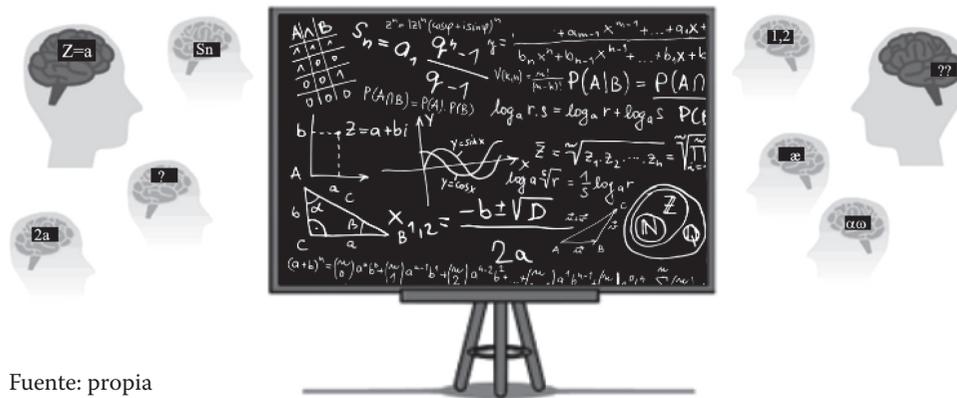


Neurociencias y educación: brechas, desafíos y perspectivas

Neurosciences and education: gaps, challenges and perspectives

Rafael Antonio Vargas Vargas¹



Fuente: propia

Resumen

Las neurociencias han generado gran interés y entusiasmo en las últimas décadas en diversos campos del conocimiento. Uno de estos campos es la educación, razón por lo que se ideó el término *neuroeducación*. Sin embargo, existe una brecha entre las dos áreas, pues, aunque cada vez se acumula gran evidencia experimental acerca de las bases biológicas de las emociones, los procesos cognitivos y sus periodos críticos, son pocos los trabajos que muestran la extrapolación de esto en procesos educativos. Parte de esa brecha se debe a que los neurocientíficos tienen poca relación con la educación y los docentes no tienen una formación sólida en neurociencias. Esto, sumado al trabajo intuitivo por parte de *expertos*, en los procesos educativos, ha favorecido la creación de *neuromitos*, que generan confusión y alejan la posibilidad de una verdadera integración entre neurociencias y educación. Para reducir esta brecha se requieren capacitaciones permanentes a docentes en temas de neurociencias, capacitaciones de neurocientíficos en educación y mayor investigación y divulgación de resultados que validen o descarten la evidencia experimental. Los resultados de estas investigaciones

Citar este artículo como: Vargas Vargas, R. A. (2018). Neurociencias y educación: brechas, desafíos y perspectivas. *Revista Papeles*, 10(20), 39-52.

Fecha de recibido: agosto 15 de 2018 • Fecha de aceptación: noviembre 20 de 2018

¹ Médico-cirujano de la Universidad Nacional de Colombia, Magister en Fisiología de la Universidad Nacional de Colombia, Doctor en Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de México. Docente en el área de fisiología y neurofisiología, Facultad de Medicina, Universidad Antonio Nariño. Correo electrónico: antonio.vargas@uan.edu.co

serán clave para orientar políticas educativas que redunden en el mejoramiento de la calidad de la educación de futuras generaciones.

Palabras clave: aprendizaje, cerebro, enseñanza, neurociencias, neuroeducación, plasticidad cerebral.

Abstract

Neurosciences have generated great interest and enthusiasm in recent decades in various fields of knowledge. One of these fields is education. As a result the term neuro-education was suggested. However, there is a gap between the two areas: neuroscience has accumulated experimental evidence about the biological basis of emotions, cognitive processes and critical periods. Education has few works that show the extrapolation of this evidence in educational processes. The gap neuroscience-education is because neuroscientists have little relation to education and teachers do not have a solid background in neurosciences. This, added to the intuitive work of *experts* in educational processes, has induced the creation of *neuromyths*, which generates confusion and eludes the possibility of a true integration between neuroscience and education. To reduce this gap, it is necessary training for teachers in neuroscience topics, training for neuroscientists in education and, also, research and dissemination of results, which will validate or discard experimental evidence. The results of those studies will be a key to guide educational policies that will result in improving the quality of education for future generations.

Keywords: learning, brain, teaching, neurosciences, neuro-education, brain plasticity.

Introducción

La última década del siglo XX se caracterizó por una fuerte inversión en investigación a nivel mundial que generó varios proyectos orientados a conocer el ser humano desde el punto biológico. Uno de esos proyectos fue el proyecto genoma humano, orientado a secuenciar y descifrar el código genético completo (Cavalli-Sforza, 2005; Collins *et al.*, 1998). En forma paralela, se declaró a la última década del siglo XX como la década del cerebro, debido a que se dio un gran impulso a la investigación en el área de las neurociencias con el fin de entender la función cerebral, pero sobre todo orientado a conocer los mecanismos que determinan la presencia de trastornos neurológicos relacionados con el neurodesarrollo como autismo, trastornos de atención e hiperactividad infantil y trastornos neurodegenerativos como enfermedad de Parkinson, alzheimer, o trastornos psiquiátricos

como psicosis, depresión (Goldstein, 1993, 1994). Si bien es cierto que al final de la década no se alcanzaron los logros esperados, pues el cerebro resultó ser una estructura de alta complejidad, este proyecto atrajo investigadores de diversos campos que enriquecieron las neurociencias con los aportes realizados desde su óptica (Bain, 2019; Bassiony y Lyketsos, 2003; Jones y Mendell, 1999; Zugman *et al.*, 2016). También desde las neurociencias se aportaron ideas e iniciativas a campos diversos como ingenierías, ciencias sociales, ciencias económicas, que fortalecieron o permitieron crear nuevas áreas como la neuroingeniería, la ingeniería de rehabilitación, el neuromarketing, la neuroeconomía, la neuroética. En el campo de la educación, desde las ciencias sociales se empezó a plantear la posibilidad de aplicar los resultados de investigación en la práctica pedagógica y se creó el término

neuroeducación (Ansari, De Smedt y Grabner, 2012; Hardiman, Rinne, Gregory y Yarmolinskaya, 2012; Hook y Farah, 2013). Aunque se ha presentado gran interés alrededor de la neuroeducación, no se ha logrado una integración adecuada entre neurociencias y educación, pues mientras que en neurociencias se han logrado entender procesos biológicos básicos para el aprendizaje, la incorporación de esta información no ha logrado ser integrada a la práctica.



