



## Neuroeducación: reflexiones sobre neurociencia, filosofía y educación

*María José Codina Felip*

I.E.S. Manuel Sanchis Guarner, Valencia, España

### Resumen

Ante los avances en neuroimagen, hay quienes han afirmado que la ética no será necesaria porque todo podrá explicarse al conocer cómo funciona nuestro cerebro. Rechazando semejante tesis, aquí se intenta clarificar el papel de la filosofía y de la educación en el marco de las neurociencias. Para ello se adopta el dualismo pragmático propugnado por Jürgen Mittelstrass, quien ha procurado mediar constructivamente entre el programa de investigación básicamente dualista de la filosofía, y el programa de investigación esencialmente monista de las ciencias naturales. A la luz de esta perspectiva, se discuten áreas más específicas, como la relación entre la arquitectura cerebral y el entorno, y algunos “neuro-mitos” señalados por John T. Bruer en cuanto a la sinaptogénesis y los períodos críticos del aprendizaje. Temas que ilustran la irreductible complejidad (incertidumbre más “superposición”) de lo educativo, y plantean la necesidad de tender puentes transdisciplinarios o de crear una nueva ciencia del aprendizaje en la que colaboren neurocientíficos, psicólogos, educadores y filósofos. Finalmente, se bosquejan nuevas direcciones de investigación, referidas a la importancia de la neuroeducación para la educación ética y cívica requerida por las sociedades multiculturales del presente, esto es, para una educación centrada en las virtudes procedimentales o universales.

### Palabras clave:

Neurociencia, neuroeducación, neuro-mitos, filosofía, educación ética, virtudes

### Abstract

*[Neuroeducation: Reflections on Neuroscience, Philosophy and Education].* With advances in neuroimaging, it has been argued that ethics will no longer be necessary because everything could be explained when we know how the brain operates. Rejecting such an argument, here I try to clarify the role of philosophy and education in the neuroscientific context. In order to do that I assume the pragmatic dualism put forward by Jürgen Mittelstrass, who has tried to mediate between the dualism research program of philosophy, and the essentially monist research program or natural sciences. This approach provided I discuss more specific areas, as the relationship between the brain architecture and the environment, and some “neuro myths” pointed out by John T. Bruer about synaptogenesis and learning critical periods. Those themes serve as illustrations of the irreducible complexity (uncertainty plus “superposition”) of the educational realm, and also of the necessity of cross disciplinary bridges, or of a new learning science built with the collaboration of neuroscientists, psychologists, teachers and philosophers. Finally, I delineate new lines of research, related with the importance of neuroeducation for the civic education required by present multicultural societies, it is to say, for an ethical education centered on procedural or universal virtues.

### Key words:

Neuroscience, Neuroeducation, Neuro Myths, Philosophy, Ethical Education, Virtues

---

### Tabla de contenidos

Neurociencias y filosofía: ¿dos saberes antagónicos?  
 El lugar de la filosofía: conciencia y autocomprensión  
 Hacia una nueva ciencia trans-disciplinar del aprendizaje  
 ¿Desplazará la neuroeducación a la filosofía y a la ética?  
 Tendiendo puentes entre la neurociencia y la psicología cognitiva  
     “Neuro-mitos” sobre el aprendizaje y los periodos críticos  
     Neurociencia y modelos cognitivos  
 Arquitectura cerebral, sinaptogénesis y entorno  
 Incertidumbre y “superposición”: indicadores de la irreductible complejidad del hecho educativo  
 Dirección de futuros trabajos  
 Reflexiones finales

---

## Neurociencias y filosofía: ¿dos saberes antagónicos?

A partir de la fuerte emergencia de las neurociencias se ha cuestionado el papel que las ciencias humanas tienen en el panorama actual. La filosofía y más concretamente la ética parece que han quedado relegadas tal y como defienden algunos seguidores de las neurociencias. El conocimiento del funcionamiento y la estructura del cerebro humano que ha venido de la mano de las avanzadas técnicas de neuroimagen parece que, para muchos, es más que suficiente para entender por qué las personas actuamos, elegimos, pensamos, decidimos, tal y como lo hacemos. Así pues, todo podría explicarse bajo un criterio científico que arrojaría luz y certeza a lo que hasta ahora han sido hipótesis y teorías provenientes de muy distintas corrientes.

En otras palabras, existe un debate en torno a si las neurociencias han de prescindir o no de la filosofía y del resto de ciencias humanas (Segovia, 2001). En el centro de este debate figura la cuestión de la mente y el cerebro. Desde un punto de vista científico —ahora diríamos neurocientífico— mente y cerebro son una misma cosa. Hablamos pues de un monismo reduccionista que se opone frontalmente al dualismo antropológico propio de la tradición filosófica.

Esta cuestión es abordada por Jürgen Mittelstrass (2008) en su artículo “*Mind, brain and consciousness*”. En este artículo, Jürgen Mittelstrass desarrolla y explica el problema de la relación entre mente, cerebro y conciencia situándolo en el momento actual. Fundamentalmente el marco de reflexión es el debate que se establece entre el monismo reduccionista que se plantea desde las neurociencias, especialmente la neurobiología, y el dualismo propio de las ciencias humanas. Mittelstrass va a defender lo que él llama dualismo pragmático. El monismo reduccionista, tal y como explica el autor, establece la identidad entre mente y cerebro, mientras que el dualismo pragmático se opone a dicha reducción de lo psíquico a lo puramente físico, pero diferenciándose del dualismo clásico propio de la filosofía a partir de Descartes.

Las relaciones entre mente y cuerpo, cerebro y conciencia, permanecen en el centro del interés tanto científico como filosófico. En el ámbito científico el problema se sitúa en el nacimiento de la moderna ciencia del cerebro, y esto podría conformar un componente importante del futuro pensamiento filosófico. La postura que Mittelstrass defiende a lo largo del referido artículo es un dualismo pragmático que define de la siguiente manera: “Este concepto se refiere al intento de mediar en una manera constructiva entre el programa de investigación, básicamente dualista, de la filosofía, y el programa de investigación, básicamente monista, de las ciencias naturales” (Mittelstrass, 2008, p. 60). Este intento de mediar entre monismo científico y dualismo filosófico tiene cuatro partes a desarrollar: el problema mente-cuerpo, el yo y su cerebro, identidad y dualismo pragmático y, conciencia y autocomprensión.

