

Neurociencia y educación: hacia la construcción de puentes interactivos

Sol Benarós, Sebastián J. Lipina, M. Soledad Segretin, M. Julia Hermida, Jorge A. Colombo

Introducción. El debate sobre las relaciones potenciales entre neurociencia y educación comenzó hace aproximadamente unas tres décadas. La articulación de conocimientos neurocientíficos y educativos implica contemplar que la emergencia de procesos cognitivos y emocionales durante el desarrollo, así como la posibilidad de influenciarlos a través de intervenciones específicas, podrían integrarse a los procesos de aprendizaje y enseñanza.

Objetivo. Examinar las implicaciones emergentes de los vínculos entre neurociencia, psicología cognitiva y educación, y los requisitos para la construcción de puentes interactivos entre diferentes campos de conocimiento.

Desarrollo. Dicha construcción implica la reducción de brechas epistemológicas, metodológicas, tecnológicas y prácticas. La consideración del desarrollo humano y los procesos de aprendizaje en términos de multiplicidad de niveles de análisis podría contribuir al enriquecimiento de un diálogo crítico y a producciones conjuntas genuinas. Se plantean consideraciones epistemológicas y metodológicas, y se presentan diversas propuestas acerca de cómo establecer los puentes entre las disciplinas.

Conclusiones. Dado el estado incipiente de los esfuerzos interdisciplinarios, sería conveniente abordar la construcción de puentes desde diversos ángulos, en lugar de establecer un puente único. Se proponen elementos constitutivos básicos para la generación de puentes dinámicos orientados a integrar las relaciones complejas involucradas en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Palabras clave. Aprendizaje. Desarrollo cognitivo. Epistemología. Interdisciplina. Niveles de análisis. Psicología cognitiva.

Introducción

¿Es posible establecer puentes que permitan reducir las brechas epistemológicas, conceptuales y metodológicas existentes entre neurociencia y educación? ¿Pueden los avances en el conocimiento del sistema nervioso traducirse en aportes productivos para el ámbito educativo? ¿Existen variables educativas susceptibles de guiar y enriquecer las investigaciones básicas y aplicadas en el ámbito de la neurociencia? Este tipo de interrogantes viene siendo objeto de debate desde hace más de 15 años –con antecedentes entre los años sesenta y setenta–, a partir del planteamiento de que el conocimiento sobre la emergencia de los procesos cognitivos y emocionales durante el desarrollo, así como la posibilidad de influenciarlos a través de intervenciones específicas, podrían integrarse y aplicarse a los fenómenos de aprendizaje y enseñanza [1-6]. En este proceso histórico existen dos hitos de importancia. El primero fue un encuentro en el año 1996, que reunió a investigadores de diferentes disciplinas, en el cual se comenzaron a considerar acercamientos posibles que redujeran las brechas entre neurociencia y educación [7]. El segundo hito corresponde a

la implementación del término ‘puente’, a partir de un trabajo publicado por Bruer [1]. Desde entonces, ‘brecha’ y ‘puente’ han constituido dos conceptos presentes en toda consideración sobre los potenciales vínculos entre ambas disciplinas.

En un sentido amplio, el término ‘puente’ refiere a una entidad que conecta dos o más elementos. En este contexto de discusión se refiere a la función de salvar obstáculos epistemológicos, contribuyendo al tratamiento conjunto de problemas, diseños e intervenciones, lo que facilitaría la construcción integrada de conocimientos. La consideración de dicha construcción requiere, en primera instancia, revisar algunos aspectos centrales de cada disciplina.

En tal sentido, la neurociencia podría definirse como una rama del conocimiento a la que contribuyen distintas subdisciplinas que tienen como elemento común el estudio del sistema nervioso en sus distintas expresiones fenomenológicas [8]. En 1995, la UNESCO se refirió a la neurociencia como una disciplina que involucra tanto a la biología del sistema nervioso, como a las ciencias humanas, sociales y exactas, que en conjunto representan la posibilidad de contribuir al bienestar humano por medio de mejoras en la calidad de vida durante todo el ciclo vital [9].

Unidad de Neurobiología Aplicada (UNA, CEMIC-CONICET). Buenos Aires, Argentina.

Correspondencia:

Lda. Sol Benarós.
Unidad de Neurobiología Aplicada (UNA, CEMIC-CONICET). Avda. Galván, 4102. C1431FWO Buenos Aires, Argentina.

E-mail:

solbenaros@yahoo.com.ar

Agradecimientos:

A CONICET, CEMIC, FONCYT y la Fundación Conectar.

Acceptado tras revisión externa: 30.06.09.

Cómo citar este artículo:

Benarós S, Lipina SJ, Segretin MS, Hermida MJ, Colombo JA. Neurociencia y educación: hacia la construcción de puentes interactivos. Rev Neurol 2010; 50: 179-86.

