:

1. Hay una perfecta sintonía al estudiar los procesos mentales mediante medidas conductuales (tiempos de lectura) o de actividad cerebral. De hecho, las mismas personas que hacen lo uno hacen o pueden hacer también lo otro.
2. El modelo cognitivo es el mismo: los datos de neuroimagen no añaden nada —de momento— a la noción de inferencia.
3. Los resultados permiten apuntalar y refinar con mayor claridad las distinciones de esos modelos.

⁴ Imagine el lector que el texto (t) incorporara, en una nueva versión, una oración en la que se afirma explícitamente que el héroe desea rescatar a la muchacha.

Esto es lo mismo que cabe decir respecto del estudio de los procesos atencionales. Michael Posner (Posner y Raichel, 1994), por poner un segundo ejemplo, distingue entre tres facetas o niveles de atención: *alerta*, *orientación* y *control ejecutivo*. Cada uno de esos niveles fue diferenciado inicialmente a partir de datos comportamentales gracias al diseño y desarrollo de tareas de laboratorio muy bien diseñadas:

- La alerta implica alcanzar y mantener un estado de alta sensibilidad para los estímulos entrantes y suele ser evaluada mediante tareas en las que se presenta una señal de aviso respecto de otras señales blanco a las que hay que responder.
- La orientación supone la capacidad para seleccionar la información relevante y puede ser evaluada mediante tareas en las que se presentan claves que informan sobre el lugar donde aparecerá la información relevante a la que hay que responder.
- El control ejecutivo implica la capacidad para regular el curso de la acción y resolver los conflictos que puedan surgir entre nuestros pensamientos, sentimientos y acciones. Suele ser evaluado mediante tareas en las que los sujetos deben inhibir cierto tipo de respuestas inadecuadas a la tarea para facilitar el despliegue de otras más adaptativas.

Estamos pues ante una situación parecida al estudio de las inferencias: tenemos modelos sobre el proceso estudiado (aquí, los atencionales), tareas para estudiarlos y evidencias comportamentales que permiten contrastar empíricamente esos modelos. ¿Qué ha supuesto el uso de técnicas de neuroimagen? Esencialmente, y gracias al trabajo del propio Posner y su equipo, el uso de esas técnicas ha permitido esclarecer que cada uno de estos niveles de la atención compromete áreas cerebrales diferentes y supone el uso de neurotransmisores específicos. Esto avala las distinciones de partida, pues además de las evidencias comportamentales contamos con registros de la actividad cerebral. Ahora bien, cabe destacar una vez más que sin un modelo previo sobre los niveles de atención basados en datos comportamentales y sin el desarrollo de tareas específicas que susciten cada uno de esos niveles no sería factible indagar la actividad cerebral concomitante ni interpretar las evidencias reunidas. Además, los mismos autores que recogieron evidencias comportamentales están implicados en la recogida de evidencias de neuroimagen.

Un último ejemplo proviene del trabajo de Kurt Fisher (2006) quien ha podido establecer relaciones entre los ciclos de cambio ontogenético y ciclos en el desarrollo cerebral. Relaciones que muestran cómo en ambos casos se produce de forma semejante: a través de una serie de ciclos discontinuos que refleja aceleraciones y caídas en el crecimiento. Además, parece haber una coincidencia temporal entre la aparición de esos ciclos y los correspondientes al desarrollo cortical. Así, cuando se considera como indicador del desarrollo cerebral la energía recogida por EEG se aprecian ciclos de aceleración y caída que son comúnmente encontrados en el desarrollo cognitivo y en periodos de edad semejante. Una vez más, nos encontramos con un escenario semejante: a los habituales indicadores conductuales se agregan otros que son convergentes pero relativos a la actividad del cerebro.

En resumen, las tres líneas comentadas sugieren que la neurociencia no ha cambiado nuestros mapas de la mente, sino que los ha hecho más robustos y creíbles.

No es poco. Por supuesto, armados con esos nuevos recursos, será inevitable que se refinan los modelos y muy probablemente que se modifiquen sustancialmente gracias al trabajo coordinado de los dos frentes (Bruer, 2008)⁵. De hecho, habrá que entender que para que un proceso mental se pueda considerar científicamente identificado debe reunir evidencias *off-line*, *on-line* y de neuroimagen. Mas lo importante es que las consecuencias para la práctica educativa siguen siendo las mismas que las que se derivaban de los conocimientos ya existentes: debemos promover que los alumnos hagan inferencias causales durante la lectura y que construyan modelos mentales coherentes de lo que han leído. Habrá que promover un desarrollo equilibrado de los tres niveles de atención (Posner y otros, 2007), habrá que tener en cuenta el patrón de desarrollo de los sujetos a la hora de proponer y diseñar situaciones educativas (Fisher, 2008).

¿Es eso todo lo que cabe esperar de las neurociencias? Veamos un caso algo diferente que quizás refleje un estadio más avanzado de esa danza entre cognición y cerebro y que ha llevado al descubrimiento fascinante de las neuronas espejo.

Inicialmente, el punto de partida del grupo de Rizzolatti de la Universidad de Parma, que fueron quienes descubrieron la existencia de este tipo de neuronas, era entender cómo se disparan las neuronas de un área comprometida con la actividad motora de la mano y de la boca (F5 del lóbulo frontal). Para ello se valían de una metodología muy agresiva para la recogida de evidencias sobre la actividad cerebral de esas áreas y que no puede emplearse con seres humanos (salvo por prescripción médica, como en el caso de los epilépticos). Se trata de introducir electrodos en las áreas objeto de estudio que sean sensibles a la actividad eléctrica de neuronas individuales. El grupo de Parma se había especializado en identificar qué neuronas se disparan cuando se inicia un cierto tipo de movimientos dirigidos a alguna meta: agarrar una fruta para comerla, por ejemplo, y los hallazgos fueron realmente fascinantes: parecía haber un *vocabulario motor* en la F5, de tal manera que un movimiento de prensión con dos dedos dispara neuronas muy diferentes de si se trata de agarrar un objeto grande con toda la mano. La recogida de evidencias es impecable: si un macaco agarra una manzana se dispararán (según el cambio de su potencial eléctrico recogido fielmente por los electrodos) neurona(s) diferente(s) de si se agarra un objeto diminuto colocado encima de la mesa. Es interesante subrayar como lo ha hecho Iacoboni (2008) que el grupo estaba asumiendo que cada neurona podía cumplir una única función: bien motora (agarrar), bien perceptiva (detectar que un mono agarra una nuez) o cognitiva (recordar que se ha agarrado una nuez). Esta asunción refleja un modelo cognitivo sobre la organización de las actividades mentales y durante un cierto tiempo los investigadores de Parma encontraron lo que estaban buscando: efectivamente las neuronas del área F5 estaban al cargo de acciones específicas dirigidas a una meta como la de agarrar objetos para llevárselos a la boca. Pero con el tiempo se enfrentaron a un hecho imprevisto y sorprendente que, si hacemos caso de la leyenda (véase más adelante), aconteció de la siguiente manera. Estamos en una de las rutinarias sesiones del laboratorio en la que se están recogiendo evidencias de una determinada neurona asociada al movimiento de agarrar un objeto mediano con la finalidad de