Evidencia experimental sobre el aprendizaje, base de la educación

El aprendizaje no es un proceso exclusivo del ser humano. Muchas especies animales tienen dicha capacidad que les permite adaptarse a los ambientes cambiantes, por ejemplo: recorrer grandes distancias y retornar al punto de partida, después de días, meses o años; identificar rápidamente elementos tóxicos o nutricionales en el ambiente, identificar una potencial pareja en un grupo o identificar el sonido emitido por sus crías. Es por eso que el conocimiento obtenido en el tema del aprendizaje se ha logrado gracias al uso de modelos animales que incluyen invertebrados (*Caenorhabditis elegans*, *Drosophila melanogaster*) y vertebrados como peces, anfibios, roedores, aves, felinos, caninos, primates. La base de esta capacidad de aprendizaje son los circuitos cerebrales en los que se integran el sistema sensorial (vista, oído, olfato, tacto) con el sistema motor, a través de un sistema de asociación (hemisferios cerebrales). En los seres humanos, estos circuitos inician su formación en fases prenatales y continúan su maduración a lo largo de la vida, gracias a la experiencia, a la interacción del individuo con el ambiente. Durante ese desarrollo se han identificado periodos sensibles, que son críticos para que se dé un proceso de aprendizaje adecuado (Lang, Davis y Öhman, 2000; Rice y Barone, 2000). Un primer periodo crítico está en el periodo prenatal, en la fase embrionaria y fetal. Infecciones, desnutrición, fármacos

tóxicos pueden alterar en forma severa el proceso de desarrollo cerebral (Rice y Barone, 2000). En la fase postnatal, la percepción visual, la percepción auditiva, el control motor, el lenguaje, son algunos de los procesos clave en el aprendizaje, que tienen un desarrollo progresivo y secuencial; los cuales tienen periodos críticos en los primeros años de vida, y es allí donde se logran establecer circuitos que serán claves para desarrollar procesos de aprendizaje posteriores. Una de las áreas estudiadas es la capacidad de aprender idiomas. Se ha observado que la exposición a sonidos distintos a la lengua materna antes del año de edad facilita en etapas posteriores el aprendizaje de otro idioma y genera una protección frente a enfermedades neurodegenerativas (Bialystok, Craik y Luk, 2012; Garbin *et al.*, 2010; Kroll, Dussias, Bice y Perrotti, 2015). Sin embargo, hay discusión acerca de si esto da ventajas o desventajas cognitivas al individuo en etapas adultas (Bialystok *et al.*, 2012). De igual forma, existen trabajos en donde se muestra que el desarrollo sensorio motor es clave en el desarrollo de pensamiento matemático, pero no hay estudios a gran escala que demuestren que intervenciones tempranas mejoren el desempeño en estas áreas (Dehaene, Piazza, Pinel y Cohen, 2003; Noël, 2005). En todos esos procesos de aprendizaje es fundamental la maduración y el control de la conducta emocional, los cuales establecen procesos

clave en el aprendizaje, como son la capacidad de atención, el interés, la motivación, la capacidad de tolerancia a la frustración, entre otros (Ochsner y Gross, 2005; Ochsner *et al.*, 2004).

Establecer circuitos cerebrales normales para desarrollar el lenguaje, memoria, aprendizaje, toma de decisiones, control de emociones, tolerancia a la frustración, depende de factores genéticos, pero también de factores epigenéticos que incluyen nutrición adecuada, ausencia de enfermedades, presencia de niveles de estrés

ambiental adecuados. Estos factores, a su vez, dependen de factores económicos, factores sociales, factores culturales y, dentro de estos, el sistema educativo es clave. Del sistema educativo son importantes la infraestructura, que puede generar estímulos ambientales, el currículo y el personal docente comprometido, motivado y capacitado (Alferink y Farmer-Dougan, 2010; Boekaerts, de Koning y Vedder, 2006; Gago Galvagno, Elgier, Gago Galvagno y Elgier, 2018).

Expertos y neuromitos

Una de las limitaciones para la integración entre neurociencias y educación es el trabajo aislado que se realiza en cada uno de estos campos, puesto que los neurocientíficos realizan su trabajo en laboratorios o instituciones de salud y tienen poca relación con la educación y los docentes carecen de una formación sólida en neurociencias (Gago Galvagno *et al.*, 2018). A esto se suma el hecho de que han aparecido *expertos* en neuroeducación que carecen de una formación científica y que han desarrollado un trabajo intuitivo basado en información superficial escrita en publicaciones no científicas (periódicos, magazines, etc.), que en muchas ocasiones ha sido escrita por líderes de opinión o por otros expertos autodidactas (Gleichgerrcht, Luttges, Salvarazza y Campos, 2015; Howard-Jones, 2014; Pasquinelli, 2012; Tardif, Doudin y Meylan, 2015). Esto reduce la posibilidad de desarrollar políticas y procesos educativos con base científica a largo plazo. Esta falta de base científica también ha favorecido la creación de conceptos falsos alrededor de la neuroeducación, a los que se ha denominado *neuromitos*, los cuales generan confusión y alejan la posibilidad de una verdadera integración entre neurociencias y educación (Gleichgerrcht *et al.*, 2015).