© 2010 Revista de Neurología

Dentro del conjunto de subdisciplinas, la neurociencia cognitiva ha sido la que probablemente mayores contribuciones ha generado durante la última década, en relación con las aportaciones potenciales a la educación. Como parte de sus objetivos, plantea el estudio integrado de las bases neurales de las representaciones mentales involucradas en diferentes procesos cognitivos, emocionales, motivacionales y psicológicos [10]. Muchos de sus modelos conceptuales provienen de la psicología cognitiva, dedicada al estudio de los procesos mentales que subyacen al comportamiento observable [11]. En la actualidad, es posible verificar esfuerzos en el sentido de integrar ambas perspectivas [12].

El estudio del desarrollo desde la perspectiva de la psicología cognitiva ha sido abordado desde dos áreas: qué es lo que se desarrolla y cómo el desarrollo sigue un curso específico. El primer aspecto ha sido analizado a partir de la observación de los cambios en las competencias cognitivas infantiles a través del tiempo. La neurociencia cognitiva también contribuye a este tipo de análisis, por ejemplo, a través del estudio de la emergencia de diferentes procesos cognitivos [13] en asociación con el desarrollo de distintas áreas corticales [14,15]. La pregunta acerca de 'cómo' el desarrollo sigue cursos específicos requiere del diseño de modelos explicativos para dar cuenta de los cambios en el nivel cognitivo. Tradicionalmente, este aspecto ha sido abordado a partir de experimentos de laboratorio, fundamentalmente en el ámbito de la psicología cognitiva. Desde la neurociencia cognitiva, este tipo de modelos es un área prometedora y reciente, tal como lo ilustran estudios sobre el papel de diferentes redes neurales y mensajeros químicos en el origen de diversos trastornos cognitivos [16]. O bien aquéllos que intentan abordar la complejidad de las interacciones entre diferentes niveles de análisis [17].

Con respecto a la educación, resulta difícil arribar a una definición consensuada [18]. Un aspecto central en los debates actuales refiere al análisis de los diferentes escenarios para planificar y desarrollar propuestas de enseñanza [19]. En este contexto, la complejidad radica en que no sólo está involucrada la formación de los educadores, sino también el análisis de la cultura escolar y de las desigualdades sociales [20]. Con respecto a las prácticas de enseñanza, la consideración de categorías de análisis de los procesos de desarrollo infantil no suele incluir niveles de análisis biológicos.

En las próximas secciones se revisarán propuestas de diferentes autores para la generación de puentes entre neurociencia y educación, así como cuestiones epistemológicas y metodológicas. Se anticipa un

aspecto ideológico que actualmente resulta común a investigadores de ambas áreas: los esfuerzos en el diseño de propuestas de enseñanza y aprendizaje deben considerar que los alumnos adopten actitudes críticas y creativas e integren experiencias en contextos diversos para favorecer elecciones autónomas de reflexión [19,21].

Consideraciones epistemológicas y metodológicas

El desarrollo humano y los procesos de aprendizaje son plausibles de ser estudiados considerando diferentes niveles de análisis, pudiendo establecerse al menos tres: el biológico, el cognitivo y el comportamental. A su vez, cada uno contendría subniveles. Por ejemplo, el nivel de análisis biológico incluiría a otros como el genético, el molecular, el celular, el de las conexiones entre células y el de los sistemas o redes neurales. Por su parte, el cognitivo y el comportamental incluirían los de la conducta individual, los comportamientos sociales en diferentes contextos de desarrollo, así como también en el nivel de la comunidad y la cultura.

Hasta fines del siglo xx, la neurociencia enfocó sus estudios hacia fenómenos en el nivel biológico y cognitivo. Durante la última década, ha incorporado diseños que combinan éstos con el comportamental [22,23]. Por su parte, la práctica y la investigación educativas han enfatizado sus estudios en el nivel del comportamiento [24]. En consecuencia, es importante dar cuenta de las brechas epistemológicas durante la construcción del conocimiento en ambas áreas, particularmente en los abordajes acerca del aprendizaje. Desde las investigaciones neurocientíficas se ha comenzado a incluir el análisis de la modulación de variables contextuales como, por ejemplo, las propuestas de juego de los adultos para los niños [23] o los grados de estimulación en el hogar, sobre el desarrollo cognitivo [25]. No obstante, queda pendiente el estudio en el nivel comportamental y cognitivo de aspectos asociados a los procesos de aprendizaje escolar. Por otro lado, desde las investigaciones educativas, también se estudia la modulación de diferentes variables contextuales en la adquisición de aprendizajes, aunque no se incluye el nivel de análisis biológico. Entonces, considerando que los fenómenos de enseñanza y aprendizaje involucran necesariamente a todos los niveles, el estado actual es de una desarticulación epistemológica significativa.

A menudo se hace referencia a los niveles de análisis, considerándolos como pertenecientes a una disciplina [26]. Es decir, se presenta a la neurociencia

centrada en aspectos biológicos del sistema nervioso; a la neurociencia cognitiva orientando sus estudios hacia las representaciones mentales en tanto actividad neural; y a la educación en relación con los procesos de enseñanza y aprendizaje. Si bien es cierto que cada disciplina plantea un abordaje analítico específico, la construcción de puentes tendría que aspirar a dejar de lado este tipo de divisiones y generar un marco integrador. Precisamente, los comportamientos cognitivoafectivos pueden conceptualizarse como un emergente de la interdependencia entre niveles de análisis [27].