⁵ Se trata, dice Bruer, de «refinar nuestros modelos cognitivos vía recursivas interacciones entre estudios conductuales, neuropsicológicos y cognitivos» (BRUER, 2008: 55).

comerlo. Dado que hay un electrodo que recoge la actividad eléctrica de esa neurona, contamos con indicadores de su actividad eléctrica cada vez que el macaco agarra con su mano un objeto con esa finalidad. Para eso se hace, justamente, el experimento: se crea la situación que lleva al macaco a agarrar una fruta y el dispositivo nos informa de que cierta neurona ha cambiado su potencial eléctrico. Parece ser que en medio de ese laborioso y rutinario proceso, uno de los experimentadores tuvo a bien agarrar un objeto (quizás un helado) con la meta de llevárselo a la boca y en ese instante empieza la historia de las neuronas espejo: resulta que justo en el momento en el que el experimentador coge el helado con su mano, se registra un cambio en la actividad eléctrica en la neurona motora del macaco que se sabe que está involucrada en la actividad de agarrar ese mismo tipo de objetos para llevárselos a la boca. ¿Cómo interpretar que se dispare la neurona motora implicada en la acción de coger un objeto cuando el macaco no se mueve sino que observa ese movimiento en otros?

Hoy sabemos (Iacoboni, 2008) que esta historia no es cierta en sus términos concretos (no hubo «una» situación, sino muchas), pero refleja a la perfección el clima intelectual en el que surgió el descubrimiento y la perplejidad que suscitó inicialmente, algo que es especialmente importante para los fines de este artículo, pues expresa muy claramente la nueva frontera que abren las neurociencias. Sin duda, la primera vez que ocurrió se interpretó como una anomalía (del aparato o de la situación), pero el hecho de que volviera a suceder repetidamente obligó a modificar el punto de partida: sí, una misma neurona puede tener una función motora y a la vez perceptiva respecto del mismo movimiento. El modelo cognitivo de partida ha quedado en entredicho.

Más importante aún, tenemos una interpretación fascinante y nueva de lo que supone en realidad imitar, leer la mente de los demás o entrar en contacto con nosotros mismos. Resulta que expresiones como «conmoverse» o «revivir» para referirnos a la experiencia subjetiva de empatizar o recordar algo no son metáforas afortunadas sino descripciones muy precisas de lo que significa realmente ponernos en el lugar del otro o recuperar ciertas experiencias. Significa que cuando vemos lo que otro hace (observación) o experimenta (empatía), se activan en nuestro cerebro las mismas neuronas que nos sostienen o proporcionan «esa» acción, intención o emoción que apreciamos en los demás.

Por supuesto, ya sabíamos que los seres humanos tienen capacidades mentalistas, esto es, atribuyen intenciones, creencias o percepciones a los demás, pero ahora tenemos una explicación extraordinariamente parsimoniosa de esas capacidades: no requieren inferencias, razonamientos, son experiencias directas, no mediatizadas; simplemente podemos saber lo que el otro siente, sabe o quiere porque experimentamos lo mismo que él (Rizzolatti, Fogassi y Gallese, 2006). De la misma manera, ya sabíamos que los seres humanos tienen una extraordinaria capacidad para aprender mediante la observación de la conducta de otros⁶ (evitándose así la necesidad de experimentar por uno mismo las consecuencias de ciertas respuestas o el moldeamiento de esas mismas respuestas), pero ahora contamos con

⁶ Hace 45 años Albert Bandura (BANDURA, 1963) mostró que los niños podían aprender nuevas conductas y conexiones entre ciertos estímulos y ciertas respuestas sin necesidad de tener a cabo esas acciones ni ser guiados mediante estímulos externos. Las medidas eran comportamentales pero inequívocas.

una explicación sumamente elegante de cómo eso es posible: la conducta del modelo activa las mismas neuronas que son necesarias para organizar nuestras acciones. Finalmente, la naturaleza del significado venía mereciendo una intensa polémica entre quienes abogan por una naturaleza abstracta y quienes sostienen que tiene una naturaleza corpórea, sensorial y motora, y estos hallazgos suponen pruebas adicionales a favor de algún tipo de representación corpórea. En realidad, es una feliz coincidencia que estos hallazgos sobre las neuronas espejo coincidieran con la revisión de la interpretación simbólica del significado propuesta por Barsalou (1989) o Glenberg, Jaworski, y Rischal (2007), quienes, por cierto, operan a la vez con evidencias comportamentales y de neuroimagen para sostener sus ideas (revísense al respecto las conclusiones de la discusión entre simbolistas y corpóreos recogidos magistralmente en De Vega, Graesser y Glenberg, en prensa).

Vemos así dos posibles enriquecimientos de las neurociencias en la comprensión de nuestra mente. Por un lado, estas disciplinas permiten obtener evidencias complementarias sobre los modelos cognitivos ya elaborados. Por otro, nos pueden proporcionar explicaciones nuevas de esos procesos. En el primer caso, las nociones de atención, de inferencia o de ciclo de desarrollo quedan intactas (aunque mejor fundamentadas); en el segundo, es el propio modelo el que se ve enriquecido (como ocurre con la noción de imitación, de teoría de la mente o empatía tras el descubrimiento de las neuronas espejo).

