


Ciencias y humanidades durante la infancia y la adolescencia

David Bueno^{1*}

¹Director de la Cátedra de Neuroeducación UB-EDU1[®], Sección de Genética Biomédica, Evolutiva y del Desarrollo, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona, España.

 0000-0001-9318-0685

El razonamiento filosófico innato y el método científico son dos formas en que la mente humana adquiere conocimiento. Para aprovechar al máximo su capacidad de desarrollar mentes humanas pluralistas y reflexivas, estas capacidades deben fomentarse desde la infancia hasta, por lo menos, el final de la escuela secundaria, cuando maduran las redes neuronales en el cerebro adolescente involucradas en aspectos clave de la autodirección de la propia vida.

*Correspondencia

David Bueno i Torrens
dbueno@ub.edu

Citación

Bueno D. Ciencias y humanidades durante la infancia y la adolescencia. JONED. Journal of Neuroeducation. 2023; 3(2): 7-14. doi: 10.1344/joned.v3i2.41451

Fecha de publicación: 15/02/2023

Artículo original

Publicado el 16 de junio de 2021 en el Science of Learning Portal de la International Bureau of Education de la Unesco

Este informe surge de las Becas de Ciencias del Aprendizaje financiadas por la Organización Internacional de Investigación del Cerebro (IBRO) en asociación con la Oficina Internacional de Educación (IBE) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). La Beca de Ciencias del Aprendizaje IBRO/IBE-UNESCO tiene como objetivo apoyar y traducir la investigación neurocientífica clave sobre el aprendizaje y el cerebro a educadores, responsables políticos y gobiernos.

Traducido y reproducido con permiso.

Derechos de autor

© David Bueno i Torrens, 2023

Esta publicación está sujeta a la Licencia Internacional Pública de Atribución/Reconocimiento-NoComercial 4.0 de Creative Commons.



Resumen ejecutivo

- Muchos de los sistemas educativos del mundo se centran en la especialización profesional durante la escuela secundaria. Una de las principales consecuencias de esto es que los estudiantes tienden a desviarse, de manera casi cartesiana, de las actividades humanísticas o, en su defecto, de las actividades científicas.
- Para los humanos, aprender del entorno que los rodea es un instinto biológico que puede explotarse culturalmente. Por ejemplo, el cerebro de un niño pequeño está diseñado para aprender un idioma por imitación, ensayo y error, pero aprender un idioma u otro, o decidir aprender chino o ruso como segundo idioma en la escuela secundaria, es cultural.
- La principal presión que actúa sobre las capacidades de aprendizaje y el control cognitivo es la necesidad de adaptar el comportamiento a las condiciones ambientales cambiantes y anticipar las incertidumbres asociadas a estos cambios, lo cual implica capacidades de razonamiento y mentes humanas reflexivas.
- Los procesos de razonamiento filosófico innato y el uso del método científico son formas básicas para adquirir conocimientos desde la primera infancia, lo que indica que son parte integral de la mente humana. Sin embargo, como ocurre con todas las capacidades innatas, para aprovecharlas al máximo a lo largo de la vida, estas capacidades deben fomentarse a lo largo de la escolarización.
- La adolescencia es un período de dramática reorganización neuronal en el cerebro, que afecta a las funciones ejecutivas y la cognición social, entre otros procesos. La forma como maduran los diversos circuitos neuronales durante la adolescencia depende, en cierta medida, de las experiencias individuales y de cómo se manejan.

- Se puede plantear la hipótesis de que una experiencia educativa más rica —por ejemplo, una educación que integre de manera sinérgica las humanidades y las ciencias a través del pensamiento, el razonamiento y las emociones— puede ayudar a generar mentes humanas más pluralistas y reflexivas y alumnos que sean más capaces de autodirigir sus vidas. Esta hipótesis, y su puesta a prueba, pueden guiar futuras investigaciones en neurociencia educativa.

Palabras clave: Desarrollo de la primera infancia / Aprendizaje efectivo a lo largo de toda la vida / Futuro de la educación y el aprendizaje.