Uno de los cuestionamientos que surgen al pensar en las implicaciones neurocientíficas para la comunidad educativa consiste en considerar que el estudio de los fenómenos neurales es una reducción en la explicación de la complejidad humana, utilizando reduccionismo de modo peyorativo. No obstante, la reducción científica es un proceso por el cual las leyes y conceptos teóricos correspondientes a un nivel de análisis son transferidos a otro más básico o fundamental [28-30].

Un argumento que se opone al del reduccionismo sostiene que los niveles de organización de mayor complejidad no pueden deducirse de los procesos de menor complejidad, ni tampoco reducirse. Sin embargo, hay propuestas que contemplan estas dificultades y proponen que el reduccionismo puede ser apropiado si no es eliminativo. En el tema que nos ocupa, el reduccionismo eliminativo sostendría que la neurociencia, en lugar de ampliar o enriquecer las explicaciones sobre los fenómenos de aprendizaje, las reemplazaría de forma absoluta. Es probable que la mayoría de las críticas legítimas se dirija hacia este tipo de reduccionismo, a pesar de que no se propone en la actualidad por la neurociencia. Por su parte, el reduccionismo no eliminativo postula que si se reducen categorías educativas a otras neurocientíficas no se estaría eliminando a las primeras, sino que se estarían enriqueciendo conceptos y metodologías de la neurociencia a la educación y viceversa [5].

Por otra parte, las posiciones 'emergentistas' consideran que cada nivel de análisis introduce novedades con respecto a los niveles que se refieren a fenómenos de menor complejidad. Es decir, un sistema emergente posee propiedades que no poseen sus componentes [31]. Precisamente, resultan interesantes los abordajes del desarrollo humano en tanto sistema emergente, que involucran relaciones bidireccionales entre múltiples niveles y subniveles de análisis. Estos abordajes dan lugar a modelos integrados de los procesos del desarrollo [32-34]. En este sentido, las producciones nucleadas bajo el

nombre de 'neuroconstructivismo' [12] proponen considerar los fenómenos de desarrollo neurocognitivo considerándolo como un proceso emergente de la evolución de las representaciones mentales generadas por organizaciones neurales, las cuales se modulan, a su vez, por las experiencias y el ambiente.

Entonces, se puede apreciar la dificultad y el desafío que imponen estas cuestiones a la investigación y a las prácticas actuales en las disciplinas que abordan el problema del desarrollo y el aprendizaje. En la medida en que el estudio de los procesos de aprendizaje y de enseñanza no considere las múltiples dimensiones y niveles de análisis, se estará contribuyendo a una visión restringida de tal complejidad. Es decir, las explicaciones basadas en un solo nivel de análisis reducirían o simplificarían en diferentes sentidos el fenómeno de aprendizaje, tanto como lo haría una explicación de un proceso cerebral basada únicamente en variables neurales. Esto no implica que los abordajes multidimensionales propongan el alcance de modelos explicativos de tipo absoluto, sino la posibilidad de dar cuenta de fenómenos complejos basándose en perspectivas conceptuales y metodológicas integradas.

A su vez, es necesario considerar, en el estudio de los fenómenos neurocognitivos, las implicaciones conceptuales y metodológicas de la aplicación de las tecnologías de imágenes (por ejemplo, resonancia magnética funcional y electroencefalografía). Para poder analizar las asociaciones entre procesos complejos como el aprendizaje y la activación neural, es necesario evaluar en forma crítica cómo las áreas cerebrales expresan distintos grados de activación, así como también tener en cuenta que las distintas técnicas deben utilizarse en forma complementaria [11]. La investigación en el área de los trastornos de aprendizaje plantea la necesidad de establecer a priori la naturaleza de un fenómeno a nivel comportamental, para luego poder estudiar los patrones de activación neural, es decir, partir de un modelo cognitivo [2,35]. Un ejemplo en relación con el ámbito educativo son las investigaciones que muestran cambios neurales como resultado de procesos de aprendizaje [36-38].

En síntesis, los abordajes multidimensionales que actualmente propone la neurociencia cognitiva podrían contribuir a la investigación educativa. Asimismo, los aportes de la psicología cognitiva para el estudio de las prácticas de aprendizaje en el aula podrían ser enriquecedores. Se trataría de un proceso de integración epistemológico-metodológico en el nivel de la comprensión de los procesos de enseñanza, más que de un posicionamiento de tipo biológico-determinista [39].

Propuestas para la construcción de puentes entre neurociencia y educación

Desde los primeros debates sobre las posibilidades de establecer conexiones entre neurociencia y educación, la construcción de puentes para reducir la brecha entre ambas continúa siendo un tema central. A continuación se incluyen algunas propuestas, de las cuales se mencionarán los elementos centrales por medio de los cuales los autores plantean cómo construir tales puentes. Dichas propuestas no se excluyen mutuamente, sino que se complementan.