Se debate respecto a si los conceptos psicológicos de la mente y la conciencia propios de una concepción dualista, tienen o no referencia ontológica. Para el citado autor, la cuestión ontológica es si la identidad de la conciencia o la mente con los estados y procesos neurofisiológicos se ha transformado en una cuestión teórica de la ciencia, es decir la cuestión de si los conceptos psicológicos independientes son en principio provechosos, o si deben ser evitados. Esto en lo que respecta a la reducción o asimilación teórica dentro del debate entre monismo y el dualismo. La postura de Mittelstrass junto con Martin Carrier (Carrier y Mittelstrass, 1991) es que estos conceptos teóricos psicológicos son productivos, útiles y, de este modo, lo que defienden es un dualismo pragmático. Explican que a pesar de que no hay bases firmemente asentadas para defender la distinción entre los estados y procesos físicos y psíquicos, los conceptos teóricos psicológicos no deberían desecharse sin más, ya que son útiles por su valor explicativo. Dejan de lado, por tanto, la importancia que se le puede dar a si esos conceptos tienen una referencia ontológica o no. Ésta no es la cuestión central aquí, sino la utilidad de estos conceptos a la hora de explicar el funcionamiento de nuestra mente y nuestro cerebro (Mittelstrass, 2008, pp. 65-66).

Así, Mittelstrass no defiende el dualismo propio de la tradición cartesiana, sino que su dualismo pragmático pretende ser un punto intermedio entre el monismo reduccionista que niega la existencia de la mente como tal, y un dualismo que defiende la independencia absoluta entre mente y cerebro. El autor recuerda que “si todo lo que nosotros normalmente sabemos sobre el mundo es al menos en parte una construcción de nuestro cerebro, lo que sabemos sobre nuestro cerebro tampoco puede existir sin ser afectado por tales construcciones” (Mittelstrass, 2008, p. 66). Esto afecta tanto a los defensores del monismo como a los del dualismo. Aquí radica el punto central de su dualismo pragmático y su posición intermedia en el debate ya expuesto. Mente y cerebro no pueden separarse de manera tajante, no pueden ser considerados independientes el uno del otro, pero tampoco pueden entenderse como una única cosa que se reduce al cerebro y los estados y procesos neurofisiológicos. Esto último, para Mittelstrass, es una sobresimplificación.

### **El lugar de la filosofía: conciencia y autocomprensión**

Según se parta de una concepción monista o dualista, se entiende una cosa u otra por conciencia. Desde un punto de vista reduccionista se entiende por conciencia lo siguiente:

[Nadie puede] negar que nuestras experiencias y reacciones están basadas en la habilidad del sistema nervioso para recoger ciertos estímulos físicos, codificarlos como secuencias de acciones potenciales y transformar esta información en secuencias apropiadas de los sistemas motores, lo cual da una explicación suficiente al reduccionismo (Creutzfeldt, 1981, p. 32, original en alemán).

Pero tal y como afirma Mittelstrass, esto no es lo que se entiende por conciencia desde un punto de vista filosófico.

Se entra aquí en la cuestión del papel y lugar de la filosofía ante el creciente interés por las neurociencias. Según el autor “los filósofos no deberían esperar resolver problemas que la ciencia puede resolver mejor [...]. Su tarea es producir claridad en todas las áreas de nuestra autocomprensión y la comprensión de nuestra situación, incluyendo nuestro conocimiento científico” (Mittelstrass, 2008, p. 68). Tal y como nos recuerda, la cuestión que ya planteó Sócrates sobre el conocimiento propio de uno mismo no se ha resuelto, por más avances científicos que haya habido en los últimos tiempos. Parece que con el florecimiento de las neurociencias se llegó a creer que podríamos saberlo todo si nos conocíamos a nosotros mismos desde una perspectiva neurofisiológica.

Pero esto no ha de entenderse como un rechazo de la neurociencia y sus avances. Es un error que los filósofos continúen hablando de la mente y la conciencia como si no existieran la neurofisiología y la psicología científica. Así, para Mittelstrass es un error que tanto los filósofos como los neurocientíficos trabajen cada cual por su lado sin tenerse en cuenta los unos a los otros: “somos seres vivos que construyen no sólo el mundo en el que viven, sino que también se construyen a sí mismos, que viven en y con su propia auto-comprensión” (Mittelstrass, 2008, p. 69). Resulta fundamental distinguir entre el construir el conocimiento científico sobre uno mismo, y construir la auto-comprensión de uno mismo. Esta última construcción es parte de lo que llamamos conciencia. Por tanto, la conclusión a la que llega Mittelstrass es que la mente y la conciencia no son términos reductibles al cerebro, su estructura o su funcionamiento y que, tanto neurocientíficos como filósofos deberían trabajar de manera más interdisciplinar para complementar sus propias investigaciones, ya que, en este punto en el que nos encontramos, después de haber logrado tantos avances en el conocimiento de nuestro cerebro, ambas disciplinas se necesitan la una a la otra.

Por ello, más que hablar de un trabajo interdisciplinar quizá sea mejor hablar de trans-disciplinariedad, de forma que de la contribución de todas las disciplinas implicadas resulte una nueva ciencia del aprendizaje y la educación.

### **Hacia una nueva ciencia trans-disciplinar del aprendizaje**

Si atendemos a cómo evoluciona la ciencia a lo largo de la historia podemos observar que la ciencia parece progresar por seguir alternativamente dos estrategias contradictorias: distinción y conexión. Por un lado, el avance en el aprendizaje ha dependido de una diferenciación y especialización de distintos campos de investigación, disciplinas, temas...

a lo largo de la historia. Pero por otro lado, algunos de los avances más notables han sido conseguidos a través de la transferencia de conocimientos cruzando las fronteras de distintas disciplinas o, aún más, borrando o difuminando dichas fronteras.

En un artículo al respecto, Koizumi (1999) introduce el concepto de estudio trans-disciplinar para distinguir la creación de una nueva ciencia con su propia estructura conceptual, de una influencia mutua que típicamente ocurre cuando disciplinas ya establecidas son contiguas o empiezan a solaparse. Distingue así la trans-disciplinariedad de la inter-disciplinariedad o multi-disciplinariedad, siendo la primera la que debe adoptar la nueva ciencia del aprendizaje que está emergiendo (OECD, 2002).