Ciencias y humanidades en la escuela secundaria: dualismo cartesiano

Uno de los objetivos destacados de la educación superior, tanto en las universidades como en las instituciones de formación profesional, es la especialización profesional. Para alcanzar este objetivo, los sistemas educativos en gran parte del mundo, especialmente en la escuela secundaria, tienden a centrarse en los aspectos adaptativos y de resolución de problemas del aprendizaje, con un énfasis especial en la especialización vocacional.¹ Una de las principales consecuencias de esta política educativa es que las actividades humanísticas o científicas quedan relegadas demasiado tempranamente, en general en la mitad de la adolescencia, según la orientación de los estudios que elijan los estudiantes (científicos, técnicos, humanísticos o artísticos).

Esta etapa educativa coincide con un período en el que el cerebro está experimentando una drástica reorganización neuronal mediante sinaptogénesis, crecimiento axonal, remodelación dendrítica y potenciación a largo plazo², que dependen en cierta medida de las experiencias individuales y de su manejo, entre ellas aprendizaje a través de la educación. (Estos procesos también tienen lugar durante todos los demás períodos de desarrollo.) Estos hechos ponen en duda la conveniencia de dejar de lado las actividades humanísticas o científicas en un momento en que proporcionar a los estudiantes un entorno de aprendizaje tan rico y variado como sea posible contribuirá mejor a la maduración de sus capacidades cognitivas, incluidas sus funciones cognitivas ejecutivas y sociales.

Esto no es para negar los beneficios potenciales

de algún grado de especialización en la escuela secundaria que favorezca las preferencias e intereses de los estudiantes, sino para advertir contra una excesiva marginación de cualquier tipo de actividad en una edad en que las funciones ejecutivas, incluida la capacidad de razonamiento, están madurando. Tanto las actividades humanísticas como las científicas pueden contribuir a estos procesos de desarrollo a través de sus puntos de vista y estrategias mentales complementarias (como se discutirá más adelante).

Los argumentos más utilizados para justificar esta marginación de determinadas actividades de los alumnos de secundaria son que, en un mundo complejo, con muchas disciplinas y profesiones diferentes, los alumnos necesitan empezar a especializarse antes de acceder a la educación superior y, lo que es igualmente importante, que las actividades humanísticas como el razonamiento filosófico, así como el método científico, necesitan un grado de especialización relativamente alto para ser entendidos en profundidad y utilizados adecuadamente.¹

El razonamiento filosófico se puede definir como un argumento razonado derivado del pensamiento lógico. De manera similar, el método científico es un método empírico para adquirir conocimiento a través de la observación, la medición y la experimentación sistemáticas y mediante la formulación, prueba y modificación de hipótesis. En algunos aspectos, a pesar de las diferencias en las características académicas formales, tanto el razonamiento filosófico como el método científico utilizan el pensamiento lógico. Este puede ser un punto de apoyo para los educadores, destacando las similitudes (agrupación) en lugar de las diferencias (división).

Otro argumento según el cual se puede prescindir del razonamiento filosófico o el método científico

es que a menudo ambos se ven, hasta cierto punto, como construcciones culturales, por ejemplo, en la epistemología constructivista (que ha sido ampliamente discutida).³⁻⁷ Según este punto de vista, tanto el razonamiento filosófico como el método científico solo pueden aprenderse a la edad apropiada, es decir, cuando el cerebro y los procesos cognitivos que surgen de su función alcanzan la madurez suficiente. Se suele considerar que esto sucede durante la adolescencia (a pesar de que no todos los niños se desarrollan exactamente a la misma velocidad y en el mismo momento) y coincide con la marginación dualista de ciertas actividades para los estudiantes. Eso no quiere decir que la epistemología constructivista promueva esta marginación.

Como veremos a continuación, en realidad no existe una “edad apropiada” para aprender en este sentido. Las habilidades cognitivas involucradas en el razonamiento filosófico y el método científico tienen largos cursos de desarrollo; incluso los bebés tienen una comprensión rudimentaria de la lógica. Es importante señalar que la mayoría de las metodologías pedagógicas actuales aprovechan eso y nutren el razonamiento filosófico y científico durante la infancia y la escuela primaria, pero, como este resumen está destinado a un uso mundial, vale la pena enfatizar este tema.