Puentes según criterios disciplinares

Una manera de considerar los puentes entre neurociencia y educación es proponiendo una disciplina como intermediaria y facilitadora de sus conexiones. Entre las disciplinas consideradas para tal fin se encuentran la psicología educacional –lo que implica contemplar los aportes que sobre ella tienen la psicología cognitiva y la neuropsicología [2,29,40-43]–, la psicología cognitiva [1,44] y la neurociencia cognitiva [5,39]. A su vez, otras posturas han resaltado conceptos provenientes de la biología [33,45] y la pedagogía [46].

Psicología educacional

Las primeras propuestas sobre la construcción de puentes postularon a la psicología educacional como aquella disciplina que tenía que continuar los desarrollos de la psicología cognitiva, adoptando una perspectiva neuropsicológica. Se pensaba a la psicología educacional en relación con la neurociencia cognitiva, desde un enfoque rehabilitador (neuropsicológico). En Estados Unidos, desde 1980 se comenzó a introducir en la neuropsicología a psicólogos educacionales y maestros de educación especial. Entonces, surgió la oposición a utilizar conocimientos neuropsicológicos para la comprensión de los problemas educacionales, especialmente aquéllos que enfatizaban aspectos puramente comportamentales. Apareció la necesidad de crear estrategias de comunicación entre ambos campos, como, por ejemplo, que el investigador en el área de neurociencia incluyera como lectores potenciales de alguno de sus trabajos a los educadores e incluso a funcionarios públicos del ámbito educativo [47]. Si bien el mayor desarrollo de las propuestas que consideraron a la psicología educacional como potencial puente disciplinar se dio fundamentalmente hace dos o tres décadas, aún es posible verificar la existencia de posturas que sostienen que la brecha

actual entre neurociencia y educación puede ser acortada, al menos en un primer paso, por la psicología educacional [48].

Psicología cognitiva y neurociencia cognitiva

En 1997, Bruer planteó la existencia de dos puentes que de manera indirecta establecerían asociaciones entre la función cerebral y la práctica educacional. Uno de ellos es el establecido hace más de 50 años entre educación y psicología cognitiva. El otro es el surgido hace aproximadamente 20 años entre psicología cognitiva y neurociencia [1]. El segundo puente permitiría el estudio de la correlación entre funciones mentales y áreas cerebrales. Es decir, Bruer propone que la posibilidad de establecer puentes existe si se toma a la psicología cognitiva como atajo para circular entre neurociencia y educación. Postula que inicialmente sería necesario tomar un camino indirecto que permitiese asociar primero diferentes estructuras neurales con funciones cognitivas específicas, y luego, a tales funciones cognitivas con metas de enseñanza y aprendizaje.

Entonces, la psicología cognitiva se considera como una base más apropiada que la neurociencia para realizar aportes conceptuales a la educación y, en particular, a las prácticas de enseñanza. Esto implicaría que los hallazgos neurocientíficos sólo podrían informar a educación de manera indirecta, que la única ruta factible entre neurociencia y educación sería la que comienza con la psicología cognitiva como un punto de partida teórico, y que existiría la posibilidad de construir puentes desde esta perspectiva hacia la educación, por un lado, y hacia la neurociencia, por otro. Finalmente, esta postura sostiene que en el campo educativo los modelos cognitivos serían más importantes que la identificación de áreas cerebrales implicadas en los primeros. Pasada más de una década, Bruer [49] mantiene una posición escéptica sobre aquellos intentos de generar puentes entre neurociencia y educación que no prestan suficiente atención a la psicología cognitiva.

Por su parte, Geake y Cooper [39] propusieron que algunos hallazgos experimentales realizados en el contexto de la neurociencia cognitiva podrían tener implicaciones directas no sólo para el desarrollo cognitivo, sino también para el aprendizaje, incluso en ámbitos de educación formal. Esta postura reconoce los reduccionismos a los que estuvieron expuestos en el pasado reciente diferentes hallazgos neurocientíficos [50], aunque no excluye que, tomando las precauciones necesarias, éstos puedan considerarse en la construcción de puentes.

Puentes basados en la formación de recursos humanos

Ansari y Coch [51] definen al puente como un conjunto de mecanismos que permitirían avanzar en el estudio de la mente, el cerebro y la educación. Explicitan los siguientes mecanismos:

- Formación de educadores en diferentes áreas de la neurociencia, para contribuir con la formulación de preguntas y la generación de asociaciones entre ambas áreas. Esta perspectiva supone que este tipo de formación permitiría a los educadores contar con información acerca de niveles de análisis que contribuirían a evaluar diferentes posturas conceptuales con implicaciones prácticas.
- Formación para investigadores del área de neurociencia en teorías, metodologías y otros aspectos de la práctica educativa, considerando las divergencias críticas entre los contextos de laboratorio y el aula.