En función de esta requerida trans-disciplinariedad de la ciencia, se hace necesario en las sociedades modernas “revisar la estructura de las universidades, la organización de la investigación, e incluso los currículos en las escuelas, para fomentar y alentar desarrollos trans-disciplinares apropiados y proporcionar un equilibrio al carácter inevitablemente atomista de las ciencias naturales” (OECD, 2002, pp. 85-86).

En el campo del “aprendizaje y el cerebro” no hay duda de las ventajas de la trans-disciplinariedad. Ésta debe ser promovida y recompensada.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, por sus siglas en inglés), en el informe que elaboró en el 2002 titulado “Entendiendo el cerebro: hacia una nueva ciencia del aprendizaje”, procura reconocer y señalar la emergencia de una nueva ciencia. Es una nueva ciencia del aprendizaje que surge de la trans-disciplinariedad entre “la neurociencia cognitiva, las ciencias cognitivas, la medicina y la educación” (OECD, 2002, p. 86). La mencionada organización afirma que, por el momento, lo que ha de hacerse es instaurar instituciones, planes de estudios y centros de investigación que lleven a cabo una investigación profunda y seria en esta nueva ciencia del aprendizaje. Esto ha de hacerse antes de abordar cuestiones prácticas como son aquellas que pretenden tener una aplicación directa de los avances en neurociencias al ámbito educativo (OECD, 2002, p. 86).

### **¿Desplazará la neuroeducación a la filosofía y a la ética?**

Como docente de filosofía en educación secundaria, naturalmente me preocupa el rumbo de la educación contemporánea. Creo que el avance de las neurociencias lleva a los filósofos por una doble vertiente. En primer lugar, nos alarma el hecho de que desde la neurociencia haya quien afirme que las ciencias humanas en general, y la filosofía y la ética en particular, van a dejar de ser útiles y necesarias (Beorlegui, 2009). Parece una afirmación demasiado osada y pretenciosa dada la larga tradición filosófica con la que contamos y dado el momento en el que estamos, en el que si algo vemos que nos falta es formación ética. En segundo lugar, nos atrae el conocer el ámbito de las neurociencias para ver qué podemos aprender de ellas y cómo pueden ser provechosas en nuestra área. Ejemplos de este interés son la neuroética y, por mi parte, la neuroeducación.

Desde la convicción de que es fundamental y necesaria una educación ética en virtudes procedimentales y universales para una convivencia cívica, pacífica y democrática, considero importante investigar qué es y cómo funciona la neuroeducación, y cómo esta disciplina puede ayudar y contribuir a la educación en virtudes.

Visto hasta ahora el reclamo de la necesidad de un trabajo interdisciplinar en el ámbito de las neurociencias, incluso yendo más allá, un reclamo a la trans-disciplinariedad, la nueva ciencia de la educación que conformaría la neurociencia tendrá que contar necesariamente con la filosofía. No es cuestionable hoy en día la importancia que la educación ética ha de tener en nuestra sociedad en general y en el currículum educativo en particular.

Así, en primer lugar ha de tratarse la cuestión bajo la perspectiva de la neurociencia cognitiva, de la que ya empieza a hablarse cada vez en más foros dedicados al tema que nos ocupa (OECD, 2002), para entender cómo funciona el aprendizaje desde una perspectiva neurofisiológica. En segundo lugar, habrá que verse cómo ese conocimiento sobre el aprendizaje humano puede contribuir a la educación ética.

Por tanto, paso a analizar cómo aprende el ser humano.

### **Tendiendo puentes entre la neurociencia y la psicología cognitiva**

Para abordar esta cuestión, me basaré en un artículo de John T. Bruer (2008) titulado “*Building bridges in neuroeducation*”. En dicho texto Bruer desmonta algunas afirmaciones injustificadas que se han derivado de los hallazgos en las neurociencias, sobre todo en lo que se refiere a los períodos sensibles, la densidad sináptica y la maduración del cerebro. Recalca la importancia de incluir en la neuroeducación los conocimientos de la psicología cognitiva y de la conducta que nos pueden ayudar a conocer mejor cómo funciona el ser humano durante el proceso de aprendizaje a lo largo de su vida, y no ceñirnos únicamente a lo que “vemos” mediante las técnicas de neuroimagen, ya que estos resultados necesitan de una interpretación que, si es aventurada, seguramente será errónea.

Tal y como Bruer ya planteaba en un artículo anterior (Bruer, 1997; 2008), la ciencia básica del aprendizaje es la neurociencia cognitiva, que se basa en los métodos de la psicología cognitiva. Por tanto, para él, la mejor estrategia que pueden seguir los educadores es establecer puentes entre la psicología cognitiva y la práctica educativa por un lado, y entre las neurociencias y la psicología cognitiva por otro. Siendo pues la psicología cognitiva la ciencia intermedia, facilitante de la interconexión entre la neurociencia y la educación (Bruer, 1997).

En su aporte más reciente Bruer (2008) se propone reflexionar sobre el rol dominante que la neurociencia visual (técnicas de neuroimagen) ha tenido a la hora de pensar las bases neuronales del aprendizaje, así como ilustrar la importancia de los modelos cognitivos para la investigación y la práctica educativa. Además de discutir cómo la neurociencia cognitiva puede ayudar en el perfeccionamiento de los modelos cognitivos educativamente relevantes.

*“Neuro-mitos” sobre el aprendizaje y los períodos críticos*

Bruer se centra para abordar esta cuestión en la sinaptogénesis y los periodos críticos. Según el autor, los periodos críticos podrían definirse a grandes rasgos de la siguiente manera: “hay periodos limitados en el desarrollo biológico en los que un organismo es susceptible, está preparado, o abierto a ciertos tipos de experiencias. Si esa experiencia no ocurre durante ese periodo, el desarrollo difiere permanentemente de una trayectoria normal” (Bruer, 2008, p. 44).

Bruer pone de relieve unas afirmaciones que se han hecho a partir de estos hallazgos sobre el funcionamiento y la estructura del cerebro, y que han conllevado consecuencias prácticas para la educación. Estas afirmaciones son (Bruer, 2008, p. 44):

- ♣ La sinaptogénesis del desarrollo ocurre durante los primeros 10-12 años de vida.
- ♣ Éste es un periodo de elevada densidad sináptica y metabolismo cerebral.
- ♣ Éste es el periodo crítico en el desarrollo del cerebro.
- ♣ Durante este periodo crítico, los niños aprenden mejor y más rápido que en cualquier otro momento de su vida.