Quizás la conclusión más relevante es que la diferencia entre ciencia cognitiva y neurociencia no sea real y refleje más bien distintos grados de evolución de un determinado campo de estudios. En otras palabras, la danza mente-cerebro parece simplemente imparabile y definitiva, lo que aboca a una concepción unificada de la ciencia propuesta por tantos autores en los últimos años (véase Pinker, 2005).

2.2. *Sobre los logros o resultados del aprendizaje*

Distinguíamos páginas atrás entre los logros del aprendizaje y los procesos que permiten esos logros, esto es, entre «la competencia lectora» (logro) y los procesos que nos permiten alcanzarla: toma de conciencia, imitación, automatización. Lo primero, esto es, los logros o competencias alcanzadas tras un proceso de aprendizaje, se traduce en la creación de redes de conceptos o sistemas de reglas de acción en nuestra Memoria a Largo Plazo (MLP) que se infieren del comportamiento de los sujetos. Por ejemplo, si se compara cómo se desenvuelven jugadores de ajedrez experimentados y quienes no lo son cuando deben memorizar diferentes disposiciones de las figuras en el tablero, la superioridad de los primeros para recordar esas disposiciones es simplemente apabullante si corresponden con jugadas canónicas del ajedrez, pero desaparece si son arbitrarias. De estos datos se infiere que cuentan con estructuras especializadas de conocimientos que les permiten codificar y recuperar de forma más eficiente ese tipo de material (Chi, 1978). Algo parecido se constata cuando se analiza el modo como expertos y novatos en álgebra afrontan la resolución de problemas de ese dominio. Los primeros parecen operar de «arriba abajo», como si dispusieran de una compleja y organizada trama de reglas que ponen en relación cierto tipo de acciones con una elaborada y compleja estructura jerárquica de metas y submetas específica para ese

dominio (Anderson, 2005)⁷. Una vez más, estamos hablando de datos comportamentales que nos permiten inferir la naturaleza de los logros o competencias de una persona. ¿Hay algún registro de ello en nuestro cerebro?

Antes de afrontar esta pregunta, cabe traer a colación una segunda cuestión sumamente inquietante para quienes se encargan de ayudar a aprender: ¿es posible que *todos* lo aprendan *todo*? Esto es: ¿es posible una «alfabetización» científica, musical, emocional, literaria, de toda la población? Este problema tiene una naturaleza moral (¿qué consecuencias tendría si la respuesta fuera negativa?, ¿qué cabe hacer para evitar que algo así llegue a suceder?), pero es también un problema que requiere un análisis científico que nos ayude a entender lo que supone alcanzar esos logros y el papel que las diferencias individuales pueden tener en conseguirlos.

Por supuesto, los datos comportamentales nos informan de la dificultad extraordinaria que supone alcanzar la maestría en la comprensión de las teorías científicas o en la lectura, el tenis o el ajedrez. Por ejemplo, Gardner (1993) se hizo eco de estas dificultades al contraponer la mente no escolarizada a la que sí lo está. En el primer caso se agrupan los logros que se producen de forma espontánea, esto es, simplemente por el hecho de «estar ahí» y convivir en un mundo humano que abriga cuando menos intenciones educativas implícitas (informales). Los logros de la mente escolarizada se consiguen, por el contrario, tras un laborioso y largo proceso de aprendizaje. Los datos comportamentales son en este punto inequívocos: las evidencias recogidas al estudiar las trayectorias de las personas que han sido capaces de alcanzar un nivel de excelencia en dominios o competencias culturales como ser un buen tenista, ajedrecista o violinista (Ericsson y Lehman, 1996) concluyen que en todos los casos se trata de:

- a) *Es un proceso prolongado.* Uno de los resultados más consistentes es que para llegar a ser expertos en esos dominios se requiere una experiencia de formación muy prolongada en el tiempo. De hecho, parece cumplirse aquí la denominada regla de los diez años, establecida por primera vez en el trabajo pionero de Simon y Chase (citado en Ericsson y Lehman, 1996).
- b) *Es un proceso muy selectivo.* Como resulta notorio, no todos los que se inician en una actividad alcanzan un nivel de excelencia. Al contrario, los datos muestran que según se eleva el grado de maestría exigido, en esa misma medida crecen los abandonos. ¿Se imaginan a un preadolescente sugiriendo a sus padres: «¡oye!, que lo dejo», refiriéndose no al judo o al ajedrez, sino a la lectura y la escuela?
- c) *La práctica deliberada.* Ya hemos visto que no todas las personas que se inician en un dominio alcanzan las etapas finales de maestría. ¿De qué depende entonces el éxito? Para Ericsson un factor fundamental es que los aprendices experimenten una *práctica deliberada*, que en esencia contiene dos condiciones generales: a) el aprendiz debe plantearse la tarea de aprendizaje como una oportunidad para mejorar el nivel de ejecución ya conseguido (por esa razón, los ejercicios realizados de manera rutinaria, mecánica

⁷ Se cita este artículo de John Anderson, justamente porque reúne los dos tipos de datos: comportamentales y de neuroimagen (fMRI) junto con los provenientes de la comparación con los primates.

o a ciegas no constituyen práctica deliberada); b) el aprendiz debe comprometerse con la tarea de tal manera que busque alcanzar *la mejor ejecución posible* (este rasgo excluye actividades dirigidas a la diversión o a la exhibición de la competencia). La práctica deliberada requiere, pues, determinación, energía, supervisión y atención sostenida; todo ello aderezado por un apreciable y orgulloso apoyo familiar y social. En ese sentido, Ericsson señala que es raro encontrar una familia con más de un miembro que alcance ese nivel de excelencia.

El interés del trabajo de Ericsson es haber demostrado que la práctica deliberada brilla por su ausencia en el caso de aquellos que simplemente son aficionados. Más relevante aún, la práctica deliberada no sólo es necesaria para alcanzar niveles progresivos de maestría sino para mantener o conservar el nivel de maestría que se hubiera alcanzado.