Ejemplos de neuromitos son la afirmación de que solo empleamos el 10 % del cerebro. Técnicas de imagenología, como la tomografía axial computarizada o la resonancia magnética

funcional, han demostrado que hasta en funciones simples como dialogar funciona casi el 100 % de las estructuras cerebrales (Simpson *et al.*, 1995; Zugman *et al.*, 2016). Con la teoría de las inteligencias múltiples se desarrolló la idea de individualizar la educación basada en estilos de aprendizaje basados en percepción visual, auditiva o cinética. Hoy en día se plantea que se deben reforzar las diferentes inteligencias para garantizar un adecuado desempeño del individuo (Gardner, 1995; Silver, Strong y Perini, 1997). Otro neuromito es el de cerebro derecho-izquierdo (racional vs. emocional o intuitivo) y la dominancia de uno de ellos en cada individuo. Aquí nuevamente los estudios con imágenes cerebrales han puesto en evidencia que tareas racionales como las matemáticas tienen un componente emocional y tareas creativas como la música o la pintura requieren de conceptos abstractos y matemáticos (Simpson *et al.*, 1995). Otro neuromito es el de la limitación que tiene el cerebro para generar nuevas células y conexiones o sinapsis después de ciertas etapas de la vida. Esta fue la base de proponer condiciones especiales para el aprendizaje como ambientes enriquecidos, proponer estrategias de gimnasia mental o cerebral, técnicas de hipnopedía y establecer periodos críticos para el aprendizaje (Bruer 1999; Goswami, 2004). Esto ha sido desvirtuado, pues existe evidencia de que el cerebro puede reorganizar sus conexiones a

lo largo de la vida, capacidad que se denomina como plasticidad sináptica. Esta plasticidad es mayor en etapas tempranas de la vida en plena época de neurodesarrollo, pero se mantiene a lo largo de la vida, incluso en fases tardías y aun con la presencia de fenómenos de neurodegeneración (Eslinger y Damasio, 1986; Knudsen, 2004; Sahakian *et al.*, 1988).

Diversos estudios muestran que los neuromitos están arraigados en la comunidad educativa, tanto en docentes como en estudiantes (Gleichgerricht *et al.*, 2015; Howard-Jones, 2014; Pasquinelli, 2012; Tardif *et al.*, 2015). Las consecuencias de esta mirada superficial es pensar que la investigación en neurociencias puede revolucionar la educación, sin tener en cuenta que la investigación en neurociencias solo trata de entender lo relacionado con los cambios plásticos cerebrales inducidos por el proceso de aprendizaje. Con esta falsa percepción de la neuroeducación se proponen nuevos métodos de enseñanza, sin tener la suficiente evidencia experimental sobre eficacia y eficiencia de dichas propuestas (Bowers, 2016). De igual forma, se crea confusión y falsas expectativas acerca de la posibilidad de mejorar desempeños académicos aplicando métodos o herramientas pedagógicas, sin discriminar entre individuos normales y personas con trastornos cerebrales tan diversos y particulares como la dislexia, la discalculia, el autismo, los síndromes por déficits de atención, los trastornos de memoria, los trastornos del comportamiento, etc. (Auerbach, Gross-Tsur, Manor y Shalev, 2008; Kaufmann, 2008; Lovaas, 1987; Spreen, 1989).

En las últimas décadas se ha incrementado la tendencia a modificar currículos, reorganizar recursos humanos, físicos y financieros en la búsqueda de obtener o mantener acreditación institucional; cambios también orientados a garantizar egresados de calidad, que cumplan los requerimientos laborales, con capacidades de autoaprendizaje y actualización permanentes. Para validar estos cambios, con miras a

lograr estos resultados se *sataniza* la educación clásica y se rinde culto a nuevos métodos de aprendizaje basados en problemas, aprendizaje basado en casos, aprendizaje basado en equipos y aprendizaje basado en nuevas tecnologías. Estos cambios sugeridos están ligados usualmente a escuelas de pensamiento tan diversas como el positivismo, el estructuralismo, el neopositivismo, el conductismo, el constructivismo, entre otras. Como resultado de eso se observa una tendencia a tecnificar las aulas, dotándolas con tableros inteligentes, escritorios individuales con computadores o tabletas, simuladores de realidad virtual, simuladores hápticos, dispositivos personales portátiles adaptables (lentes, guantes, trajes, etc.), aplicaciones móviles, transmisiones en tiempo real, *podcasts* y colecciones de videos, entre otros (Castañeda y Selwyn, 2018). Muchos de estos elementos, que se han adoptado con gran entusiasmo, tienen como característica común que son promovidos desde la industria de la tecnología educativa, y que requieren de una alta inversión en recursos financiero y humano. No obstante, su uso está apoyado en estudios anecdóticos, hay poca evidencia sólida y apenas están investigándose los potenciales efectos benéficos (o nocivos) en la educación, en especial en el área de formación en salud (Barsom, Graafland y Schijven, 2016; Carter, Greenberg y Walker, 2017; Fried, 2008; Guze, 2015; Hembrooke y Gay, 2003; Okuda *et al.*, 2009; Sana, Weston y Cepeda, 2013; Spreen, 1989; Zhu, Hadadgar, Masiello y Zary, 2014).

En las últimas décadas se ha incrementado la tendencia a modificar currículos, reorganizar recursos humanos, físicos y financieros en la búsqueda de obtener o mantener acreditación institucional.

Ensayos de programas de neuroeducación basada en evidencia

En varios países del mundo se han iniciado trabajos basados en evidencia científica, orientados a evaluar la intervención en educación (Maxwell y Racine, 2012; Millei y Joronen, 2016; Pickering y Howard-Jones, 2007; Zaharia, 2002). Hacia 2014, en el Reino Unido se realizó una intervención en educación basada en la evidencia (Pickering y Howard-Jones, 2007). Se ejecutaron 16 proyectos en escuelas públicas en zonas de bajos recursos. Los proyectos evaluaron aspectos relacionados con ciclos de sueño-vigilia, ejercicio físico y alta actividad cardiovascular, control de impulsos en adolescentes, aprendizaje en ciclos repetitivos intercalados con otras actividades, aprendizaje basado en reforzamientos y uso de videojuegos en aprendizaje.