El problema para Bruer es que estas afirmaciones se han hecho de manera aventurada a partir de los resultados obtenidos mediante las técnicas de neuroimagen, hasta el punto de que se les puede calificar como “neuro-mitos”. Veamos a continuación por qué estas afirmaciones hechas respecto a la sinaptogénesis y los periodos críticos no son válidas.

Bruer pone el ejemplo del estudio llevado a cabo por Harry Chugani y más tarde criticado y contrarrestado por los estudios de William H. Overman. Chugani afirma que la alta densidad sináptica del periodo de desarrollo y el elevado metabolismo del cerebro es la ventana de oportunidad biológica en la cual el aprendizaje es eficiente y fácilmente conservado. Mediante la técnica de neuroimagen PET (Tomografía por Emisión de Positrones) dibujó una línea que medía el consumo de glucosa en varias áreas del cerebro desde el nacimiento hasta los 20 años. La curva resultante mostraba que, en el córtex frontal, la glucosa consumida era mucho mayor en el periodo que va de los 2 a los 11 años. Según Chugani esto ocurre porque este consumo de glucosa es necesario para que se lleve a cabo el aumento de densidad sináptica que se da durante la sinaptogénesis propia del desarrollo. Concluyendo así que este periodo es la “ventana de oportunidad” para las tareas del aprendizaje asociadas al córtex frontal (Chugani, 1998).

Sin embargo, los resultados del estudio realizado por Overman no concuerdan con los resultados obtenidos por Chugani. Overman es psicólogo y llevó a cabo un estudio realizado a sujetos de entre 15 meses y 20 años, quienes tenían que realizar una tarea que les resultara distinta a las habituales para ellos, siendo así una “tarea ajena” que comúnmente se ha asumido que depende del córtex frontal. Durante un largo periodo de tiempo los sujetos que se investigaban realizaban dicha tarea hasta que o bien conseguían un nivel de aprendizaje considerable o bien hasta que habían hecho un total de 1500 intentos. Lo que se demostró con este estudio es que no había una correspondencia entre el

mayor consumo de glucosa apuntado por Chugani, con una mayor facilidad para aprender una tarea, sino más bien al contrario. Es decir, “para una tarea ajena a las habituales, la facilidad de aprendizaje está negativamente relacionada con el consumo de glucosa en el córtex frontal. A medida que aumenta el metabolismo del cerebro, empeora el nivel de aprendizaje. A medida que desciende el metabolismo del cerebro, mejora el nivel de aprendizaje. Es más, el aprendizaje continua mejorando después de que el aumento de glucosa se instala y estabiliza en niveles maduros” (Bruer, 2008, p. 47).

Por tanto, tal y como apunta Bruer, las afirmaciones simplistas y aventuradas basadas en la extrapolación de datos provenientes de las técnicas de neuroimagen en neurobiología, no son consistentes con la investigación de la conducta que nos informa sobre la facilidad y la eficiencia del aprendizaje a lo largo de la vida.

La psicología cognitiva tiene en cuenta variables que la neurobiología generalmente no considera. La investigación en psicología cognitiva ha establecido que el conocimiento previo de un campo temático determinado es un factor fuertemente determinante para la rapidez y la efectividad con la que aprenden los seres humanos. Por tanto, facilidad y eficiencia en el aprendizaje no dependen de la edad o de la maduración cerebral tal y como se apunta por algunos que realizan afirmaciones aventuradas a partir de los hallazgos en neurociencia, sino que depende en gran medida de la experiencia previa que se tenga (Bruer, 2008, p. 47).

En esta línea de la importancia de la experiencia previa, también han ido los estudios de Means and Voss (1985), quienes mediante un experimento acerca de cómo influye la experiencia previa en la comprensión de una historia, concluyeron que los sujetos estudiados (de 7 a 19 años) alcanzaban niveles de aprendizaje maduro alrededor de los 11-12 años, y mantenían o mejoraban estos niveles en la edad adulta, que es cuando se supone que la ventana de oportunidad biológica ya está cerrada. Es decir, no aprendían mejor entre los 4 y los 10 años, la franja de edad que supuestamente representa el periodo crítico propio de la sinaptogénesis.

Así pues, Bruer vuelve a poner de manifiesto que es necesario que la ciencia del cerebro, la neurociencia, establezca un diálogo profundo con la psicología cognitiva. En palabras textuales:

De todos modos, si en la actualidad la ciencia del cerebro no puede explicar los hallazgos logrados por parte de la psicología, entonces las afirmaciones y especulaciones de los neurocientíficos sobre las implicaciones de su investigación respecto a la educación deberían, al menos, ser consistentes con lo que la ciencia de la conducta ya nos dice. (Bruer, 2008, p. 49)

Por tanto, para Bruer el problema es que los neurocientíficos simplemente no están conscientes del acervo acumulado por la psicología cognitiva y educativa. De ahí la necesidad imperativa de un diálogo que permita el establecimiento, no solo de una comunicación entre ambas ciencias, sino de una nueva ciencia de la educación basada en los conocimientos que se tienen de la estructura y funcionamiento del cerebro.

*Neurociencia y modelos cognitivos*

Frente a los problemas de aprendizaje con los que se encuentran los profesores y los investigadores de la educación, la psicología cognitiva intenta dar respuestas que sean de ayuda. La psicología cognitiva intenta entender las representaciones mentales y los procesos que subyacen a la experiencia en las distintas áreas del aprendizaje. Se trata pues de identificar qué procesos son los que fallan cuando un niño presenta un problema de aprendizaje concreto. De esta manera, identificar ciertos déficits ayuda a mejorarlos. En esto se basa Bruer para afirmar que es necesario tener en cuenta a la psicología cognitiva para hablar de educación desde las neurociencias (Bruer, 2008).

En este punto Bruer ofrece varios ejemplos de cómo la neurociencia cognitiva ayuda a identificar los distintos sub-procesos que forman parte de un proceso cognitivo. Es decir, hasta el momento, han sido los estudios de la psicología cognitiva y de la conducta los que han sentado las bases para describir los modelos cognitivos con los que funcionamos los seres humanos.