Puentes basados en un constructo común para ambas disciplinas

Otra perspectiva fértil es aquella que propone establecer definiciones conceptuales y operacionales comunes para ambas disciplinas. Un ejemplo es la propuesta de Szűcs y Goswami [4] en relación con el constructo 'representación mental' tal como lo considera el neuroconstructivismo. Estos investigadores proponen una definición provisoria de una neurociencia educacional, como la combinación entre la neurociencia cognitiva, la psicología cognitiva y la educación, que se ocuparía de investigar el desarrollo normativo de las representaciones mentales. Dicho desarrollo sería un fenómeno emergente de la interacción de diferentes niveles de organización, modulado por un aumento progresivo de complejidad. Esto implica que ninguna representación mental puede localizarse en una única estructura neural y que la actividad de todas ellas constituye la cognición. Entonces, proponen a la representación mental como constructo que ofrece un nivel de análisis común para ambos, es decir, para la neurociencia cognitiva y para los abordajes educativos. Esto requeriría del estudio de variables neurales, incluyendo la potencial contribución de las tecnologías de imágenes cerebrales que pueden utilizarse para estimar o sugerir posibles correlaciones entre modelos cognitivos de representaciones mentales y la actividad de diferentes redes neurales durante el desarrollo [52]. Por último, Szűcs y Goswami [4] también sostienen que la neurociencia educacional no dependería del modelo médico que enfatiza el análisis de los pro-

cesos neurales desde una perspectiva deficitaria y la búsqueda de intervenciones rehabilitadoras. Por el contrario, una potencial contribución de la neurociencia educacional sería el análisis de las trayectorias de desarrollo típicas de las representaciones mentales y sus implicaciones para el aprendizaje, considerando distintos niveles de análisis.

Puentes basados en consideraciones metodológicas

Diferentes autores han enfatizado aspectos metodológicos para la construcción de puentes [53-56]. McCandliss et al [54] proponen la identificación de un grupo de problemas generados en cada una de las disciplinas. Así, una tarea fundamental consistiría en establecer 'comprensiones compartidas' en la forma de definiciones conceptuales y operacionales posibles de transferirse entre contextos de investigación.

Más recientemente, McCandliss, junto con otros investigadores [5], sostiene que el futuro de la neurociencia educacional dependería más del éxito o del fracaso de estas colaboraciones que de los argumentos lógicos a favor o en contra de las dos disciplinas. Es decir, que, en última instancia, el valor de la neurociencia educacional es una cuestión de orden empírico.

En este sentido, Willingham y Lloyd [56] postulan que, si bien diferentes investigadores han abordado las relaciones entre neurociencia y educación, esto ha sucedido fundamentalmente a nivel teórico. No resulta frecuente la consideración del tema en términos prácticos. Al preguntarse cómo los educadores podrían integrar la información proveniente de la neurociencia, señala que esta propuesta se basa en el hecho de que los investigadores en neurociencia cognitiva utilizan los datos provenientes de sus estudios para generar modelos del funcionamiento cognitivo [11,57], lo que ha permitido proveer de analogías plausibles de transferencia al análisis de procesos de aprendizaje, tal como son planteados en el ámbito de la educación [58]. Asimismo, proponen cuatro procedimientos que podrían contribuir a la integración entre ambas disciplinas:

- Observación directa de constructos hipotéticos en el nivel de la activación neural.
- Validación de constructos hipotéticos en el nivel de análisis comportamental, a través de la aplicación de técnicas de imágenes cerebrales.
- Análisis estructural y funcional de las estructuras neurales como medio para inferir estructuras y funciones a nivel comportamental.
- Uso del conocimiento sobre el funcionamiento neural para identificar y evaluar diferentes teorías acerca del comportamiento en el ámbito educativo.

Puentes basados en la consideración de la multiplicidad de niveles de análisis

Otra perspectiva acerca de cómo generar puentes entre neurociencia y educación es la que considera los diferentes niveles de análisis que proponen la neurociencia cognitiva, la psicología cognitiva y la educación, y que la neurociencia computacional integraría [59]. La brecha que separaría a la neurociencia y a la educación surgiría de la desconexión entre las múltiples descripciones de los fenómenos mentales que se generan en cada una de estas disciplinas. Consecuentemente, la construcción de puentes requeriría la generación de metodologías que permitan traducir conceptos provenientes de una disciplina en términos de otra. En este sentido, un aporte de la neurociencia computacional sería el de la identificación de información de procesos cerebrales para aplicarla en la construcción de modelos matemáticos y computacionales, con el fin de contribuir a la comprensión de cómo se asocian los fenómenos comportamentales a los moleculares, celulares y sistémicos [12,59]. No obstante la riqueza de estos conceptos y técnicas en la actualidad, la neurociencia computacional constituye sólo una alternativa promisoriosa de investigación, en términos de sus potenciales implicaciones para ella y para las prácticas en educación.

Consideraciones finales

Tal como se ha expuesto, no habría una forma única de establecer puentes entre las disciplinas nucleadas por la neurociencia y la educación. Existen múltiples diferencias epistemológicas, conceptuales y metodológicas. Todo esfuerzo orientado a la construcción de puentes requiere considerar en qué medida los profesionales de las distintas disciplinas contribuyen a cristalizar las brechas a través de sus prácticas. Un motivo para esta dificultad radicaría en la falta de integración en la investigación educativa de variables neurocognitivas que faciliten la construcción y aplicación de conocimiento sobre los procesos de aprendizaje y enseñanza.