Las siguientes secciones examinan la existencia desde la primera infancia de procesos de razonamiento filosófico innatos y la capacidad innata de utilizar el método científico para adquirir conocimiento del entorno y anticipar situaciones futuras. También se hablará de la importancia y el significado de estos comportamientos innatos en el contexto de la educación, con el énfasis puesto en las supuestas consecuencias para la maduración del cerebro de arrinconar las actividades humanísticas o científicas demasiado pronto, a mitad de la adolescencia, cuando el cerebro está siendo ampliamente reconfigurado, lo cual afecta el comportamiento. Algunas de las ideas que se propondrán y algunos de los temas que se discutirán en este resumen son hipótesis que surgen del conocimiento actual.

El instinto de aprender

Para los humanos, así como para otras especies animales como aves y mamíferos, el aprendizaje es un instinto básico.^{8,9} Una de las principales diferencias

entre los humanos y la mayoría de las demás especies es que somos capaces de aprender a lo largo de nuestra vida, y tenemos la capacidad cognitiva de ser conscientes de lo que hemos aprendido y utilizarlo de acuerdo con una planificación previa,⁸ haciendo uso de las llamadas *funciones ejecutivas*, especialmente a través de la flexibilidad y la capacidad de adaptarse a las cambiantes contingencias ambientales y demandas de tareas.¹⁰ Las funciones ejecutivas son un conjunto de procesos cognitivos necesarios para el control cognitivo de la conducta. Incluyen procesos cognitivos básicos como el control atencional, la inhibición cognitiva, el control inhibitorio, la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva, y permiten seleccionar y monitorizar con éxito comportamientos que facilitan el razonamiento, la resolución de problemas y el logro de las metas elegidas,¹¹ como sería aprender otros idiomas. Por supuesto, otro rasgo distintivo esencial entre los humanos y otras especies es que tenemos escuelas establecidas culturalmente como instituciones para seguir aprendiendo y, a diferencia de otras especies, contamos con personas fuera de nuestros grupos familiares, es decir, maestros, para que se encarguen de la mayor parte de la enseñanza de nuestros jóvenes.

A lo largo de la evolución humana, se considera que la principal presión selectiva que actuó sobre las capacidades de aprendizaje y el control cognitivo en el linaje humano fue la necesidad de adaptar dinámicamente el comportamiento a las condiciones ambientales cambiantes y anticipar las incertidumbres asociadas con estos cambios¹² para protegernos de las amenazas y aprovechar nuevas oportunidades. Esta combinación de procesos generales –tanto los derivados de la capacidad de aprender como los derivados de las funciones ejecutivas, que se entrelazan– implica que el razonamiento filosófico y el método científico son actividades innatas en la especie humana, que las utiliza desde la más tierna infancia.

Este hecho puede entrar en conflicto con la visión de los sistemas de políticas educativas de que tanto el razonamiento filosófico como el método científico deben aprenderse a la edad apropiada, cuando los procesos cognitivos asociados son lo suficientemente maduros. Aunque los bebés poseen mecanismos de aprendizaje que no requieren pensamiento hipotético, por ejemplo, el seguimiento de regularidades estadísticas¹³ (es decir, que los eventos aleatorios exhiben regularidad con bastante repetición, o que

suficientes eventos aleatorios justamente similares exhiben regularidad), prueba de hipótesis flexible y productiva, también comienza en la infancia.

Los niños pequeños pueden generar hipótesis sobre eventos futuros inciertos,¹⁴ adaptándolas de manera flexible a elementos novedosos de una situación.^{15,16} Por ejemplo, si tienen un bol de dulces envueltos en envoltorios rosas o amarillos, y cada día mamá toma uno rosa y papá uno amarillo, intuyen que mamá definitivamente prefiere los rosados y papá los amarillos, anticipándose, así, a elecciones futuras. Hay estudios que ofrecen evidencia convincente de que los bebés también pueden medir la evidencia de apoyo¹⁷ y probar hipótesis alternativas cuando ocurren violaciones (por ejemplo, el día en que mamá toma un dulce amarillo porque el tazón se quedó sin los rosados).^{18,19}

El razonamiento filosófico y el uso del método científico como actividades innatas durante la primera infancia