En definitiva, llegar a dominar una competencia compleja requiere habitualmente *mucho tiempo, apoyo cognitivo y emocional, y un compromiso sostenido con la tarea*. Justamente por eso, no todos sabemos tocar el violín o hablar a la perfección el inglés, y quienes lo consiguen reciben como contrapartida la admiración general. ¿Cómo entender que hablar, relacionarlos o entender intuitivamente el mundo físico y social sea comparativamente tan accesible? Cosmides y Tooby (1994), asumiendo una posición evolucionista de la mente humana, sugieren que no es lo mismo que un organismo esté diseñado para aprender a hacer algo que el que pueda llegar a hacer algo. De la misma manera, se distingue entre competencias primarias (que nos han permitido una ventaja adaptativa) y secundarias (que nos permiten integrarnos en un cultura particular). Unas nos hacen humanos y otras civilizados. En otras palabras: ¿podemos aprender cualquier cosa que nos proponamos?

Por ejemplo, el informe PISA muestra que, efectivamente, un amplio número de escolares de 15 años de los países integrados en la OCDE está lejos de haber alcanzado los ideales de la alfabetización. De forma más precisa: sólo un 5% de los alumnos españoles muestran una capacidad de lectura crítica (un 8% como promedio en la OCDE). Peor aún, en Finlandia —casi, casi, el mundo escolarizado perfecto— lo consiguen sólo uno de cada seis alumnos, esto es, el 15%. Tantos años escolarizados, tanto esfuerzo dedicado por personas «educadas», y, al final, sólo un 8% de nuestros alumnos alcanza nuestros ideales (al menos a los 15 años). Una contundente verificación de que a pesar de nuestros esfuerzos no nos es posible de momento conseguir que toda la población adquiera las competencias implicadas en la lectura y la comprensión a pesar de los ingentes esfuerzos dedicados a ese fin.

Así pues, hay dos asuntos ligados a la naturaleza de las competencias o logros que se adquieren gracias al aprendizaje desde los que interpelar sobre la relevancia de las neurociencias. Primera, ¿hay algún registro en nuestro cortex de los logros del aprendizaje? Segunda: ¿qué naturaleza tienen esos logros «de la mente escolarizada» o «civilizada» de cara a entender por qué es tan difícil universalizar las competencias culturales?

Una manera de contestar a la primera pregunta es comparar el cerebro de personas expertas en algún dominio específico (lectura o música, por ejemplo) con quienes no lo son (analfabetos o profanos). Al fin y al cabo si, como acabamos de

ver en los datos comportamentales, ser experto requiere un paciente y exigente proceso de aprendizaje que da lugar a una acumulación de logros que, a la postre, suponen una forma cualitativamente distinta de percibir y actuar sobre la realidad, todo ello debería dejar alguna huella en el cerebro.

Las evidencias reunidas cuando se lleva a cabo este tipo de estudios revelan que:

- Estudios empleando el fMRI señalan que expertos pianistas muestran una mayor extensión de las áreas cerebrales temporales (cortex auditivo) implicadas en el procesamiento del tono. Más interesante aún: ese agrandamiento se correlaciona con la edad a la que se inician en el aprendizaje de la habilidad (Pantec *et al.*, 1998). Resultados del mismo orden se han encontrado en violinistas (agrandamiento de la representación neural de sus dedos de la mano izquierda). Y algo parecido les ocurre a quienes escriben de manera experta en braille quienes cuentan con representaciones neurales agrandadas de los músculos implicados en la lectura (véase para una revisión Goswami, 2004).
- Los analfabetos tienen una organización funcional cerebral diferente respecto a las personas alfabetizadas tal y como se pone de relieve cuando se les pide que repitan pseudopalabras en voz alta.
- Los disléxicos muestran una menor actividad cerebral en el área temporo-occipital cuando deben resolver tareas de conciencia fonológica como identificar si diferentes letras riman (Goswami, 2008).

En otras palabras, esos 10 años de aprendizaje deliberado que parecen ser necesarios para adquirir una habilidad a un alto nivel dejan una huella indeleble en la organización funcional y anatómica de nuestro cerebro.

Veamos ahora el segundo problema planteado: qué tipo de transformación requieren esas alfabetizaciones y por qué nos está resultando tan difícil conseguirlas. Tomemos por ejemplo el caso del sistema especializado en el reconocimiento de la forma de las palabras. Los estudios de imaginación cerebral muestran que cuando se procesa una palabra escrita se puede apreciar una activación en la región ventro-visual izquierda (surco ttemporo-occipital). Esto ocurre cualquiera que sea el sistema de escritura (chino, japonés, hebreo o fenicio). Lo asombroso es que hay un amplio conocimiento de las propiedades funcionales de esta área que ayudan a entender su implicación en el reconocimiento de la forma de las palabras. Tanaka y sus colegas (citado en Dehane, 2008) han estudiado las características mínimas a las que se dispara una determinada neurona estudiando esa área en macacos y con un procedimiento metodológico parecido al que ya se describió al hablar del trabajo del grupo de Parma. Esencialmente, se trata de identificar qué neuronas se disparan ante la visión de un tipo de objetos. Una vez identificadas las neuronas codificadoras de esos objetos, se simplifica la apariencia del objeto progresivamente con la finalidad de comprobar qué rasgos mínimos del objeto descargan la neurona identificada. Es asombroso constatar que esas formas simplificadas a las que responden las neuronas son tan esquemáticas que se parecen extraordinariamente a nuestras letras. Esto nos da una visión nueva sobre el aprendizaje del alfabeto: no se basa en un mecanismo de dominio general que nos permita aprender esa habilidad y cualquier otra, sino en un sofisticado mecanismo preexistente que nos ha servido a lo largo de nuestra evolución biológica para captar la

invarianza de las formas de los objetos con los que interactuamos. Y esas viejas estructuras son a la postre las que empleamos para aprender los sistemas de escritura. Por supuesto, la relación entre cada forma y lo que representa es por completo arbitraria: ¡es una invención cultural! Pero los materiales con los que hemos construido esas formas no son arbitrarios; se ajustan como un guante a una mano a la naturaleza de los sistemas especializados con los que hemos evolucionado para reparar en la forma de los objetos que nos rodean.