En este sentido, el estudio de diferentes formas de considerar y enriquecer los sistemas neurocognitivos durante el desarrollo, o el abordaje de los procesos de aprendizaje en función de su potencial influencia sobre el desarrollo neurocognitivo [60], no suelen ser integrados en la investigación educativa, incluso cuando sí se consideran abordajes tan diversos como el constructivismo y el conductismo. De forma complementaria, aspectos complejos de los procesos de enseñanza, como la modulación

del aprendizaje por factores intrínsecos a los educadores, a las instituciones educativas e incluso a los currículos vigentes, tampoco han sido, hasta el presente, un tema dominante de aquellas disciplinas neurocientíficas más cercanas a la posibilidad de construcción de puentes con educación.

Algunos de los hallazgos neurocientíficos que podrían considerarse como candidatos para articularse con las prácticas educativas serían aquellos provenientes de los estudios sobre dislexia y discalculia [61,62]. Pero, en general, estos no se han elaborado en forma interdisciplinaria con la comunidad educativa y, a su vez, algunos de ellos no se han validado empíricamente en el ámbito escolar. Asimismo, en educación se suelen considerar los fenómenos neurocognitivos cuando se presenta un problema que requiere un abordaje clínico. En tales casos, a su vez, se verifica que no se contemplan nociones acerca del desarrollo en términos de integración de diferentes niveles de análisis. Así, se plantea como necesidad evitar la concepción de 'trastorno', que remite a una visión rehabilitadora que propone aportes de la neurociencia para la educación como 'prolongaciones clínicas', más que ligadas al aula.

Por otra parte, existen resistencias provenientes del ámbito educativo al momento de considerar la integración de conocimientos neurocientíficos [63] –en particular, aquellas que identifican erróneamente a la neurociencia con el conductismo–, a pesar de que toda intervención educativa tiene impacto sobre el sistema nervioso. El hecho de que las prácticas de enseñanza no estén diseñadas considerando al sistema nervioso como variable interviniente no quiere decir que éste esté ausente. Por el contrario, se estaría educando a los niños parcialmente 'a ciegas', al no considerar las variables neurales en el diseño de las prácticas escolares. Además, los conocimientos neurocientíficos no necesariamente contradicen las teorías de aprendizaje actuales. Existen propuestas que sostienen que los mecanismos neurales del aprendizaje estarían de acuerdo con los propuestos por algunos abordajes constructivistas [12,64,65]. A su vez, sería importante que la comunidad educativa tomara un papel más activo en la construcción de este tipo de puentes, dado que, inevitablemente, esta línea de investigación continuará desarrollándose y se hace necesario que intervenga [5]. Lo mismo es válido para profesionales de otras áreas, como antropología, filosofía, psicología, sociología, pedagogía y responsables del diseño de políticas públicas.

Dado el estado incipiente de los esfuerzos interdisciplinarios, sería conveniente abordar la construcción de puentes desde diversos ángulos y actores, en lugar de establecer puentes y disciplinas

fijos. Se trataría de puentes dinámicos que intenten capturar las relaciones complejas entre los diferentes niveles de análisis involucrados en los procesos de enseñanza y aprendizaje. En este contexto, los siguientes podrían considerarse como elementos constitutivos básicos para tal tipo de construcción:

- Trabajo interdisciplinario genuino con debates que incluyan aspectos teóricos, epistemológicos, ideológicos y éticos en un marco de respeto mutuo y prudencia de aplicación.
- Identificación de problemas comunes en lugar de división de problemas según disciplinas.
- Identificación de constructos operativos comunes.
- Consideración de la integración de los niveles de análisis en los abordajes metodológicos y analíticos, incluyendo las variables culturales.
- Diseño de intervenciones que incluyan metodologías de base empírica con combinación de lógicas cuantitativas y cualitativas, e integración tecnológica.
- Formación interdisciplinaria de recursos humanos.
- Divulgación de los conocimientos neurocientíficos y de enseñanza integrados en el ámbito institucional y comunitario.