Se ha demostrado que los niños utilizan de forma natural el método científico como una forma de adquirir conocimientos del entorno con los que anticipar situaciones futuras.²⁰⁻²³ Y se ha demostrado que las imágenes inducen respuestas más pequeñas en la corteza visual primaria del cerebro cuando son predecibles.²² La corteza visual primaria, ubicada en el polo posterior del lóbulo occipital, se especializa en el procesamiento de información sobre objetos estáticos, así como en el reconocimiento de patrones. El hecho de que las imágenes induzcan respuestas más pequeñas cuando son predecibles sugiere que el cerebro no se queda *sentado y esperando* a que lleguen las señales visuales. En su lugar, trata activamente de predecir estas señales y, cuando es correcta, es recompensado al poder responder de manera más eficiente. Si está mal, se requieren respuestas masivas para averiguar por qué y hacer mejores predicciones. Según algunos comentarios sobre estos experimentos, desde el punto de vista científico²⁴ este resultado es sorprendentemente similar al trabajo de los científicos, porque implica formular una hipótesis y probar si esta es compatible con las observaciones.

Más específicamente, la evidencia más fuerte de que los niños entienden algunos de los principios formales que subyacen al diseño experimental pro-

viene de la investigación que analiza el razonamiento causal de los niños. Los estudios apuntan, por ejemplo, que los niños en edad preescolar entienden los patrones de covariación lo suficientemente bien como para distinguir las causas genuinas de las asociaciones espurias. Si dos variables juntas generan un efecto, pero solo una de ellas es capaz de generar el efecto de forma independiente, los niños de 2 a 4 años concluyen que la otra variable no es una causa.²⁰ Además, los niños pequeños en edad preescolar pueden sacar inferencias precisas no solo de la evidencia observada sino también de la evidencia que generan al azar en el juego exploratorio. En este sentido, el juego exploratorio de los niños se ve afectado por la ambigüedad de las evidencias que observan.²¹ Es decir, dada la evidencia confundida o no confundida sobre cuál de las dos variables controla cuál de los dos efectos, los preescolares exploran selectivamente la evidencia confundida.²⁵

Por citar otro ejemplo, se ha demostrado que, dada la evidencia ambigua, el juego exploratorio de los niños es sensible tanto a manipulaciones informativas seleccionadas como a diseñadas, algo típico del método científico.²³ En un experimento, los niños recibieron información básica sobre las causas candidatas. Cuatro de cuatro cuentas o dos de cuatro cuentas activaron un juguete cuando las cuentas se colocaron, una a la vez, encima del juguete. Luego se mostraron a los niños dos pares de cuentas que también activaban el juguete. Uno de los pares de cuentas se podía separar fácilmente en dos cuentas individuales, mientras que el otro par se pegaba. Aunque en principio solo una cuenta de cada par podría ser causalmente efectiva, los niños exploraron todas las situaciones posibles por sí mismos, separando el par que podía separarse en dos cuentas individuales y sosteniendo las dos cuentas que estaban pegadas en posición vertical para que solo una de los dos tocara el juguete, y luego alternando a la otra. Esto sugiere que, en la medida en que los niños adquieren conocimiento causal a través de la exploración, el cerebro utiliza de forma natural herramientas de razonamiento filosófico como el silogismo disyuntivo para interpretar y aprender del entorno a fin de anticipar futuras incertidumbres.^{26,27} El silogismo disyuntivo es una regla de inferencia válida por la cual, si se nos dice que al menos uno de dos enunciados es verdadero y también que no es el primero, podemos inferir que el cierto es el se-

gundo. En otras palabras, si se nos dice que *A* o *B* es verdadero y no podemos demostrar cuál es verdadero, pero podemos demostrar que, por ejemplo, *A* es falso, entonces inferimos necesariamente que *B* es verdadero.