Sueño y actividad física ilustran la intervención directa sobre el cerebro, a lo que se adiciona mejorar estado nutricional, reducir el estrés, reducir enfermedades, reducir contaminación (que reduciría estrés oxidativo celular). La intervención indirecta está orientada a desarrollar estrategias de aprendizaje para control de emociones, mejorar la memoria a largo plazo a través de recompensas. Con esto se busca fortalecer algunas habilidades como habilidades en lenguaje, bilingüismo, pensamiento matemático, pensamiento abstracto.

Los resultados muestran que reducir el tiempo de sueño a 5 o 6 horas impacta negativamente

en las habilidades cognitivas (Jiang *et al.*, 2011; Lo, Ong, Leong, Gooley y Chee, 2016), y que periodos de sueño normal y la actividad física mejoran el desempeño cognitivo (Ruiz-Ariza, Grao-Cruces, Loureiro y Martínez-López, 2017). Existe menos evidencia que soporte para trabajar áreas específicas como representación numérica, pensamiento abstracto, lenguaje y atención perceptual (Bugden, DeWind y Brannon, 2016; Harris, Newcombe y Hirsh-Pasek, 2013; Menon, 2016). Igualmente, algunos estudios han mostrado variaciones de IQ durante la adolescencia. Algunos plantean que esto refleja cambios relacionados con efectos del desarrollo, ligado a la influencia del medio ambiente. Existen estudios donde se muestran el papel del control de emociones, la inteligencia social y las funciones ejecutivas en el proceso de aprendizaje, especialmente durante la adolescencia (Crone y Dahl, 2012; Hoorn, Dijk, Meuwese, Rieffe y Crone, 2016; Piekarski, Boivin y Wilbrecht, 2017; Piekarski, Johnson, *et al.*, 2017). Finalmente, algunos investigadores plantean que la regulación de las emociones y el entrenamiento en funciones ejecutivas, los cuales tienen correlación con el desempeño académico, podrían ser clave para mejorar rendimiento en individuos que crecieron en ambientes familiares con carencia de estímulos (Diamond y Ling, 2016; Neville *et al.*, 2013).

Desafíos futuros en neuroeducación

La neuroeducación es un campo joven con mucho potencial que tiene varios retos que afrontar para lograr la maduración como disciplina (Knox, 2016). Se debe considerar que el aprendizaje es solo una parte de la educación, en donde el componente biológico depende de la estructura cerebral, lo cual favorece el desarrollo de procesos cerebrales que determinan las funciones cognitivas cerebrales.

Por otro lado, es importante tener en cuenta la relevancia para la educación, del sistema educativo, la familia, la sociedad y en últimas el Estado (Thomas, Ansari y Knowland, 2018). Se debe considerar que el aprendizaje es un proceso cerebral complejo que depende de una maduración adecuada de estructuras y procesos en muchas ocasiones ordenados, secuenciales, que incluye el desarrollo de

habilidades sensoriales, habilidades motoras gruesas, motoras finas, pensamiento operativo, pensamiento lógico-formal, pensamiento emocional, pensamiento conceptual, pensamiento ejecutivo y control a lo largo de la vida (Yurgelun-Todd, 2007). También es necesario tener en cuenta que a veces los objetivos sociales de la educación no son claros. Existe un dilema entre alcanzar la excelencia (reflejado en posicionamiento en *rankings*, resultados de pruebas de conocimiento internacional), seleccionando los individuos más

capacitados, lo que excluiría a individuos que socialmente están en desventaja; o garantizar la equidad, con lo que se sacrificaría el ingreso de los individuos mejor capacitados en aras de garantizar el ingreso a la educación a grupos minoritarios, excluidos, población vulnerable o con recursos socioeconómicos escasos (Forlin, 2010). Finalmente, se debe tener claro que trasladar la evidencia científica a la práctica educativa es difícil y requiere investigación aplicada intensa y una alta inversión económica y humana.

Estrategias para consolidar la neuroeducación como disciplina

Formación de recurso humano

Diversos autores han planteado la necesidad de cerrar la brecha que separa lo teórico de lo práctico, es decir, las neurociencias como aspecto teórico de la educación como actividad práctica. Esto se puede lograr realizando mayor investigación en el campo de la neuroeducación, fomentando la participación de neurocientíficos en el aula, participación en grupos de trabajo que definan políticas educativas. En el caso de los educadores, favoreciendo el contacto de estos con investigación, realizando entrenamiento en lectura crítica de literatura que les permita discernir entre literatura científica y literatura no científica, así como identificar los alcances y limitaciones de los resultados de investigación publicados en la literatura científica (Forlin, 2010; Juma, Lehtomäki, y Naukkarinen, 2017).

Investigar en neuroeducación

Diversos investigadores han planteado la necesidad de que la investigación en neuroeducación siga los mismos principios y prácticas de la investigación biomédica. Es decir que así como en el campo médico existe control estricto acerca de cómo y cuándo trasladar la investigación biológica a la práctica médica, en el campo de la educación se debe ser más

estricto al trasladar los hallazgos de las neurociencias al campo de la práctica educativa. Esto incluye el realizar diseños experimentales adecuados por parte de investigadores expertos en el área de neuroeducación, establecer muestras adecuadas de sujetos, evitando el sesgo, lo que permitiría llegar a conclusiones universales válidas, realizar análisis estadísticos robustos, someter los proyectos a los comités de ética institucionales, garantizar el consentimiento informado de los participantes, evitar conflictos de intereses, entre otras. En esa misma línea la investigación debe contar con materiales e instrumentos de evaluación adecuada que puede incluir software específico, o hardware como EEG, TAC, RNM. Esto implica que una investigación de este tipo pueda tener un costo elevado, por lo que se requiere presupuesto para financiar este tipo de proyectos. La selección de los sujetos es clave y crítica, pues evitaría el problema de sesgo en los proyectos de investigación en neuroeducación. Ejemplos de esto son estudios sobre bilingüismo, habilidades musicales, habilidades matemáticas que no serían concluyentes si solo se incluyen individuos con niveles de formación elevado, provenientes de estratos socioeconómicos altos (Cardoso-Leite y Bavelier, 2014; Goswami, 2006; Lance, 2018; Mayer, 2019).