Bibliografía

1. Bruer JT. Education and the brain: a bridge too far. *Educational Researcher* 1997; 2: 4-16.
2. Byrnes JP, Fox N. The educational relevance of research in cognitive neuroscience. *Educational Psychology Review* 1998; 10: 297-342.
3. Gaddes WH. A neuropsychological approach to learning disorders. *J Learn Disabil* 1968; 1: 523-34.
4. Szűcs D, Goswami U. Educational neuroscience: defining a new discipline for the study of mental representations. *Mind, Brain & Education* 2007; 3: 114-27.
5. Varma S, McCandliss BD, Schwartz DL. Scientific and pragmatic challenges for bridging education and neuroscience. *Educational Researcher* 2008; 3: 140-52.
6. Wittrock MC. Education and the cognitive processes of the brain. In Chall JS, Mirsky AF, eds. *Education and the brain*. Chicago: University of Chicago Press; 1978. p. 61-102.
7. Education Commission of the States, Charles A. Dana Foundation. *Bridging the gap between neuroscience and education*. Washington DC: Dana Foundation; 1996.
8. Redolar D. Neurociencia: la génesis de un concepto desde un punto de vista multidisciplinar. *Rev Psiquiatr Fac Med Barc* 2002; 29: 346-52.
9. Vincent JD. *Ethics and neurosciences*. Paris: Unesco; 1995.
10. Atherton M, Diket R. Applying the neurosciences to educational research: can cognitive neuroscience bridge the gap? Part I. Annual Meeting of the American Educational Research Association, Montreal, Canada, April 2005.
11. Posner MI, Raichle ME. *Images of mind*. Washington DC: American Psychological Association; 1994.
12. Sirois S, Spratling M, Thomas MSC, Westermann G, Mareschal D, Johnson MH. Précis of neuroconstructivism: how the brain constructs cognition. *Behav Brain Sci* 2008; 31: 321-56.
13. Goswami U. *Cognitive development. The learning brain*. New York: Academic Press; 2008.
14. Gogtay N, Giedd JN, Lusk L, Hayashi KM, Greenstein D, Vaituzis AC, et al. Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2004; 101: 8174-9.
15. Siegler R, DeLoache J, Eisenberg N. *How children develop*. New York: Worth; 2003.
16. Lipska BK, Weinberger DR. A neurodevelopmental model of schizophrenia: Neonatal disconnection of the hippocampus. *Neurotox Res* 2002; 4: 469-75.
17. Munakata Y, Casey BJ, Diamond A. Developmental cognitive neuroscience: progress and potential. *Trends Cogn Sci* 2004; 8: 122-8.
18. Howard-Jones P. Philosophical challenges for researchers at the interface between neuroscience and education. *Journal of Philosophy of Education* 2008; 42: 3-4.
19. Litwin E. *El oficio de enseñar. Condiciones y contextos*. Buenos Aires: Paidós; 2008.
20. Tenti-Fanfani E. *Nuevos temas en la agenda de política educativa*. Buenos Aires: Siglo XXI; 2008.
21. Lipina SJ, Colombo JA. *Poverty and brain development during childhood: an approach from cognitive psychology and neuroscience*. Washington DC: American Psychological Association; 2009.
22. Han, S., Northoff, G. Culture-sensitive neural substrates of human cognition: a transcultural neuroimaging approach. *Nat Rev Neurosci* 2008; 9: 646-54.
23. Sheese BE, Voelker PM, Rothbart MK, Posner MI. Parenting quality interacts with genetic variation in dopamine receptor D4 to influence temperament in early. *Dev Psychopathol* 2007; 19: 1039-46.
24. Anderson M, Reid C. Don't forget levels of explanation. *Cortex* 2009; 45: 560-1.
25. Farah MJ, Betancourt L, Shera DM, Savage JH, Giannetta JM, Brodsky N, et al. Environmental stimulation, parental nurturance and cognitive development in humans. *Dev Sci* 2008; 11: 793-801.
26. Hall J. Neuroscience and education. A review of the contribution of brain science to teaching and learning. *SCRE* 2005; 121: 1-35.
27. Diamond A. Interrelated and interdependent. *Dev Sci* 2007; 10: 152-8.
28. Churchland PM. *Scientific realism and the plasticity of mind*. Cambridge: University Press; 1979.
29. Stanovich KE. Cognitive neuroscience and educational psychology: what season is it? *Educational Psychology Review* 1998; 10: 419-26.
30. Palma H. *Filosofía de las ciencias. Temas y problemas*. Buenos Aires: UNSAM; 2007.
31. Bunge M. *El problema mente-cerebro. Un enfoque psicobiológico*. Madrid: Altaya; 1980.
32. Bronfenbrenner U, Evans GW. Developmental science in the 21st century: emerging questions, theoretical models, research designs and empirical findings. *Soc Dev* 2000; 9: 115-25.
33. Brown RD, Bjorklund, DF. The biologizing of cognition, development and education: approach with cautious enthusiasm. *Educational Psychology Review* 1998; 3: 355-71.
34. Gottlieb G. Probabilistic epigenesis. *Dev Sci* 2007; 10: 1-11.
35. Spelke ES. Developmental neuroimaging: a developmental psychologist looks ahead. *Dev Sci* 2002; 5: 392-6.
36. Stewart L, Henson R, Kampe K, Walsh V, Turner R, Frith U. Becoming a pianist: brain changes associated with learning to read and play music. *Neuroimage* 2003; 20: 71-83.
37. Mc Nab F, Varrone A, Farde L, Jucaite A, Bystritsky P, Forsberg H, et al. Changes in cortical dopamine D1 receptor binding associated with cognitive training. *Science* 2009; 323: 800-2.
38. Posner MI, Rothbart MK. Influencing brain networks: implications for education. *Trends Cogn Sci* 2005; 9: 99-103.
39. Geake J, Cooper P. Cognitive neuroscience: implications for education? *Westminster Studies in Education* 2003; 26: 7-20.
40. Berninger VW, Abbot RD. The unit of analysis and the constructive processes of the learner: key concepts for educational neuropsychology. *Educational Psychologist* 1992; 27: 223-42.
41. O'Boyle MW, Gill HS. On the relevance of research findings in cognitive neuroscience to educational practice. *Educational Psychology Review* 1998; 10: 397-409.