A partir del surgimiento de las neurociencias, según Bruer, se hace necesaria una revisión de los modelos cognitivos para ayudar a redefinirlos, “hilando más fino”, bien sea para corroborarlos o contradecirlos empíricamente. En este sentido pone de ejemplo a Dehaene (Pinel, Dehaene et al., 2001), quien con su investigación muestra cómo pueden integrarse la psicología cognitiva y la neurociencia respecto a la cognición numérica. Según Dehaene y sus colegas, existe en nosotros de manera previa un modelo cognitivo de comprensión conceptual aritmética, la llamada “Línea Numérica Mental” (“*Mental Number Line*”, MNL), que por razones de extensión no puedo tratar en detalle aquí. Simplemente explicar que es una metáfora según la cual los números se ordenan de izquierda a derecha en nuestra mente, a lo largo de un continuo basado en la magnitud y en la que se tienen en cuenta los siguientes factores: los números con su representación arábiga, los números como palabra, y los números como magnitud (Bruer, 2008). La cuestión relevante es que este modelo asume como válida la afirmación de que realmente existe para los seres humanos aquello que puede considerarse como los números como magnitud. Esta asunción de que sí existe la magnitud recibió muchas críticas, porque no era algo que se pudiera demostrar y muchos psicólogos pensaban que la magnitud no existía de un modo previo en el ser humano.

Pero mediante técnicas de neuroimagen, se demostró que las áreas del cerebro que se activaban al hacer comparaciones numéricas con palabras, eran las mismas que se activaban cuando se les indicaban a los mismos los números con cifras arábigas. Puesto que la comparación entre números —decir si un número es mayor o menor que otro— implican la existencia de la magnitud numérica, quedó demostrado por parte de la neurociencia que el modelo cognitivo de la Línea Numérica Mental es correcto.

Con esto, afirma Bruer que es más fácil y efectivo identificar en qué proceso falla un niño e intentar mejorar este déficit. Es decir, un niño puede fallar en establecer la conexión entre la representación y la magnitud de un número, mientras que otro puede fallar en la relación entre la representación numérica y la palabra que designa al número. Cada déficit requiere una intervención específica. Aunque las áreas cerebrales que se activan son las

mismas, eso no quiere decir que la intervención haya de ser la misma. Cada proceso requiere una intervención concreta, no hay intervenciones únicas según las áreas del cerebro activadas. Lo que se necesita en cada caso es diagnosticar qué proceso es el que falla en cada niño.

Así, la neurociencia puede ayudar en gran medida a mejorar los modelos cognitivos que ya existen o sustituirlos si es necesario por otros válidos. Tal y como afirma Bruer: “nuestra estrategia de investigación en neurociencia en general debería ser intentar refinar nuestros modelos cognitivos mediante interacciones recursivas entre los estudios de la conducta, los neuropsicológicos, y los de la neurociencia cognitiva” (2008, p. 55). En definitiva, concluye Bruer:

Debemos construir un mejor puente entre la neurobiología del desarrollo y las ciencias del aprendizaje. [...] Debemos entender como la neurociencia cognitiva puede ayudar a construir puentes entre la ciencia de la mente y la del cerebro, y contribuir a mejorar y refinar los modelos cognitivos. Esto debe ser una interacción mutua entre los científicos de la conducta, los de la cognición y los de la neurobiología. Recuerden, estamos construyendo puentes, no buscando fundamentos (Bruer, 2008, pp. 55-56)

### **Arquitectura cerebral, sinaptogénesis y entorno**

Respecto a la sinaptogénesis, siguiendo a Wolf Singer (2008), es importante explicar que a pesar de la sustancial determinación de la arquitectura cerebral del cerebro humano, los bebés al nacer tienen cerebros muy inmaduros que estarán en un proceso de continuo desarrollo hasta el final de su pubertad. Durante este periodo será cuando el cerebro alcance su total complejidad. El proceso está caracterizado por una continua rotación de las conexiones. Tales conexiones están sujetas a pruebas funcionales que hacen que éstas se consoliden para el resto de la vida o desaparezcan de manera irreversible. Es el proceso denominado sinaptogénesis, seguido de la poda sináptica resultante del test funcional. Esto implica que la experiencia sensorial repercute en el proceso de desarrollo que lleva a la especificación de la arquitectura funcional del cerebro, ya que en función del entorno y las necesidades que éste implique, las sinapsis que quedarán de manera permanente en el cerebro serán unas u otras (Singer, 2008).

Como bien recuerda Singer “lo que hace este proceso tan importante en el contexto de las consideraciones de las estrategias educativas es su irreversibilidad” (Singer, 2008, p. 101). El periodo en el que ocurre la sinaptogénesis se ha denominado periodo crítico, y se considera que este periodo son ventanas de oportunidad abiertas al desarrollo. Distintos procesos se llevan a cabo en distintas etapas de esta sinaptogénesis. Por ejemplo, el proceso de las señales sensoriales se desarrolla en el cerebro en los dos primeros años de vida, mientras que la ventana de oportunidad para la incorporación social del individuo se da en la adolescencia. Una vez estas ventanas del desarrollo se cierran, las neuronas dejan de formar nuevas conexiones y las ya existentes no pueden ser eliminadas. Por ese motivo, tal y como explica el autor “es sólo durante estos periodos críticos cuando la arquitectura del

cerebro puede ser modificada y optimizada de acuerdo a criterios funcionales” (Singer, 2008, p. 101). Una vez el respectivo periodo crítico ha finalizado, el circuito en el área del neocórtex en cuestión deja de ser modificable. Las modificaciones funcionales posteriores que se quieran hacer son las que se dan durante el aprendizaje en la edad adulta o, en cualquier caso, después de la madurez, pero están limitadas por las invariables arquitecturas anatómicas.

Los experimentos que se han hecho respecto a la modificación de la arquitectura del cerebro después de los periodos críticos, se ha hecho fundamentalmente en lo que respecta a la visión. Son experimentos que se han hecho con gatos. Evidentemente, con humanos estos experimentos no pueden llevarse a cabo, pero según Singer, parece legítimo concluir por extrapolación que tal como hay periodos críticos para la adquisición de funciones superiores, como la visión, de la misma manera los efectos de la privación para el desarrollo de estas funciones serán perjudiciales (Singer, 2008).

Pero lo más importante es la conclusión a la que Singer llega respecto a estos periodos críticos. Explica que a pesar de la probable importancia de las ventanas de desarrollo para la adquisición de las funciones cognitivas superiores, sabemos más bien poco sobre su comienzo y duración. Pero lo que sepamos al respecto a lo largo del tiempo será importante para la investigación respecto a los currículos, es decir, será de gran importancia para la psicología del desarrollo, y aumentará su relevancia en el campo de la pedagogía (Singer, 2008).