Esta capacidad de razonamiento se identificó inicialmente en los niños pequeños que usaban la "tarea de las tazas",²⁸ en la cual se les mostraban dos tazas, una vacía y la otra con una recompensa. Los investigadores evaluaron con qué frecuencia, cuando más tarde se les mostraba de nuevo el vaso vacío, los niños pequeños iban directamente al vaso que contenía la recompensa, lo que implicaba el uso de la inferencia basada en el silogismo disyuntivo²⁶ para anticipar una situación incierta del aprendizaje previo. En este experimento, aplicado a niños de 23 meses a 5 años, se escondieron dos calcomanías dentro de dos pares de tazas, con una calcomanía en una taza de cada par. Luego se reveló que una taza de uno de los pares estaba vacía. Si los niños estaban razonando usando el silogismo disyuntivo, podrían combinar esta información (no *A del par 1*) con su representación de dónde se ocultó la pegatina (*A o B en el par 1*) para concluir que la taza emparejada con la vacía contenía necesariamente una pegatina (*por lo tanto, B*), mientras que la ubicación de la otra pegatina (en una de las tazas del par 2) no era clara. De acuerdo con las conclusiones extraídas por los autores de este experimento, los niños de 3 a 5 años utilizaron correctamente el silogismo disyuntivo, mientras que los niños menores de 2,5 años no lo hicieron.

Sin embargo, otros experimentos con un diseño más simple muestran que los bebés preverbales pueden usar precursores del razonamiento lógico de manera innata.²⁷ A infantes de 12 a 19 meses se les presentaron escenarios ambiguos sobre la identidad de un objeto, los cuales podían ser resueltos a través de la inferencia derivada del silogismo disyuntivo.

Dos títeres, que difieren en forma, textura, color y categoría pero con partes superiores idénticas (por ejemplo, un dinosaurio y una flor con la misma estructura en forma de penacho en la parte superior) entran en un teatro, un ocluser los oculta, y luego una taza saca uno de ellos por detrás, con solo la parte superior visible. Así, los infantes no pueden conocer la identidad del objeto recogido y pueden establecer una representación disyuntiva. Luego, el ocluser se mueve hacia abajo, revelando un objeto completo,

por ejemplo, el dinosaurio, para que los bebés tengan evidencia con la que desambiguar la identidad del objeto recogido mediante silogismo disyuntivo. Por último, el dinosaurio abandona el escenario. Lo que es crucial en este experimento es que la mitad de las veces el objeto revelado es consistente con la conclusión sugerida por la inferencia lógica (es decir, la flor), pero la otra mitad es inconsistente, y el objeto revelado, que ha sido manipulado por los investigadores, es, *sorprendentemente* para los participantes, el dinosaurio. Los experimentadores observaron los ojos de los bebés en cada una de estas fases.

Tanto los niños de 12 meses como los de 19 meses pasaron más tiempo observando el resultado inconsistente y sus pupilas se dilataron, lo que lleva a pensar que pueden haber inferido la identidad del objeto en el vaso a través de la inferencia lógica y se sorprendieron cuando esta conclusión no fue confirmada.

Estos marcadores oculomotores se parecían a los de los adultos que inspeccionan escenarios similares, lo que sugiere que las estructuras lógicas intuitivas y estables involucradas en la interpretación de escenas dinámicas pueden ser parte del tejido de la mente humana. En otras palabras, al menos algunas herramientas del razonamiento filosófico, como el silogismo disyuntivo, parecen ser innatas en nuestra especie desde la más tierna infancia, lo que implica el uso del método científico para adquirir conocimiento del entorno con el fin de anticipar futuras incertidumbres.

Volviendo a los fundamentos de este resumen, dado que la capacidad de aprender del entorno para anticipar futuras incertidumbres se mantiene a lo largo de la vida, y teniendo en cuenta que la adolescencia es un período de extensa reorganización neuronal en el cerebro en el cual se desarrollan procesos cognitivos cruciales como las funciones ejecutivas, la pregunta relevante aquí es por qué estos procesos innatos (pero educativamente aumentables) del razonamiento filosófico y el método científico tienen que quedar apartados en la escuela secundaria, o en qué medida deben ignorarse para favorecer una especialización particular. En otras palabras, ¿cuáles pueden ser las consecuencias para el desarrollo y la maduración del cerebro si una de estas dos formas complementarias de adquirir conocimientos útiles se descarta durante la adolescencia?