42. Schunk DH. An educational psychologist's perspective on cognitive neuroscience. *Educational Psychology Review* 1998; 10: 411-7.
43. Berninger VW, Corina D. Making cognitive neuroscience educationally relevant: creating bidirectional collaborations between educational psychology and cognitive neuroscience. *Educational Psychology Review* 1998; 10: 343-54.
44. Blakemore SJ, Frith U. The report on the implications of recent developments in neuroscience for research on teaching and learning. ESRC Teaching and Learning Research Programme. London: Institute of Cognitive Neuroscience; 2000.
45. Iran-Nejad A, Hidi S, Wittrock MC. Reconceptualizing the relevance in education from a biological perspective. *Educational Psychologist* 1992; 27: 407-14.
46. Schumacher R. The brain is not enough. *Analyse & Kritik* 2007; 26: 382-97.
47. Gaddes WH. Applied educational neuropsychology: theories and problems. *J Learn Disabil* 1983; 16: 511-5.
48. Mason L. Bridging neuroscience and education: a two-way path is possible. *Cortex* 2009; 45: 548-9.
49. Bruer JT. Points of view: on the implications of neuroscience research for science teaching and learning: are there any? *CBE Life Sci Educ* 2006; 5: 104-10.
50. Geake J. Neuromythologies in education. *Educational Research* 2008; 50: 123-33.
51. Ansari D, Coch D. Bridges over troubled waters: education and cognitive neuroscience. *Trends Cogn Sci* 2006; 4: 146-51.
52. Casey BJ, Galvan A, Hare TA. Changes in cerebral functional organization during cognitive development. *Curr Opin Neurobiol* 2005; 15: 239-44.
53. Katzir T, Paré-Blagoev J. Applying cognitive neuroscience research to education: the case of literacy. *Educational Psychologist* 2006; 41: 53-74.
54. McCandliss BD, Kalchman, M, Bryant P. Design experiments and laboratory approaches to learning: steps toward collaborative exchange. *Educational Research* 2003; 1: 14-6.
55. Willingham DT. Three problems in the marriage of neuroscience and education. *Cortex* 2009; 45: 544-5.
56. Willingham DT, Lloyd JW. How educational theories can use neuroscientific data. *Mind, Brain & Education* 2007; 3: 140-9.
57. Mayr U, Awh E, Keele SW. Developing individuality in the human brain. A tribute to Michael I. Posner. Washington DC: American Psychological Association; 2005.
58. Posner MI, Rothbart, MK. Educating the human brain. Washington DC: American Psychological Association; 2007.
59. Conell MW. A response to John Bruer's 'Bridge too far': linking neuroscience to education via computational neuroscience. American Educational Research Association Annual Conference. San Diego, California, April 2004.
60. Goswami U. Neuroscience and education. *Br J Educ Psychol* 2004; 74: 1-14.
61. Battro AM, Fischer KW, Léna PJ, eds. The educated brain. Essays in neuroeducation. Cambridge: University Press; 2008.
62. López-Escribano C. Contribuciones de la neurociencia al diagnóstico y tratamiento educativo de la dislexia del desarrollo. *Rev Neurol* 2006; 44: 173-80.
63. Della Chiesa B, Christoph V, Hinton C. How many brains does it take to build a new light: knowledge management challenges of a transdisciplinary project. *Mind, Brain & Education* 2009; 3: 17-26.
64. Lawson A. Points of view: on the implications of neuroscience research for science teaching and learning: are there any? *CBE Life Sci Educ* 2006; 5: 111-7.
65. Diamond A. Preschool program improves cognitive control. *Science* 2007; 318: 1387-8.

Neuroscience and education: towards the construction of interactive bridges

Introduction. The debates on the potential interdisciplinary association between neuroscience and education began approximately three decades ago. In order for the integration of neuroscientific and educational knowledge to impact on learning and teaching it would imply the consideration of the emergence of several cognitive and emotional processes during development, and the possibility to influence them through specific interventions.

Aim. To examine epistemological and methodological implications and bridging requirements in the interaction between neuroscience, cognitive psychology and education.

Development. A dynamic interdisciplinary bridging consists in the identification and reduction of different epistemological, methodological, technological and practical gaps between those disciplines. Furthermore, the consideration of complex phenomena, such as human development and learning processes in terms of multiple levels of analysis, may contribute to the enrichment of a critical dialogue, but also to generate genuine integrated interventions. Historical and current conceptual perspectives attempting to bridge neuroscience and education are described.

Conclusions. At present, interdisciplinary efforts between neuroscience and education are at a preliminary stage. In this context, bridging requires conceptual and methodological approaches that consider the complexity of developmental and learning phenomena and the participation of actors from different fields, instead of unique bridges. This paper intends to consider several basic principles aimed at developing a dynamic integration that assesses the complexity of development, learning and teaching processes.

Key words. Cognitive development. Cognitive psychology. Epistemology. Interdiscipline. Learning. Levels of analysis.