Respecto a la privación de estímulos que impidan un desarrollo normal del niño, Singer se pregunta por qué si la privación tiene efectos en la maduración de la arquitectura del cerebro, la naturaleza ha hecho que los mecanismos de desarrollo sean expuestos a los peligros que supone depender de la experiencia sensitiva. La respuesta que da el autor es la siguiente: “Es probable que abrir el proceso del desarrollo a la influencia epigenética permita la realización de funciones que no podrían ser logradas por medio de instrucciones genéticas únicamente y esto compensa en alto grado los posibles peligros de la privación” (Singer, 2008, p. 102). Lo que viene a explicar esto es que se trata de una cuestión de economía de energía y eficiencia. El sistema nervioso, nuestro cerebro, puede aprender a partir de las contingencias estadísticas en su entorno para almacenar aquél conocimiento que le sea útil cuando procesa su arquitectura. Este conocimiento puede ser utilizado para formular hipótesis sobre las propiedades específicas que tiene el mundo en el que se desenvuelve cada organismo. Tal y como explica Singer:

A través de la formación epigenética de la arquitectura funcional del cerebro los organismos pueden adaptar sus arquitecturas neuronales al entorno en el cual ellos han nacido, y esto economiza en gran medida los recursos computacionales que han de invertirse para enfrentarse a los problemas específicos de sus respectivos entornos (Singer, 2008, pp. 102-103).

Las conclusiones a las que llega el autor son que las modificaciones dependientes de la experiencia en la arquitectura del cerebro tienen mayores ventajas que los procesos del desarrollo que dependen únicamente de la genética. Al incluir señales del entorno, esto permite una validación funcional y una adaptación de las conexiones neuronales al entorno

en el que se vive que no pueden ser adquiridas por la mera instrucción genética. Por tanto, la inclusión de las influencias del entorno en los procesos del desarrollo permiten la adaptación específica de la configuración de la estructura cerebral en función de las demandas propias del entorno. Si esto no ocurriese así, todo ser humano tendría la misma manera de proceder determinada genéticamente en cualquier situación, cosa que nos debilitaría mucho como especie al no poder aprender adaptativamente en el entorno en el que hemos de vivir, el cual puede variar en gran medida dependiendo de la localización geográfica, el momento histórico, etc. (Singer, 2008).

Si atendemos al control del desarrollo dependiente de la experiencia por los sistemas de activación internos, tenemos que el cerebro en desarrollo tiene mecanismos para protegerse de modificaciones epigenéticas inapropiadas de su arquitectura. Para que se lleven a cabo modificaciones de los circuitos en desarrollo, bien sea para su consolidación o su interrupción, necesitan ser activadas por la actividad neuronal complejas cascadas de interacciones moleculares. Esta cadena altamente compleja de procesos moleculares es a su vez controlada por señales provenientes de múltiples fuentes que permiten o impiden la traducción de la actividad neuronal en modificaciones anatómicas permanentes. Factores como la atención, recompensa al valor de los estímulos y la relevancia de la conducta, modulan estos cambios. Tal y como explica Singer “estos sistemas de control aseguran que solo las señales del entorno pueden inducir modificaciones de los circuitos de acuerdo con las expectativas y necesidades del cerebro en desarrollo” (Singer, 2008, p. 105).

Así también, el conocimiento a priori que reside en la arquitectura determinada genéticamente del cerebro es utilizada para seleccionar las señales del entorno que son apropiadas para la formación epigenética de la arquitectura cerebral. Será en función de la evolución en el tiempo de las distintas ventanas de desarrollo (periodos críticos), la naturaleza de las señales que serán requeridas va a variar, es decir, sólo serán tenidos en cuenta los *inputs* requeridos según las necesidades del periodo en cuestión. Por lo tanto, tal y como explica Singer, es el cerebro en desarrollo quien “tiene la iniciativa en todos los procesos de desarrollo dependientes de la experiencia” (Singer 2008, p. 106).

Todo esto tiene importantes consecuencias respecto a la educación. Por una parte está lo que ya sabemos, que la privación, sea cual sea ésta, tendrá consecuencias nefastas para el desarrollo. Pero lo más importante es la conclusión a la que llega Singer en contra de aquellos que abogan por la utilización de lo que se denominan “entornos altamente enriquecidos” durante los periodos críticos. Según Singer:

[...] no tiene sentido ofrecer tantos estímulos como sea posible durante tanto tiempo como sea posible. El cerebro en desarrollo utilizará sólo aquellas señales que en ese momento necesita, y el riesgo de ofrecer demasiados y demasiado variados estímulos es que esto tiene un efecto de distracción y hace difícil al cerebro concentrarse en aquellas señales que verdaderamente necesita (Singer, 2008, p. 106).

Por lo tanto, tal y como se expone en el artículo, una estrategia mucho más efectiva es probablemente el observar con atención la conducta espontánea del niño, para averiguar qué necesita realmente y cuáles son sus intereses en los distintos estados de su desarrollo, y

así ofrecerle tantas respuestas claras y exhaustivas como sea posible. Un indicador de que se está siguiendo una buena estrategia, según Singer es observar las emociones positivas que se hacen manifiestas en el niño.

### **Incertidumbre y “superposición”: indicadores de la irreductible complejidad del hecho educativo**

Cuando se pretende abordar el estudio del proceso de enseñanza y aprendizaje, nos encontramos con muchos problemas si lo hacemos únicamente desde una perspectiva científica. Incluso utilizando las novedosas técnicas de neuroimagen, se necesita abordar este proceso teniendo en cuenta otros factores que suelen obviarse.

Para explicar esta cuestión, tomo como referencia a Geert y Steenbeek (Geert y Steenbeek, 2008). Hay que partir del hecho de que ellos entienden el proceso de enseñanza-aprendizaje como un sistema que denominan complejo. La definición de sistema complejo que se toma como referencia en este artículo la da Luis M. Rocha: “[un sistema complejo es] cualquier sistema que ofrece un gran número de componentes interactivos (agentes, procesos, etc.) cuya actividad agregada no es lineal (no es derivable de la suma de la actividad de sus componentes individuales) y típicamente muestra auto-organización” (Rocha, 1999). Geert y Steenbeek explican que es necesario para un adecuado análisis de los sistemas complejos respetar su complejidad. Para ellos, el sistema de mente, educación y cerebro, es un sistema complejo que no se ha estudiado de la forma adecuada porque las investigaciones al respecto simplifican en demasía el proceso en sí mismo. Con esto se consigue que se pierdan de vista las características del sistema y se lleguen a conclusiones erróneas e incluso contradictorias entre sí, dependiendo del ámbito del saber del que parta la investigación.