Posibles consecuencias de la marginación dualista excesiva de las actividades humanísticas o científicas en la maduración del cerebro: una hipótesis

La adolescencia es un período de dramática reorganización neuronal en el cerebro. La maduración de diversos circuitos neuronales durante esta etapa de desarrollo depende, en gran medida, de las experiencias individuales y de cómo se manejen, como se ha demostrado (por citar un par de ejemplos) en relación con la era digital²⁹ o el modelado de resiliencia.³⁰ Por ejemplo, una revisión sugirió que el uso de los medios, tal como lo procesa el cerebro adolescente en desarrollo, puede contribuir a la sensibilidad al rechazo en línea, la aceptación, la influencia de los compañeros y las interacciones cargadas de emociones en los entornos de los medios.²⁹ Como resultado, se ha sugerido que la sensibilidad de los compañeros es posiblemente mayor en los adolescentes que en los grupos de mayor edad. Esto es especialmente relevante, por ejemplo, cuando se considera el efecto de la influencia de los compañeros que anima a los adolescentes a correr más riesgos en presencia de sus compañeros, porque los compañeros también pueden estimular la asunción de riesgos a través de comentarios en línea. Además, se ha especulado³⁰ sobre la posibilidad de que el desarrollo continuo de las regiones sociales del cerebro combinado con una fuerte sensibilidad a la aceptación y el rechazo pueda hacer que la adolescencia sea particularmente vulnerable a las redes sociales en lo relativo a su propia imagen y a las expectativas de sí mismo y de los demás. Además, la trayectoria emergente de la sensibilidad a la aceptación, la obediencia de los compañeros y la precedencia emocional puede hacer que los adolescentes sean más susceptibles a las noticias sensacionalistas y falsas o a las expectativas poco realistas de sí mismos, a la vez que menos hábiles a la hora de regular las emociones, incluida la resiliencia.³⁰

Se ha constatado que las experiencias sociales negativas durante la adolescencia son factores clave en diversas enfermedades mentales relacionadas con el estrés.³¹ Se ha demostrado, utilizando ratas en el modelado de sistemas experimentales, que el comportamiento social de juego y lucha durante la adolescencia temprana es esencial para la maduración final del cerebro y el comportamiento, y que la

manipulación de la experiencia social de la rata adolescente altera muchas medidas neuroconductuales implicadas en la ansiedad, la depresión y el abuso de sustancias. En los seres humanos, el estrés social durante la adolescencia también conduce al desarrollo de ansiedad y la conducta depresiva, así como a un mayor consumo de drogas en la edad adulta, lo cual altera los circuitos neuronales relacionados con el estrés y los neurotransmisores asociados (como los del sistema monoaminérgico).

La reorganización neuronal ocurre a través de un proceso de plasticidad neuronal que, en un contexto de estructuras físicas y funcionales, adapta el sistema nervioso a las demandas ambientales, cambios fisiológicos o nuevas experiencias. Estas estructuras dependen tanto de factores genéticos y epigenéticos como de experiencias previas. La plasticidad durante la adolescencia implica una alteración de las conexiones entre las neuronas a través de diferentes mecanismos, que incluyen el brote axonal, la remodelación dendrítica, la sinaptogénesis y la potenciación a largo plazo, todo lo cual altera la eficacia sináptica.² Las experiencias sociales, emocionales y cognitivas, incluidas las que brinda el aprendizaje en la escuela secundaria, pueden afectar la estructura y el funcionamiento de las redes neuronales del cerebro, al servicio de diferentes dominios del comportamiento. Si bien todos estos procesos ocurren a lo largo de la infancia, durante la adolescencia maduran las redes relacionadas con la cognición social y las funciones ejecutivas: capacidad de razonamiento, toma de decisiones, control atencional, inhibición cognitiva, control inhibitorio, memoria de trabajo, flexibilidad cognitiva, entre otras, que permiten la selección y seguimiento exitoso de comportamientos que facilitan el logro de los objetivos elegidos y la resolución dirigida de problemas.