Perspectivas en neuroeducación: entre el arte, la ciencia, la ética y la mercantilización

El campo de la neuroeducación es un campo relativamente joven pero vital para garantizar la educación de futuras generaciones. Hacia el futuro la educación debe conciliar entre arte y ciencia como sucede en otros campos del conocimiento humano. Esto garantizará, por un lado, que exista libertad de cátedra, respeto y reconocimiento de la experiencia del docente; por otro lado, que se empiecen a desarrollar trabajos de investigación multidisciplinarios, similares a los que se realizan con productos farmacéuticos antes de aprobar su uso regular en seres humanos. Se debe empezar con ensayos en pequeños grupos de individuos sin problemas de aprendizaje (estudios fase I), y progresivamente aumentar el tamaño de la muestra y evaluar grupos con problemas de aprendizaje comparados con grupos sin problemas de aprendizaje o grupos controles (estudios fase II a IV). Adicionalmente, se deben implementar estudios agregativos, que incluyan revisiones sistemáticas y de metaanálisis, los cuales permitirán aclarar el impacto real de las intervenciones a largo plazo. Esta información será útil para establecer planes y políticas educativas a largo plazo y de gran impacto (Farah, 2018; Palghat, Horvath, y Lodge, 2017; Patall, Cooper, y Allen, 2010).

Todo esto debe ir de la mano con la solución de aspectos de tipo bioético, pues mucha investigación se debe hacer en grupos de población infantil, o en grupos de poblaciones vulnerables y se requiere respetar el principio de autonomía a través del uso de consentimiento informado. También se debe tener en cuenta los principios de beneficencia, no maleficencia y justicia, en especial cuando se utilicen grupos de poblaciones controles en donde no se intervendría y se privaría de potenciales beneficios de una intervención, intervención que si reciben los grupos poblacionales experimentales o intervenidos (Ansari *et al.*, 2012;

Hardiman *et al.*, 2012; Hook y Farah, 2013; Stein, 2010; Stein, Chiesa, Hinton, y Fischer, 2011; Zocchi y Pollack, 2013). Se deben realizar evaluaciones periódicas acerca de logros y avances en el campo que permitan incorporarlos a políticas y programas o ajustar dichas políticas al nuevo conocimiento alcanzado. En todos estos aspectos se requiere la participación de expertos capacitados formalmente en el campo de la neuroeducación (Ansari *et al.*, 2012; Farah, 2018).

Finalmente, se debe tener en cuenta el riesgo de mercantilizar aún más el campo de la neuroeducación, lo cual puede desvirtuar políticas educativas racionales, en aras del beneficio de algunas cuantas empresas emergentes que han visto este campo como una potencial área para el desarrollo de una nueva industria (Castañeda y Selwyn, 2018; Coeckelbergh, 2018; Guze, 2015; Hanley, 2013; Keehn, Anderson, y Boyles, 2018; Stein, 2010; Sylvan y Christodoulou, 2010). Gran parte del entusiasmo alrededor de la neuroeducación es promovido por sectores de la economía interesados en crear un nuevo mercado para productos orientados a gimnasia mental, entrenamiento cerebral, que incluyen software, hardware, e incluso medicamentos. Los efectos incluirían desarrollar inteligencia musical, desarrollar pensamiento matemático, mejorar habilidades en pensamiento abstracto y espacial, entre otros. Los productos incluyen métodos de autoestudio, métodos hipnopédicos, cursos completos en material audiovisual, juegos de ajedrez, videojuegos, etc. Muchos de esos productos ingresan al mercado sin que exista evidencia científica sólida con relación a sus resultados y posibles efectos secundarios (Barsom *et al.*, 2016; Castañeda y Selwyn, 2018; Dror, Schmidt, y O'Connor, 2011; Keehn *et al.*, 2018). Así mismo, otro aspecto a tener en cuenta es que esta mercantilización, que puede ser validada con resultados de investigación científica, puede traer como consecuencia el aumento de brechas educativas a nivel mundial, regional o local, pues se privaría a los

individuos de escasos recursos de tener los elementos necesarios para obtener una educación de calidad. Una medida para evitar esto es aumentar la inversión estatal en educación con el fin de proteger a los menos privilegiados y reducir la brecha en la calidad de la educación impartida (Castañeda y Selwyn, 2018; Coeckelbergh, 2018, 2018).

Hacia el futuro la educación debe conciliar entre arte y ciencia como sucede en otros campos del conocimiento humano.

Referencias

- Alferink, L. A., & Farmer-Dougan, V. (2010). Brain-(not) Based Education: Dangers of Misunderstanding and Misapplication of Neuroscience Research. *Exceptionality*, 18(1), 42-52. <https://doi.org/10.1080/09362830903462573>
- Ansari, D., De Smedt, B., & Grabner, R. H. (2012). Neuroeducation – A Critical Overview of An Emerging Field. *Neuroethics*, 5(2), 105-117. <https://doi.org/10.1007/s12152-011-9119-3>
- Auerbach, J. G., Gross-Tsur, V., Manor, O., & Shalev, R. S. (2008). Emotional and Behavioral Characteristics Over a Six-Year Period in Youths With Persistent and Non-persistent Dyscalculia. *Journal of Learning Disabilities*, 41(3), 263-273. <https://doi.org/10.1177/0022219408315637>
- Bain, P. G. (2019). Invited Article: Changing concepts in Parkinson disease: Moving beyond the Decade of the Brain. Recuperado de <http://n.neurology.org/content/invited-article-changing-concepts-parkinson-disease-moving-beyond-decade-brain>
- Barsom, E. Z., Graafland, M., & Schijven, M. P. (2016). Systematic review on the effectiveness of augmented reality applications in medical training. *Surgical Endoscopy*, 30(10), 4174-4183. <https://doi.org/10.1007/s00464-016-4800-6>
- Bassiony, M. M., & Lyketsos, C. G. (2003). Delusions and Hallucinations in Alzheimer's Disease: Review of the Brain Decade. *Psychosomatics*, 44(5), 388-401. <https://doi.org/10.1176/appi.psy.44.5.388>
- Bialystok, E., Craik, F. I. M., & Luk, G. (2012). Bilingualism: consequences for mind and brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(4), 240-250. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.03.001>
- Boekaerts, M., de Koning, E., & Vedder, P. (2006). Goal-directed behavior and contextual factors in the classroom: An innovative approach to the study of multiple goals. *Educational Psychologist*, 41(1), 33-51. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4101_5
- Bowers, J. S. (2016). The practical and principled problems with educational neuroscience. *Psychological Review*, 123(5), 600-612. <https://doi.org/10.1037/rev0000025>
- Bugden, S., DeWind, N. K., & Brannon, E. M. (2016). Using cognitive training studies to unravel the mechanisms by which the approximate number system supports symbolic math ability. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 10, 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.05.002>
- Cardoso-Leite, P., & Bavelier, D. (2014). Video game play, attention, and learning: how to shape the development of attention and influence learning? *Current Opinion in Neurology*, 27(2), 185. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000077>
- Carter, S. P., Greenberg, K., & Walker, M. S. (2017). The impact of computer usage on