Afirman que la sobre-simplificación en los estudios de estos sistemas complejos ha dado como resultado que se puedan hacer avances importantes pero, por otro lado se hacen la siguiente pregunta: “¿Ha preservado las características centrales de un sistema de desarrollo dinámico y complejo esta forma de simplificación en la investigación?” (Geert y Steenbeek, 2008, p. 72). Según ellos, la respuesta es que en general, la práctica estándar en la investigación del desarrollo no preserva las características centrales de su complejidad. Lo que hacen en este artículo es intentar mostrar que es posible reconciliar nuestra manera habitual de estudiar el desarrollo con esas características del desarrollo que pertenecen su propia naturaleza como sistema dinámico y complejo.

En este trabajo, Geert y Steenbeek exponen su idea de que hay que incluir la imprecisión real, la incertidumbre, en los análisis e investigaciones que se hagan sobre el desarrollo del cerebro humano y la cognición. Los sistemas complejos dan como resultado conclusiones que pueden ser contrarias entre sí, creando incertidumbre al respecto. Pero de lo que se trata es de clarificar si la imprecisión y la ambigüedad son parte de la misma naturaleza del fenómeno llevado a estudio, o si más bien se trata de una imprecisión debida a la falta de formación de los investigadores, a una información insuficiente al respecto, etc.

A la primera situación la llaman “incertidumbre real” (Geert y Steenbeek, 2008, p. 79). Tal y como explican:

[...] en lugar de tomar el desacuerdo entre los evaluadores [de un mismo fenómeno] como indicadores de errores en la medición, el desacuerdo entre observadores bien informados y bien formados que comparten el mismo tipo de criterios y competencias de evaluación, puede ser tomado como información cuantificable sobre la intrínseca ambigüedad e imprecisión de las categorías que ellos han de evaluar. (Geert y Steenbeek, 2008, p. 79)

La otra característica de los sistemas complejos a tener en cuenta es la superposición. Superposición significa que “un fenómeno está caracterizado por dos (aparentemente) propiedades incompatibles al mismo tiempo” (Geert y Steenbeek, 2008, p. 74).

Por ejemplo, la influencia que tiene en la conducta la genética y el contexto en el que vive el individuo. El estudio de la conducta desde una perspectiva simplificada, por decirlo de alguna manera, puede llevar a paradojas. Es decir, nos puede llevar a afirmar cosas contrarias sobre una misma cuestión sujeta a investigación. Un ejemplo que ponen es una persona sobre la que se ha hecho un análisis de su inteligencia y se obtienen los siguientes resultados: es posible que para una persona particular nacida en 1950, su inteligencia esté, al mismo tiempo, completamente determinada por el entorno, y también completamente determinada por sus genes. En palabras de Geert y Steenbeek:

[...] la naturaleza paradójica de esta conclusión disminuye tan pronto como entendemos que los genes y el entorno están atrapados en una compleja cadena de pasos a través del tiempo que no pueden ser concebidos como variables que hacen contribuciones independientes al desarrollo (Geert y Steenbeek, 2008, p. 74).

Los autores apuntan a que debates que se han mantenido en ciertos temas durante mucho tiempo, como el mencionado de la genética y el entorno, son en sí mismos, probablemente, un indicador indirecto de que se está tratando con un sistema complejo en el cual se les ha escapado la superposición y se genera el debate debido a las simplificaciones hechas en las soluciones presentadas.

### **Dirección de futuros trabajos**

Hasta aquí he comentado algunas cuestiones clave sobre cómo funciona el cerebro humano durante el proceso de enseñanza-aprendizaje, cómo la neuroeducación entra en la escena de las neurociencias, y cuál es el lugar de la filosofía en torno a las neurociencias. También he apuntado a la posibilidad de que la neuroeducación contribuya a la educación en virtudes universales. Hacia esta dirección se orientan mis futuras investigaciones.

Creo firmemente que es fundamental la educación de virtudes en la educación secundaria. Defiendo esta educación en esa etapa porque es la previa a la formación profesional que elija cada cual, bien sea universitaria o de cualquier otro tipo. Al finalizar la educación secundaria es cuando se comienza a labrar un proyecto vital en torno a una

profesión que, elegida o no, va a ser un elemento constitutivo de la identidad de los individuos en un alto grado. De allí que sea la etapa fundamental en la cual centrar los esfuerzos en una educación en virtudes. La cuestión de las virtudes universales no ha de entenderse como educación en virtudes sustantivas que impliquen noción alguna de vida buena. El tipo de virtudes universales que propongo son virtudes cívicas que permitan practicar, ejercitar, ciertos hábitos que van a ser necesarios y beneficiosos para una posterior convivencia en una sociedad altamente globalizada y profundamente multicultural (Cortina, 1999).

Muchos a lo largo de la historia han entendido que la principal virtud es la prudencia. Y creo que no les falta razón porque, tal y como ya defendía Aristóteles, para cualquier elección, la mejor consejera es la prudencia, eso sí, de la mano, entre otras cosas, del conocimiento.

Hablamos mucho de democracia deliberativa y de sus condiciones de posibilidad. Por cuestiones de espacio no entro en detalles al respecto. Pero creo que es evidente que ciertos hábitos, ciertas “buenas costumbres” son necesarias para poder hablar de democracia deliberativa. Estas serían las virtudes cívicas en las que se habría de educar. A mi juicio son: la virtud de escuchar, de respetar las opiniones ajenas, de tener el convencimiento de que podemos aprender de los demás —por muy distintos a nosotros que sean—, de estar predispuesto a dejarse convencer por el mejor argumento, de recurrir al diálogo como herramienta válida para la resolución de conflictos, de adoptar una actitud crítica ante la realidad y ante las propias creencias y convicciones, de entender que el conocimiento es la base de la libertad, de reconocer la importancia del pensamiento autónomo para el crecimiento personal y el desarrollo de las capacidades, y, por supuesto, del convencimiento de que la solidaridad es absolutamente necesaria para ser plenamente humano.

Como puede verse, ninguna de estas virtudes son virtudes, podríamos decir, sustantivas. No son virtudes que impliquen ninguna noción concreta de vida buena. En una sociedad multicultural y globalizada como la nuestra, la afirmación excluyente de una noción semejante no tiene sentido y estaría abocada al fracaso. Mientras que las virtudes de las que estoy hablando permiten el diálogo entre culturas, entre cosmovisiones distintas. Permiten el diálogo y favorecen el enriquecimiento de todos, tanto personal como social. Por ello son indispensables para una convivencia pacífica basada en el reconocimiento universal de la dignidad y de los derechos humanos.