Aunque no hemos nacido con detectores de letras, las letras son suficientemente próximas al repertorio común de formas de las regiones inferotemporales como para ser fácilmente adquiridas y proyectadas en sonidos. [Por tanto] Aunque el cerebro humano no evolucionó para aprender a leer, lo contrario puede ser cierto: la evolución cultural de los sistemas de escritura ha sido conformada, al menos en parte, por la facilidad y rapidez con la que esos sistemas podían ser aprendidos por el cerebro. Esto parece haber ocasionado, en el curso de centurias, la selección de un pequeño repertorio de formas de letras que encajan muy bien con el conjunto de formas que son usadas espontáneamente en nuestro sistema visual para codificar los objetos (Dehane, 2008: 243).

Esto supone, en definitiva, que la adquisición de sistemas o herramientas culturales es posible gracias a un procedimiento de «reciclado» de estructuras previas que evolucionaron para otros fines. Sin duda, ese proceso tiene algunos riesgos: puede que la nueva función roce los límites de capacidad de las viejas estructuras y que eso afecte especialmente a un cierto número de personas. Esto es lo que puede ocurrir en el procesamiento de los sonidos (Goswami, 2008) y explicar por qué algunos alumnos tienen dificultades específicas para aprender a leer. De hecho, ha sido el estudio de los alumnos con dificultades de aprendizaje en la lectura y en la escritura la línea de investigación que más consecuencias ha tenido hasta ahora en la práctica educativa (véase López-Escribano en este volumen y también el trabajo de Alonso Cano respecto del cálculo).

Estos hallazgos plantean además la posibilidad, fascinante, de vislumbrar algún límite en nuestras comprensiones, tal y como el desarrollo de la Teoría General de la Relatividad o la Física cuántica, o la comprensión del Universo nos lo plantean descarnadamente.

En definitiva, los datos comportamentales nos hablan de que adquirir competencias culturales requiere un largo proceso de aprendizaje deliberado en el que la ayuda o enseñanza prestada de forma organizada es clave e indispensable. Sabemos además que adquirir una competencia compleja sobre un dominio requiere dotarnos de estructuras de conocimiento sumamente complejas que nos capacitan para percibir, analizar y actuar sobre la realidad de un modo cualitativamente diferente de lo que lo haríamos antes de alcanzar esa maestría.

Las evidencias que provienen desde la neurociencia confirman que esa maestría se manifiesta en la propia organización funcional y anatómica de nuestro cerebro. Más relevante es que para ello es necesario reciclar estructuras cerebrales que evolucionaron para otros fines. Esto puede ayudarnos a entender por qué resulta tan accesible dotarnos de las capacidades humanas y tan costoso las que hemos denominado civilizadas.

Vemos, una vez más, que, en un sentido, la neurociencia sirve para consolidar los conocimientos reunidos operando con datos comportamentales: es el caso de

los estudios que comparan la organización anatómico funcional de expertos y novatos; y, en el otro, nos brinda explicaciones nuevas que nos ayudan a comprender la naturaleza de los logros educativos y las dificultades que pueden experimentar muchos alumnos. Una situación muy parecida a la observada en el apartado anterior dedicado a los procesos.

2.3. *Ayudas*

El tercer elemento de nuestro triángulo corresponde a un aspecto que nos lleva al tema clave de la Psicología de la Educación: cómo ciertas ayudas interactúan con los procesos de aprendizaje. Hacer un listado de los hallazgos al respecto superaría con creces las posibilidades de estas páginas. Bastará con mencionar algún ejemplo ilustrativo para entender el estado de la cuestión en este punto. Veamos, por ejemplo, el caso del aprendizaje promovido mediante material multimedia que combina la presentación de imágenes, textos, animaciones, guías verbales, agentes educativos virtuales... y que ofrecen múltiples posibilidades de proporcionar ayudas para el aprendizaje. Esta abundancia de recursos ha planteado la necesidad de identificar principios de diseño contrastados empíricamente que permitan establecer cómo combinar información de diversas modalidades a la hora de diseñar un material multimedia: ¿Es mejor presentar información verbal vía auditiva o vía visual cuando se está presentando a la vez una imagen o una animación? ¿Cuántas ayudas sería deseable proporcionar?

Por supuesto, todas estas preguntas han dado lugar a un cierto número de hallazgos y principios de diseño que parecen sólidos aunque basados únicamente en datos comportamentales (Mayer, 2001). Gracias a ellos sabemos cuándo una ayuda puede ser contraproducente o beneficiosa para movilizar procesos de selección, organización e integración de la información. Veamos alguna de las conclusiones que se ha visto apoyada por un amplio número de evidencias.

- *El principio de modalidad* que establece que allí donde una información verbal acompaña a otra pictórica (una animación, por ejemplo), la primera debe presentarse en modalidad oral. De otro modo el sistema visual de procesamiento quedará sobrecargado, dado que se le obligará a procesar tanto palabras como imágenes de una vez (ver los trabajos de Mayer [2001] al respecto).
- *Menos es más*. Dar menos ayudas puede ser mejor que muchas, al menos en ciertos contextos, tal y como se desprende de los trabajos de Sweller y sus colegas (1998) o Schnotz (2005).

Estos principios de diseño, que ponen en relación un determinado tipo de ayuda y ciertos procesos de aprendizaje, han sido obtenidos mediante evidencias comportamentales: resumir, recordar, responder a preguntas literales, resolver problemas nuevos. ¿Qué ha aportado la neurociencia a estos hallazgos? Desgraciadamente, en este caso apenas contamos con evidencias de la actividad cerebral que muestren el impacto de esas ayudas en los procesos de aprendizaje del sujeto. Supongamos que queremos explorar la idea de *que menos es más*, esto es, que dar pocas ayudas puede ser más beneficioso que dar un número excesivo, ¿qué registros de actividad cerebral podríamos encontrar de que hay un exceso de ayudas

que está perjudicando el proceso de aprendizaje? Esto sería un ejemplo de la aportación de la neurociencia al estudio de la interacción entre ayudas y aprendizaje que daría un impulso a este problema comparable al que se ha dado a las cuestiones ya tratadas respecto de los procesos y de los logros.