- academic performance: Evidence from a randomized trial at the United States Military Academy. *Economics of Education Review*, 56, 118-132. <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2016.12.005>
- Castañeda, L., & Selwyn, N. (2018). More than tools? Making sense of the ongoing digitizations of higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 15(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s41239-018-0109-y>
- Cavalli-Sforza, L. L. (2005). The Human Genome Diversity Project: past, present and future. *Nature Reviews Genetics*, 6(4), 333-340. <https://doi.org/10.1038/nrg1596>
- Coeckelbergh, M. (2018). Technology and the good society: A polemical essay on social ontology, political principles, and responsibility for technology. *Technology in Society*, 52, 4-9. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2016.12.002>
- Collins, F. S., Patrinos, A., Jordan, E., Chakravarti, A., Gesteland, R., Walters, L., & Groups, the members of the D. and N. planning. (1998). New Goals for the U.S. Human Genome Project: 1998-2003. *Science*, 282(5389), 682-689. <https://doi.org/10.1126/science.282.5389.682>
- Crone, E. A., & Dahl, R. E. (2012). Understanding adolescence as a period of social-affective engagement and goal flexibility. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(9), 636-650. <https://doi.org/10.1038/nrn3313>
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three Parietal Circuits for Number Processing. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3-6), 487-506. <https://doi.org/10.1080/02643290244000239>
- Diamond, A., & Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 18, 34-48. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2015.11.005>
- Dror, I., Schmidt, P., & O'Connor, L. (2011). A cognitive perspective on technology enhanced learning in medical training: Great opportunities, pitfalls and challenges. *Medical Teacher*, 33(4), 291-296. <https://doi.org/10.3109/0142159X.2011.550970>
- Eslinger, P. J., & Damasio, A. R. (1986). Preserved motor learning in Alzheimer's disease: implications for anatomy and behavior. *Journal of Neuroscience*, 6(10), 3006-3009. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.06-10-03006.1986>
- Farah, M. J. (2018). Socioeconomic status and the brain: prospects for neuroscience-informed policy. *Nature Reviews Neuroscience*, 19(7), 428. <https://doi.org/10.1038/s41583-018-0023-2>
- Forlin, C. (2010). Teacher education reform for enhancing teachers' preparedness for inclusion. *International Journal of Inclusive Education*, 14(7), 649-653. <https://doi.org/10.1080/13603111003778353>
- Fried, C. B. (2008). In-class laptop use and its effects on student learning. *Computers y Education*, 50(3), 906-914. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2006.09.006>
- Gago Galvagno, L. G., Elgier, Á. M., Gago Galvagno, L. G., & Elgier, Á. M. (2018). Building bridges between neuroscience and education. Neurosciences' contributions, limitations and future directions in the education field. *Psicogente*, 21(40), 476-494. <https://doi.org/10.17081/psico.21.40.3087>
- Garbin, G., Sanjuan, A., Forn, C., Bustamante, J. C., Rodriguez-Pujadas, A., Belloch, V., ... Ávila, C. (2010). Bridging language and attention: Brain basis of the impact of bilingualism on cognitive control. *NeuroImage*, 53(4), 1272-1278. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.05.078>