La política educativa antes mencionada, que favorece la especialización, tiende a dejar de lado las actividades humanísticas o científicas de los estudiantes adolescentes. Ambas actividades se utilizan de manera innata desde la primera infancia, y se podría sugerir que esto puede ser perjudicial para la capacidad de los estudiantes para ser críticos y resolver problemas de manera más global integrando diferentes perspectivas, enfoques y puntos de vista. Esto incluye factores científicos y técnicos, así como humanísticos, como consideraciones éticas y sociales. Esta política podría repercutir en la capacidad

de autodirigirse en la propia vida, pues podría limitar la capacidad de la persona para predecir y prevenir problemas, y también podría influir en el comportamiento individual, al afectar la construcción continua del cerebro³²⁻³⁴ en un período en el que este órgano está siendo ampliamente reconfigurado. Esta hipótesis todavía debe ser confirmada o refutada, pero puede servir para orientar más investigaciones en neurociencia educativa.

Todo aprendizaje, en todos los niveles educativos, ya sea de conceptos (sean estos humanísticos, científicos o tecnológicos), de habilidades (aprendizaje procedimental) o de actitudes (inclusión, respeto, valoración crítica y reflexiva de las situaciones, búsqueda del diálogo para la resolución de conflictos, empoderamiento de la propia historia de vida, etc.) se almacena en el cerebro como memoria en forma de patrones de conexiones neuronales. El aprendizaje alimenta el cerebro y esto condiciona la autoimagen de una persona, así como la visión que tiene de su entorno y cómo se relaciona con este.³⁵ Una educación que integre de manera

sinérgica y armoniosa las humanidades y las ciencias a través del pensamiento, el razonamiento y las emociones puede contribuir a generar mentes humanas más pluralistas y reflexivas. Para decirlo sin rodeos, la educación secundaria que integre los conocimientos humanísticos, artísticos, científicos y tecnológicos de una manera dinámica, utilizando sus particularidades epistemológicas para abordar diferentes temas desde todos los ángulos posibles, puede ayudar a forjar a la próxima generación de adultos para tener un mayor capacidad mental para integrar los datos y para valorar y reflexionar sobre cualquier situación, tanto en lo profesional como en lo personal.¹ Un posible resultado sería el de personas con una mayor capacidad para contemplar y apreciar las situaciones por sí mismas, a partir de la información que las rodea, que se involucran en la búsqueda de soluciones (como las que, por ejemplo, se explicitan en los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU) y que se comprometan a hacer realidad dichas soluciones, tanto a nivel individual como colectivo.³⁶

Referencias

- Bueno D, Casanovas J, Garcés M, Vilalta JM (Eds.). Higher education in the world 7: Humanities and higher education—Synergies between science, technology and humanities. Barcelona: Global University Network for Innovation (GUNI); 2019.
- Fandakova Y. Mechanisms of learning and plasticity in childhood and adolescence. *Developmental Cognitive Neuroscience*. 2020; 42, 100764.
- Piaget J (Ed.). *Logique et connaissance scientifique*. En *Encyclopédie de la Pléiade*, vol. 22. París: Gallimard; 1967.
- Watzlawick P. *The invented reality: How do we know what we believe we know? Contributions to constructivism*. Nueva York: W. W. Norton; 1984.
- Suchting WA. Constructivism deconstructed. *Science & Education*. 1992; 1(3), 223-54.
- Slezak P. A critique of radical social constructivism. En Phillips DC (Ed.), *Constructivism in education: Opinions and second opinions on controversial issues* (pp 91-126). Chicago: National Society for the Study of Education; 2000.
- Rockmore T. *On constructivist epistemology*. Lanham, MD: Rowman & Littlefield; 2008.
- Gould JL. Animal cognition. *Current Biology*. 2004; 14(10), R372-R375.
- Marler P. Innateness and the instinct to learn. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2004, 76(2), 189-200.
- Fleming KA, Heintzelman SJ, Bartholow BD. Specifying associations between conscientiousness and executive functioning: Mental set shifting, not prepotent response inhibition or working memory updating. *Journal of Personality*. 2016; 84(3), 348-360.
- Diamond A. Executive functions. *Annual Review of Psychology*. 2013; 64, 135-68.
- Teffer K, Semendeferi K. Human prefrontal cortex: Evolution, development, and pathology. *Progress in Brain Research*. 2012; 195, 191-218.
- Saffran JR, Aslin RN, Newport EL. Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*. 1996; 274, 1926-1928.
- Téglás E, Girotto V, Gonzalez M, Bonatti LL. Intuitions of probabilities shape expectations about the future at 12 months and beyond. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2007; 104, 19156-19159.
- Téglás E, Vul E, Girotto V, Gonzalez M, Tenenbaum JB, Bonatti LL. Pure reasoning in 12-month-old infants as probabilistic inference. *Science*. 2011; 332(6033), 1054-1059.
- Téglás E, Ibanez-Lillo A, Costa A, Bonatti LL. Numerical representations and intuitions of probabilities at 12 months. *Developmental Science*. 2015; 18, 183-193.
- Gweon H, Tenenbaum JB, Schulz LE. Infants consider both the sample and the sampling process in inductive generalization. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2010; 107, 9066-9071.