Además y sobre la enseñanza en sí misma, cabe advertir de que ciertamente ha habido claros esfuerzos por delimitar la especificidad humana de esta actividad, tratando de rastrear si en los primates superiores es posible o no registrarla (véase Tomasello y Kruger, 1996), pero, y aunque la actividad de enseñar involucra procesos específicamente humanos y en sí mismos perfectamente conocidos como lo de «leer la mente de los otros», lo cierto es que no han sido explícitamente estudiados y están a la espera de que se desvelen los circuitos neuronales implicados en diferentes aspectos de la enseñanza (Strauss, Ziv y Stein, 2002). De hecho, como apunta Usha Goswami, el estudio de la enseñanza es un asunto extraño a la neurociencia cognitiva (Goswami, 2004), más proclive, como hemos visto, a analizar la actividad cerebral que acompaña a los procesos cognitivos implicados en aprender y los resultados que esos procesos ocasionan en nuestro cerebro.

Esto nos lleva a una conclusión sumamente importante, con la que podemos concluir este apartado y que ha sido insistentemente subrayada por quienes más han trabajado en los últimos años a favor de esta colaboración interdisciplinar entre ciencia cognitiva, neurociencia y educación:

Las potencialidades de la neurociencia para la educación son por supuesto enormes pero desarrollarlas requiere construir una nueva ciencia interdisciplinar... [...]. Y eso lleva su tiempo (Fisher *et al.*, 2008: xviii).

En otras palabras, no hay un paradigma nuevo para la educación, tan sólo la señal de que ha llegado el momento de iniciar su construcción. Esta impresión de que se trata de algo que debe ser creado se transmite constantemente: «Nosotros vemos el dinámico despliegue de diferentes tendencias científicas hacia la formación de una nueva red de conocimientos» (Battro, Fisher y Lena, 2008: 5; véase, también, Inmmordino-Yang, 2007 y Goswami, 2004).

En definitiva, se han hecho avances espectaculares respecto de los procesos mentales involucrados en la actividad humana (atención, comprensión, imitación); contamos con registros de las consecuencias de esos procesos, pero apenas los hay en el caso del estudio de la actividad de la enseñanza en sí (lo que hacen quienes ayudan intencionalmente a aprender) y, menos aún, de la interacción entre esos procesos de ayuda y los de aprendizaje.

3. Consecuencias

Como no puede ser de otra manera, las consecuencias para la innovación educativa de este incipiente, aunque prometedor desarrollo, son de momento más una promesa que una realidad. Peor aún, las que aparentemente sí se han producido no han sido del todo afortunadas:

[...] la mayor parte de lo que se denomina educación basada en el cerebro no tiene base en el cerebro o en la ciencia cognitiva (Fisher e Inmmordino-Yang, 2008: xviii).

Esta declaración es también ampliamente compartida (Bruer, 1997, 2008; Goswami, 2004). De hecho, hay ya un listado de interpretaciones erróneas que reciben el nombre de neuromitos, dos de los cuales han sido especialmente analizados por John Bruer:

- 1) La ingenua creencia en las diferenciaciones hemisféricas como si constituyeran bloques separados de nuestra mente especializados cada uno de ellos en tareas específicas, cuando en realidad cada tarea requiere múltiples contribuciones cruzadas de áreas específicas de ambos hemisferios.
- 2) La creencia en que hay periodos críticos para adquirir ciertas competencias que son decisivos para que se concluya felizmente determinados logros o resultados del aprendizaje, cuando en realidad sólo cabe hablar de periodos sensibles que facilitan ciertas adquisiciones. Una segunda lengua se puede aprender más fácilmente en la primera infancia pero eso no impide que un adulto pueda aprenderla.

Por nuestra parte, hemos de hacer notar que estas influencias fallidas afectan en realidad más a los sistemas de creencias que son empleados como marcos de interpretación ad hoc (por ejemplo para explicar por qué no se ha aprendido algo o por qué cuesta aprender algo) y no a los modelos que guían y organizan la enseñanza. Es decir, tienen que ver más con el marco que se emplea para interpretar la realidad que con modelos precisos para intervenir en ella.

Mas supongamos que, proyectando hacia el futuro los logros del presente, contáramos ya con conocimientos útiles de la neurociencia a la práctica educativa. Algo de lo que no dudamos que pueda ocurrir en un futuro más o menos inmediato. En tal caso, habríamos de advertir de que sería ingenuo creer que la «inspiración de la neurociencia educativa» vaya a ser más fecunda que la que ya se podía haber producido apelando a nuestros conocimientos sobre la mente.

Lo cierto es que contamos con conocimientos consolidados que apoyarían y serían útiles para la innovación. ¿Por qué no se han producido ya? Ésta es una pregunta que debiera contestarse antes de poner esperanzas en nuevos desarrollos del conocimiento. Por supuesto, las razones son de diversa índole, pero la que me ha interesado tiene que ver con lo siguiente: hay demasiada distancia entre lo que los profesores hacen y lo que deberían hacer si se tuvieran en cuenta los conocimientos acumulados sobre cómo se aprende con la ayuda intencional de los demás.

Tomemos para ilustrar este problema la noción de que toda actividad propositiva, y aprender intencionalmente es un caso particular de ello, requiere concebir algún tipo de meta o de estado futuro deseable. Así, si consideramos el caso específico de cómo se afronta la lectura de un texto en el curso de la actividad de aula, cabe decir que hay muchas evidencias a favor de que si se proporciona una meta específica (ayuda) que guíe y dé sentido a la lectura del texto que el lector tiene en sus manos, se facilita la ejecución de *procesos* implicados en la selección, organización e integración de la información del texto, lo que da lugar (*resultado*) a un mejor recuerdo y un modelo mental del mundo descrito en el texto más rico y eficiente. Es cierto que no tenemos registros de la actividad cerebral que muestren el impacto de procesar la meta y los cambios que de ello se derivan en las áreas implicadas en seleccionar-organizar-integrar la información, pero las evidencias comportamentales son inequívocas (véase, por ejemplo, nuestro propio

trabajo al respecto: Sánchez, García y González, 2007; Sánchez, García-Rodicio y Acuña, 2008).