- Gardner, H. (1995). Reflections on Multiple Intelligences: Myths and Messages. *Phi Delta Kappan*, 77(3).
- Gleichgerricht, E., Luttges, B. L., Salvarezza, F., & Campos, A. L. (2015). Educational Neuromyths Among Teachers in Latin America. *Mind, Brain, and Education*, 9(3), 170-178. <https://doi.org/10.1111/mbe.12086>
- Goldstein, M. (1993). Decade of the brain: National Institute of Neurological Disorders and Stroke. *Neurosurgery*, 32(2), 297.
- Goldstein, M. (1994). Decade of the brain. An agenda for the nineties. *Western Journal of Medicine*, 161(3), 239-241.
- Goswami, U. (2006). Neuroscience and education: from research to practice? *Nature Reviews Neuroscience*, 7(5), 406-413. <https://doi.org/10.1038/nrn1907>
- Guze, P. A. (2015). Using Technology to Meet the Challenges of Medical Education. *Transactions of the American Clinical and Climatological Association*, 126, 260-270.
- Hanley, L. (2013). Educational Technology and Restructuring Academic Labor. *Workplace: A Journal for Academic Labor*, 0(9). Recuperado de <https://ices.library.ubc.ca/index.php/workplace/article/view/184044>
- Hardiman, M., Rinne, L., Gregory, E., & Yarmolinskaya, J. (2012). Neuroethics, Neuroeducation, and Classroom Teaching: Where the Brain Sciences Meet Pedagogy. *Neuroethics*, 5(2), 135-143. <https://doi.org/10.1007/s12152-011-9116-6>
- Harris, J., Newcombe, N. S., & Hirsh-Pasek, K. (2013). A New Twist on Studying the Development of Dynamic Spatial Transformations: Mental Paper Folding in Young Children. *Mind, Brain, and Education*, 7(1), 49-55. <https://doi.org/10.1111/mbe.12007>
- Hembrooke, H., & Gay, G. (2003). The laptop and the lecture: The effects of multitasking in learning environments. *Journal of Computing in Higher Education*, 15(1), 46-64. <https://doi.org/10.1007/BF02940852>
- Hook, C. J., & Farah, M. J. (2013). Neuroscience for Educators: What Are They Seeking, and What Are They Finding? *Neuroethics*, 6(2), 331-341. <https://doi.org/10.1007/s12152-012-9159-3>
- Hoorn, J. van, Dijk, E. van, Meuwese, R., Rieffe, C., & Crone, E. A. (2016). Peer Influence on Prosocial Behavior in Adolescence. *Journal of Research on Adolescence*, 26(1), 90-100. <https://doi.org/10.1111/jora.12173>
- Howard-Jones, P. A. (2014). Neuroscience and education: myths and messages. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(12), 817-824. <https://doi.org/10.1038/nrn3817>
- Jiang, F., VanDyke, R. D., Zhang, J., Li, F., Gozal, D., & Shen, X. (2011). Effect of chronic sleep restriction on sleepiness and working memory in adolescents and young adults. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 33(8), 892-900. <https://doi.org/10.1080/13803395.2011.570252>
- Jones, E. G., & Mendell, L. M. (1999). Assessing the Decade of the Brain. *Science*, 284(5415), 739-739. <https://doi.org/10.1126/science.284.5415.739>
- Juma, S., Lehtomäki, E., & Naukkarinen, A. (2017). Scaffolding teachers to foster inclusive pedagogy and presence through collaborative action research. *Educational Action Research*, 25(5), 720-736. <https://doi.org/10.1080/09650792.2016.1266957>
- Kaufmann, L. (2008). Dyscalculia: neuroscience and education. *Educational Research*, 50(2), 163-175. <https://doi.org/10.1080/00131880802082658>
- Keehn, G., Anderson, M., & Boyles, D. (2018). Neoliberalism, Technology, and the University: Max Weber's Concept of Rationalization as a Critique of Online Classes in Higher Education. En A.

- Stoller y E. Kramer (Eds.), *Contemporary Philosophical Proposals for the University: Toward a Philosophy of Higher Education* (pp. 47-66). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72128-6_3
- Knox, R. (2016). Mind, Brain, and Education: A Transdisciplinary Field. *Mind, Brain, and Education*, 10(1), 4-9. <https://doi.org/10.1111/mbe.12102>
- Knudsen, E. I. (2004). Sensitive periods in the development of the brain and behavior. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(8), 1412-1425. <https://doi.org/10.1162/0898929042304796>
- Kroll, J. F., Dussias, P. E., Bice, K., & Perrotti, L. (2015). Bilingualism, Mind, and Brain. *Annual Review of Linguistics*, 1(1), 377-394. <https://doi.org/10.1146/annurev-linguist-030514-124937>
- Lance, C. (2018). Music and the Brain: How Music Affects the Work of the Brain. The Research and Scholarship Symposium. Recuperado de https://digitalcommons.cedarville.edu/research_scholarship_symposium/2018/podium_presentations/6
- Lang, P. J., Davis, M., & Öhman, A. (2000). Fear and anxiety: animal models and human cognitive psychophysiology. *Journal of Affective Disorders*, 61(3), 137-159. [https://doi.org/10.1016/S0165-0327\(00\)00343-8](https://doi.org/10.1016/S0165-0327(00)00343-8)
- Lo, J. C., Ong, J. L., Leong, R. L. F., Gooley, J. J., & Chee, M. W. L. (2016). Cognitive Performance, Sleepiness, and Mood in Partially Sleep Deprived Adolescents: The Need for Sleep Study. *Sleep*, 39(3), 687-698. <https://doi.org/10.5665/sleep.5552>
- Lovaas, O. I. (1987). Behavioral treatment and normal educational and intellectual functioning in young autistic children. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 55(1), 3-9. <https://doi.org/10.1037/0022-006X.55.1.3>
- Maxwell, B., & Racine, E. (2012). The Ethics of Neuroeducation: Research, Practice and Policy. *Neuroethics*, 5(2), 101-103. <https://doi.org/10.1007/s12152-012-9156-6>
- Mayer, R. E. (2019). Computer Games in Education. *Annual Review of Psychology*, 70(1), null. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-102744>
- Menon, V. (2016). Working memory in children's math learning and its disruption in dyscalculia. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 10, 125-132. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.05.014>
- Millei, Z., & Joronen, M. (2016). The (bio)politicization of neuroscience in Australian early years policies: fostering brain-resources as human capital. *Journal of Education Policy*, 31(4), 389-404. <https://doi.org/10.1080/02680939.2016.1148780>
- Neville, H. J., Stevens, C., Pakulak, E., Bell, T. A., Fanning, J., Klein, S., & Isbell, E. (2013). Family-based training program improves brain function, cognition, and behavior in lower socioeconomic status preschoolers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(29), 12138-12143. <https://doi.org/10.1073/pnas.1304437110>
- Noël, M.-P. (2005). Finger gnosis: a predictor of numerical abilities in children? *Child Neuropsychology*, 11(5), 413-430. <https://doi.org/10.1080/09297040590951550>
- Ochsner, K. N., & Gross, J. J. (2005). The cognitive control of emotion. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(5), 242-249. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.03.010>
- Ochsner, K. N., Ray, R. D., Cooper, J. C., Robertson, E. R., Chopra, S., Gabrieli, J. D. E., & Gross, J. J. (2004). For better or for worse: neural systems supporting the cognitive down- and up-regulation of negative emotion. *NeuroImage*, 23(2), 483-499. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.06.030>
- Okuda, Y., Bryson, E. O., DeMaria, S., Jacobson, L., Quinones, J., Shen, B., & Levine, A. I.