18. Gweon H, Schulz L. 16-month-olds rationally infer causes of failed actions. *Science*. 2011; 332, 1524.
19. Stahl AE, Feigenson L. Cognitive development: Observing the unexpected enhances infants' learning and exploration. *Science*. 2015; 348(6230), 91-94.
20. Gopnik A, Sobel DM, Schulz LE, Glymour C. Causal learning mechanisms in very young children: Two-, three-, and four-year-olds infer causal relations from patterns of variation and covariation. *Developmental Psychology*. 2001; 37(5), 620-629.
21. Schulz LE, Bonawitz EB. Serious fun: Preschoolers engage in more exploratory play when evidence is confounded. *Developmental Psychology*. 2007; 43(4), 1045-1050.
22. Alink A, Schwiedrzik CM, Kohler A, Singer W, Muckli L. Stimulus predictability reduces responses in primary visual cortex. *Journal of Neuroscience*. 2010; 30(8), 2960-66.
23. Cook C, Goodman ND, Schulz LE. Where science starts: Spontaneous experiments in preschoolers' exploratory play. *Cognition*. 2011; 120(3), 341-349.
24. Singer W. The scientific brain: The human brain processes predictable sensory input in a particularly efficient manner. Max-Planck-Gesellschaft (10 de marzo de 2010). <https://www.mpg.de/619356/pressRelease201003101>.
25. Gopnik A, Meltzoff AN, Kuhl PK. *The scientist in the crib: What early learning tells us about the mind*. Nueva York: HarperCollins; 2000.
26. Mody S, Carey S. The emergence of reasoning by the disjunctive syllogism in early childhood. *Cognition*. 2016; 154, 40-48.
27. Cesana-Arlotti N, Martín A, Téglás E, Vorobyova L, Cetnarski R, Bonatti LL. Precursors of logical reasoning in preverbal human infants. *Science*. 2018; 359(6381), 1263-1266.
28. Hill A, Collier-Baker E, Suddendorf T. Inferential reasoning by exclusion in great apes, lesser apes, and spider monkeys. *Journal of Comparative Psychology*. 2011; 125, 91-103.
29. Crone EA, Konijn EA. Media use and brain development during adolescence. *Nature Communications*. 2018; 9, 588.
30. Malhi GS, Das P, Bell E, Mattingly G, Mannie Z. Modelling resilience in adolescence and adversity: A novel framework to inform research and practice. *Translational Psychiatry*. 2019; 9, 316.
31. Burke AR, McCormick CM, Pellis SM, Lukkes JL. Impact of adolescent social experiences on behavior and neural circuits implicated in mental illnesses. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2017; 76(B), 280-300.
32. Tong D, Lu P, Li W, Yang W, Yang Y, Yang D, Qiu J, Zhang Q. Critical thinking and regional gray matter volume interact to predict representation connection in scientific problem solving. *Experimental Brain Research*. 2019; 237(8), 2035-2044.
33. Takeuchi T, Duzskiewicz AJ, Morris RG. The synaptic plasticity and memory hypothesis: Encoding, storage and persistence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 2013; 369, 20130288.
34. Sweatt JD. Neural plasticity and behavior: Sixty years of conceptual advances. *Journal of Neurochemistry*. 2016; 139(suppl. 2), 179-199.
35. Cortese A, Amano K, Koizumi A, Kawato M, Lau H. Multivoxel neurofeedback selectively modulates confidence without changing perceptual performance. *Nature Communications*. 2016; 7, 13669.
36. UN General Assembly. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. A/RES/70/1; 2015.