Consecuentemente, parecería apropiado que se incluyera esa experiencia de crear metas o razones para leer o releer en el seno de la vida del aula. De hecho, contamos con un amplio número de propuestas en ese sentido que detallan con ejemplos cómo puede plantearse esta ayuda. Desgraciadamente, el impacto de esas propuestas es muy reducido. Así, cuando se observa lo que acontece realmente en las aulas y se analizan con detalle las grabaciones, nos encontramos con los hechos recogidos en la Tabla 1, en la que se identifican elementos o componentes que parecen claves a la hora de crear una meta o proyecto de lectura y la frecuencia con la que aparece cada uno de ellos en el corpus de 30 lecturas que hemos reunido.

Patrón	Procesos (componentes) suscitados					Número de clases
	a) Se detecta un problema a resolver	b) Se visualiza una meta específica que guía la lectura	c) Se anticipa el camino (temas y/o estrategias)	d) El objetivo se considera deseable	e) El objetivo se considera viable	
<i>Patrón 1</i>	Sin episodio de planificación					14 (47%)
<i>Patrón 2</i>			(T)			8 (27%)
<i>Patrón 3</i>			(T/E)			2 (7%)
<i>Patrón 4</i>						3 (10%)
<i>Patrón 5</i>			(T)			1 (3%)
<i>Patrón 6</i>			(T)			1 (3%)
<i>Patrón 7</i>						1 (3%)
TOTAL						30

Tabla 1. Patrones que emergen cuando se analizan los procesos suscitados en los episodios de planificación de las lecturas colectivas. Para representar cada patrón se ha sombreado la casilla correspondiente a los elementos presentes. Cuando se anticipa el camino para lograr el estado ideal (c) hemos distinguido entre señalar los temas que el texto trata (T) y anticipar las estrategias de lectura que pueden ponerse en marcha (E). Tomado de Sánchez, García y Rosales (en preparación).

Atendiendo a lo que consta en la Tabla 1, cabe decir que el patrón más abundante es la no planificación, que supone un 47% del corpus, mientras que el componente más tratado en las lecturas que sí cuentan con ese episodio consiste en enumerar los temas o conceptos que se van a considerar (13 de las 30 lecturas tienen esta ayuda), seguido por el componente «plantear un objetivo específico» al texto que van a leer (6 de las 30 cuentan con esta ayuda). Por ejemplo: «¿Por qué en la Tierra sí hay vida y en otros planetas no? ¿Qué razones hay para ello?». Destaca sobremanera que brille por su ausencia la justificación de ese objetivo en términos de una laguna, necesidad, problema, que «todos tenemos». Igualmente son muy escasas las menciones expresas a proporcionar a los alumnos percepciones de competencia y de sentido. Y desde luego apenas hemos podido registrar menciones expresas al uso de estrategias.

Si consideramos estas evidencias de la práctica educativa, habremos de aceptar que en vez de proponer a los profesores que creen proyectos de lectura para los

textos que se usan en las aulas, quizás fuera más coherente sugerir «cambios factibles» según lo que se haga inicialmente: si alguien suele crear un listado de temas, cabe sugerir que los ponga en relación a un objetivo; si alguien crea un objetivo, cabe sugerir que lo haga deseable y viable; y si alguien no suele plantearse estas cuestiones podría empezar anticipando el listado de temas que serán tratados. Es un ejemplo sencillo para una idea más amplia. No se puede cambiar lo que no se conoce bien. Y es también una manera de expresar cuáles son nuestros problemas actuales: se habla mucho de lo que aún no existe (la necesidad de crear proyectos de lectura), pero muy poco de lo que realmente acontece en nuestras aulas. Un desequilibrio que debería importarnos mucho corregir. Obviamente, el hecho de que las propuestas puedan contar con evidencias de neuroimagen no cambia el problema que acabamos de presentar: con o sin esas evidencias, se corre el riesgo de proponer cambios no factibles. Por tanto, necesitamos recabar evidencias sobre «el aprendizaje de los profesores» (Fishman y Davis, 2006) para poder ayudar a los profesores realmente. Unas evidencias que han de ser comportamentales antes de enriquecerlas con las que el desarrollo de las neurociencias puede depararnos. Esto es, aquí, y a diferencia del punto anterior, lo que echamos en falta no es la neurociencia sino más trabajos comportamentales.

4. Conclusiones

- 1) El triángulo mente-cerebro y educación constituye más una promesa de que se puede llegar a generar conocimiento potencialmente útil a la práctica educativa que un nuevo paradigma desde el que interpretar y organizar esa práctica educativa. Los frutos de ese maridaje, como se ha intentado hacer ver, son muy diferentes según los elementos que consideremos:
 - a) Parecen consolidados en el caso del estudio de los procesos cognitivos implicados en el aprendizaje; algo que, definitivamente, hemos de considerar relativamente consolidado.
 - b) Son igualmente notorios cuando se trata de constatar los logros de los procesos de aprendizaje en términos de reorganizaciones anatómico funcionales del cerebro.
 - c) Son inexistentes en el caso del estudio de los procesos implicados en la enseñanza en sí y en la interacción entre la enseñanza y los procesos de aprendizaje.
 - d) Allí donde se ha producido una colaboración efectiva (puntos a y b) cabe distinguir dos tipos de consecuencias para el desarrollo del conocimiento: en un sentido, cabe hablar de que el impacto de las neurociencias ha sido más bien confirmatorio para los modelos cognitivos preexistentes; en el otro, sería más correcto hablar de que ha permitido encontrar nuevas explicaciones a viejos problemas.
- 2) La influencia que la neurociencia ha podido ejercer hasta ahora afecta a la difusión de un cierto número de creencias, en cierta medida erróneas, que se emplean para interpretar aspectos de la experiencia profesional más que para organizarla.