- (2009). The Utility of Simulation in Medical Education: What Is the Evidence? *Mount Sinai Journal of Medicine: A Journal of Translational and Personalized Medicine*, 76(4), 330-343. <https://doi.org/10.1002/msj.20127>
- Palghat, K., Horvath, J. C., & Lodge, J. M. (2017). The hard problem of 'educational neuroscience'. *Trends in Neuroscience and Education*, 6, 204-210. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2017.02.001>
- Pasquinelli, E. (2012). Neuromyths: Why Do They Exist and Persist? *Mind, Brain, and Education*, 6(2), 89-96. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2012.01141.x>
- Patall, E. A., Cooper, H., & Allen, A. B. (2010). Extending the School Day or School Year: A Systematic Review of Research (1985–2009). *Review of Educational Research*, 80(3), 401-436. <https://doi.org/10.3102/0034654310377086>
- Pickering, S. J., & Howard-Jones, P. (2007). Educators' Views on the Role of Neuroscience in Education: Findings From a Study of UK and International Perspectives. *Mind, Brain, and Education*, 1(3), 109-113. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2007.00011.x>
- Piekarski, D. J., Boivin, J. R., & Wilbrecht, L. (2017). Ovarian Hormones Organize the Maturation of Inhibitory Neurotransmission in the Frontal Cortex at Puberty Onset in Female Mice. *Current Biology*, 27(12), 1735-1745.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.05.027>
- Piekarski, D. J., Johnson, C. M., Boivin, J. R., Thomas, A. W., Lin, W. C., Delevich, K., ... Wilbrecht, L. (2017). Does puberty mark a transition in sensitive periods for plasticity in the associative neocortex? *Brain Research*, 1654, 123-144. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2016.08.042>
- Rice D, & Barone S. (2000). Critical periods of vulnerability for the developing nervous system: evidence from humans and animal models. *Environmental Health Perspectives*, 108(suppl 3), 511-533. <https://doi.org/10.1289/ehp.00108s3511>
- Ruiz-Ariza, A., Grao-Cruces, A., Loureiro, N. E. M. de, & Martínez-López, E. J. (2017). Influence of physical fitness on cognitive and academic performance in adolescents: A systematic review from 2005–2015. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 10(1), 108-133. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2016.1184699>
- Sahakian, B. J., Morris, R. G., Evenden, J. L., Heald, A., Levy, R., Philpot, M., & Robbins, T. W. (1988). A COMPARATIVE STUDY OF VISUOSPATIAL MEMORY AND LEARNING IN ALZHEIMER-TYPE DEMENTIA AND PARKINSON'S DISEASE. *Brain*, 111(3), 695-718. <https://doi.org/10.1093/brain/111.3.695>
- Sana, F., Weston, T., & Cepeda, N. J. (2013). Laptop multitasking hinders classroom learning for both users and nearby peers. *Computers y Education*, 62, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.003>
- Silver, H., Strong, R., & Perini, M. (1997). Integrating Learning Styles and Multiple Intelligences. *Educational Leadership*, 55(1), 22-27.
- Simpson, G. V., Pflieger, M. E., Foxe, J. J., Ahlfors, S. P., Vaughan, J. H., Hrabe, J., ... Lantos, G. (1995). Dynamic neuroimaging of brain function. *Journal of Clinical Neurophysiology: Official Publication of the American Electroencephalographic Society*, 12(5), 432-449.
- Spreen, O. (1989). The relationship between learning disability, emotional disorders, and neuropsychology; some results and observations. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 11(1), 117-140. <https://doi.org/10.1080/01688638908400880>
- Stein, Z. (2010). On the Difference Between Designing Children and Raising Them: Ethics and the Use of Educationally

- Oriented Biotechnology. *Mind, Brain, and Education*, 4(2), 53-67. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2010.01085.x>
- Stein, Z., Chiesa, B. D., Hinton, C., & Fischer, K. W. (2011). Ethical issues in Educational Neuroscience: Raising children in a Brave New World. *Oxford Handbook of Neuroethics*. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199570706.013.0179>
- Sylvan, L. J., & Christodoulou, J. A. (2010). Understanding the Role of Neuroscience in Brain Based Products: A Guide for Educators and Consumers. *Mind, Brain, and Education*, 4(1), 1-7. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2009.01077.x>
- Tardif, E., Doudin, P.-A., & Meylan, N. (2015). Neuromyths Among Teachers and Student Teachers. *Mind, Brain, and Education*, 9(1), 50-59. <https://doi.org/10.1111/mbe.12070>
- Thomas, M. S. C., Ansari, D., & Knowland, V. C. P. (2018). Annual Research Review: Educational neuroscience: progress and prospects. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12973>
- Yurgelun-Todd, D. (2007). Emotional and cognitive changes during adolescence. *Current Opinion in Neurobiology*, 17(2), 251-257. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2007.03.009>
- Zaharia, S. (2002). A Comparative Overview of Some Fundamental Aspects of University Management as Practiced in Several European Countries. *Higher Education in Europe*, 27(3), 301-311. <https://doi.org/10.1080/0379772022000015032>
- Zhu, E., Hadadgar, A., Masiello, I., & Zary, N. (2014). Augmented reality in healthcare education: an integrative review. *PeerJ*, 2, e469. <https://doi.org/10.7717/peerj.469>
- Zocchi, M., & Pollack, C. (2013). Educational Neuroethics: A Contribution From Empirical Research. *Mind, Brain, and Education*, 7(1), 56-62. <https://doi.org/10.1111/mbe.12008>
- Zugman, A., Sato, J. R., Jackowski, A. P., Zugman, A., Sato, J. R., & Jackowski, A. P. (2016). Crisis in neuroimaging: is neuroimaging failing 15 years after the decade of the brain? *Brazilian Journal of Psychiatry*, 38(4), 267-269. <https://doi.org/10.1590/1516-4446-2016-2071>