## **Reflexiones finales**

Recapitulando, las conclusiones a las que he ido llegando a lo largo del presente artículo son las siguientes:

1. Las neurociencias han de entenderse necesariamente desde una perspectiva de trabajo interdisciplinar.

2. El monismo reduccionista respecto al cerebro que ha venido de la mano de los entusiastas de las neurociencias implica una versión parcial y sesgada de qué es un ser humano.
3. Para abordar las cuestiones en torno a la mente, el cerebro y la educación, ha de tenderse un puente entre la neurociencia y la psicología cognitiva, debido a que esta última posee un profundo conocimiento de cómo aprende el ser humano debido a su larga tradición de investigación al respecto. La neurociencia, por tanto, no puede obviarla como disciplina a tener en cuenta en sus investigaciones.
4. Las nuevas técnicas de neuroimagen pueden servir tanto para mejorar nuestro conocimiento sobre la estructura y funcionamiento del cerebro, como para validar empíricamente o reforzar las teorías propias sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje de la psicología cognitiva.
5. La filosofía tiene un papel fundamental en el ámbito de la neuroeducación. No puede obviarse el dualismo mente-cerebro que ha de prevalecer en la investigación en neuroeducación. En este dualismo, la filosofía cuenta con una larga tradición y mucho que decir respecto a la mente y conciencia humana.
6. Las aventuradas aplicaciones que se han hecho en el ámbito educativo a partir de lo que se conoce del cerebro humano son en su mayoría infundadas y peligrosas.
7. Los neuro-mitos en torno a la sinaptogénesis y los periodos críticos carecen de fundamento neurofisiológico, psicológico y educativo. Ni la sinaptogénesis es el único momento para fomentar el aprendizaje a un nivel de óptimo rendimiento, ni los periodos críticos han de ser objeto de una sobre-estimulación de los llamados entornos enriquecidos. Esto nos llevaría a descartar otros periodos de la vida como útiles para el aprendizaje —como el aprendizaje en edad adulta— y a provocar con una sobre-estimulación que el cerebro pueda confundir estímulos y no se desarrolle de una manera adecuada.

Por último, parece evidente que la neuroeducación puede ser una muy buena herramienta para la educación en virtudes, y que la educación secundaria es una etapa fundamental para una educación en las virtudes cívicas que son precondition de una democracia deliberativa. Esto es, virtudes procedimentales, universales o interculturales, que puedan ser compartidas y asumidas como válidas por cualquier individuo. Para asegurar

Es necesaria una fuerte y fundamentada investigación en pedagogía de la filosofía bajo el marco de la neuroeducación, para que la enseñanza de nuestra materia llegue a los alumnos de una manera adecuada y muestre la necesidad de su aplicación práctica en nuestra sociedad.

## Referencias

- Beorlegui, C. (2009). Ética y neurociencias. Una relación necesitada de clarificaciones. *Revista Realidad*, 119, 37-77.
- Bruer, J. T. (1997). Education and the Brain: A Bridge Too Far. *Educational Researcher*, 26-8, 4-16.
- Bruer, J. T. (2008). Building bridges in neuroeducation. En Antonio M. Battro, Kurt W. Fischer, Pierre J. Léna (eds.). *The Educated Brain. Essays in Neuroeducation* (pp.43-58). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Carrier, M., y Mittelstrass, J. (2001). *Mind, Brain, Behavior: the mind-body problem and the philosophy of psychology*. New York: Walter de Gruyter.
- Chugani, H. (1998). A critical period of brain development: studies of cerebral glucose utilization with PET. *American Journal of Preventive Medicine*, 27, 184-188.
- Cortina, A. (1999). *Ciudadanos del mundo*. Madrid, España: Alianza.
- Creutzfeldt, O. D. (1981). Bewusstsein und Selbstbewusstsein als neurophysiologisches Problem der Philosophie. *Reproduktion des Menschen: Beiträge zu einer interdisziplinären Anthropologie*, 5, 29-54.
- Geert, P. v., Steenbeek, H. (2008). Understanding mind, brain and education as a complex, dynamic developing system: Measurement, modeling, and research. En Antonio M. Battro, Kurt W. Fischer, Pierre J. Léna (eds.). *The Educated Brain. Essays in Neuroeducation* (pp.71-94). Cambridge, UK: Cambridge University Press, Cambridge.
- Koizumi, H. (1999). A Practical Approach to Trans-Disciplinary Studies for the 21st Century – The Centennial of the Discovery of Radium by the Curies. *Journal Seizon and Life Sciences*, 9B, 9-19.
- Means, M. L., Voss, J. F. (1985). Star Wars: A developmental study of expert and novice knowledge structures. *Journal of Memory and Language*, 26-6, 746-757
- Mittelstrass, J. (2008). Mind, brain, and consciousness. En Antonio M. Battro, Kurt W. Fischer, Pierre J. Léna (eds.), *The Educated Brain. Essays in Neuroeducation* (pp.59-70). Cambridge: Cambridge University Press.
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (2002). *Understanding the Brain: towards a new learning science*. Paris, France: OECD Publications Service.
- Pinel, P., Dehaene, S., Riviere, D., LeBihan, D. (2001). Modulations of parietal activation by semantic distance in a number comparison task. *Neuroimage*, 14 (5), 1013-1026.
- Rocha, L. M. (1999). *BITS: Computer and Communications New*. Computing, Information, and Communications Division. Los Alamos National Laboratory. Recuperado el 26 de octubre de 2012, de <http://informatics.indiana.edu/rocha/complex/csm.html>.

- Segovia, F. (2001). Filosofía + ciencia. *Fractal* 33, VI-VI, 153-157.
- Singer, W. (2008). Epigenesis and brain plasticity in education. En Antonio M. Battro, Kurt W. Fischer, Pierre J. Léna (eds.). *The Educated Brain. Essays in Neuroeducation* (pp.97-109). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Vidal, F. (2008). Historical considerations on brain and self. En Antonio M. Battro, Kurt W. Fischer, Pierre J. Léna (eds.). *The Educated Brain. Essays in Neuroeducation* (pp.20-42). Cambridge, UK: Cambridge University Press.