- 3) El terreno donde se pueden abordar cambios relevantes fundamentados en la neurociencia y la cognición es en el de las dificultades de aprendizaje del cálculo y de la lectura.
- 4) La influencia de esos posibles conocimientos en la innovación educativa no será muy distinta de la que de por sí ha ejercido la ciencia cognitiva y la psicología de la educación. Debemos por tanto entender por qué es tan difícil transferir conocimiento a la vida profesional entretanto siguen fraguándose nuevos conocimientos. Lo que sería absurdo es esperar a que lleguen las neurociencias para iniciar unos cambios que en realidad deberían ya haberse emprendido.

Bibliografía

- ANDERSON, J. (2005) Human symbol manipulation within an integrated cognitive architecture. *Cognitive Science*, 29, 313-341.
- BANDURA, A. y WALTERS, R. H. (1963) *Social learning and personality development*. New York: Holt, Rinehart and Winston. [*Aprendizaje social y desarrollo de la personalidad*. Madrid: Alianza Editorial, 1974].
- BARSALOU, L. (1999) Perceptual symbol systems. *Behavioural and Brain Sciences*, 22, 577-660.
- BRUER, J. T. (1999) Education and the brain. A bridge too far. *Educational Researcher*, 26 (8), 4-16.
- (2008) Building bridges in neuroeducation. En A. M. BATTRO, K. W. FISHER y P. J. LENA (eds.) *The Educated Brain*. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 43-58.
- CHI, M. T. H. (1978) Knowledge structures and memory development. En R. SIEGLER (ed.) *Children's thinking. What Develops*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 73-96.
- COSMIDES, L. y TOOBY, J. (1994) Origins of domain specificity: The evolution of functional organization. En L. A. HIRSCHFELD y S. A. GELMAN (eds.) *Mapping the mind. Domain specificity in cognition and culture*. Cambridge: University Press.
- DEHANE, S. (2008) Cerebral constraints in reading and arithmetic: Educations as a «neurological recycling» process. En A. M. BATTRO, K. W. FISHER y P. J. LENA (eds.) *The Educated Brain*. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 214-232.
- DE VEGA, M.; GRAESSER, A. C. y GLENBERG, A. M. (en prensa) Reflecting on the debate. En M. DE VEGA, A. GLENBERG y A. C. GRAESSER (eds.) *Symbols, embodiment, and meaning*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- ERICSSON, K. A. y LEHMANN, A. C. (1996) Expert and exceptional performance: Evidence on maximal adaptation on task constraints. *Annual Review of Psychology*, 47, 273-305.
- FISHER, W. e IMMORDINO-YANG, M. H. (2008) The fundamental importance of the brain and learning for the education. En *The Jossey-Bass Reader on the Brain and Learning*. San Francisco: John Wiley and Sons, xvii-xxi.
- FISHMAN, B. J. y DAVIS, E. A. (2006) Teacher Learning Research and the Learning Sciences. En K. R. SAWYER (ed.) *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*. Cambridge MA: Cambridge University Press.
- GARDNER, H. (1993) *La mente no escolarizada*. Barcelona: Paidós.
- GLENBERG, A. M.; JAWORSKI, B. y RISCHAL, M. (2007) What Brains are for: Action, Meaning, and Reading Comprehension. En D. MCNAMARA (ed.) *Reading comprehension strategies. Theories, interventions, and technologies*. New York: Lawrence Erlbaum Associates, 221-240.
- GOSWAMI, U. (2004) Neuroscience and education. *British Journal of Educational Psychology*, 74 (1), 1-14.

- (2008): Reading and the brain: a cross-language approach. En A. M. BATTO, K. W. FISHER y P. J. LENA (eds.) *The Educated Brain*. Cambridge MA: Cambridge University Press, 198-212.
- GRAESSER, A. C.; SINGER, M. y TRABASSO, T. (1994) Constructing inferences during narrative text comprehension. *Psychol. Rev.*, 101, 371-395.
- IACCOBONI, M. (2008) *Mirroring people*. New York: Farrar, Strauss and Giroux.
- IMMORDINO-YANG, M. H. (2007) A tale of two cases: Lessons for the education from the study of two boys living with half their brains. *Mind, Brain and Education*, 1 (2), 66-83.
- LEÓN, J. A.; ESCUDERO, I.; MASON, R.; PRAT, Ch. y JUST, M. (under review) Neural activity of the backward and forward causal inferences. An fMRI study. *Neuroimage*.
- MAYER, R. E. (2001) *Multimedia learning*. New York: Cambridge University Press.
- PANTEV, C.; OOSTENVELD, R.; ENGELIEN, A.; ROSS, B.; ROBERTS, L. E. y HOKET, M. (1998) Increased auditory cortical representation in musicians. *Nature*, 393, 811-814.
- POSNER, M. I. y ROTHBART, M. K. (1994) *Images of mind*. Scientific American Book.
- (2007) *Educating the human brain*. Washington, DC: APA.
- RIZZOLATTI, G.; FOGASSI, L. y GALLESE, V. (2006) Mirrors in the Mind. *Scientific American*, 295 (5).
- SÁNCHEZ, E.; GARCÍA, J. R. y GONZÁLEZ, A. J. (2007) Can differences in the ability to recognize words cease to have an effect under certain reading conditions? *Journal of Learning Disabilities*, 40 (4), 290-306.
- SÁNCHEZ, E.; GARCÍA, J. R. y ROSALES, J. (en preparación) *Qué hacen los profesores y qué podrían hacer cuando leen textos con sus alumnos en sus aulas*.
- SÁNCHEZ, E.; GARCÍA-RODICIO, H. y ACUÑA, S. R. (2008) Are instructional explanations more effective in the context of an impasse? *Instructional Science*, DOI 10.1007/s11251-11008-19074-11255.
- SCHNOTZ, W. (2005) An integrated model of text and picture comprehension. En R. E. MAYER (ed.) *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press, 49-69.
- STRAUSS, S.; ZIV, M. y STEIN, A. (2002) Teaching as a natural cognition and its implications for teachers. *Cognitive Development*, 17, 1473-1487.
- SWELLER, J.; VAN MERRINBOER, J. J. G. y PAAS, F. (1998) Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 24, 251-296.
- TOMASELLO, M.; KRUGER, A. C. y RATNER, H. H. (1993) Cultural learning. *Behavioral and Brain Sciences*, 16, 495-552.