


# Ciències i humanitats durant la infància i l'adolescència

David Bueno<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Director de la Càtedra de Neuroeducació UB-EDU1r, Secció de Genètica Biomèdica, Evolutiva i del Desenvolupament, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona, Espanya.

 0000-0001-9318-0685

*El raonament filosòfic innat i el mètode científic són dues maneres en què la ment humana adquireix coneixement. Per aprofitar al màxim la seva capacitat per desenvolupar ments humanes pluralistes i reflexives, aquestes capacitats s'han de nodrir des de la infància fins a, com a mínim, el final de l'escola secundària, quan maduren les xarxes neuronals del cervell adolescent implicades en aspectes clau de l'autodirecció de la pròpia vida.*

## \*Correspondència

David Bueno i Torrens  
dbueno@ub.edu

## Citació

Bueno D. Ciències i humanitats durant la infància i l'adolescència. JONED. Journal of Neuroeducation. 2023; 3(2): 7-14. doi: 10.1344/joned.v3i2.41451

Data de publicació: 15/02/2023

## Article original

Publicat el 16 de juny de 2021 al Science of Learning Portal de la International Bureau of Education de la Unesco

Aquest informe sorgeix de les beques Science of Learning finançades per l'Organització Internacional de Recerca del Cervell (IBRO) en col·laboració amb l'Oficina Internacional d'Educació (IBE) de l'Organització de les Nacions Unides per a l'Educació, la Ciència i la Cultura (UNESCO). La beca IBRO/IBE-UNESCO Science of Learning té com a objectiu donar suport i traduir la recerca clau de la neurociència sobre l'aprenentatge i el cervell a educadors, responsables polítics i governs.

Traduït i reproduït amb permís.

## Drets d'autor

© David Bueno i Torrens, 2023

Aquesta publicació està subjecta a la Llicència Internacional Pública d'Atribució/Reconeixement-NoComercial 4.0 de Creative Commons.



## Resum executiu

- Molts dels sistemes educatius del món se centren en l'especialització professional durant l'escola secundària. Una de les conseqüències principals d'això és que els estudiants tendeixen a desviar-se, de manera quasi cartesiana, de les activitats humanístiques o, alternativament, de les activitats científiques.
- Per als humans, aprendre del medi que els envolta és un instint biològic que es pot explotar culturalment. Per exemple, el cervell d'un nen està connectat per aprendre una llengua per imitació, assaig i error, però l'aprenentatge d'un idioma o un altre, o decidir aprendre xinès o rus com a segona llengua a l'escola secundària, és cultural.
- La pressió principal que actua sobre les capacitats d'aprenentatge i el control cognitiu és la necessitat d'adaptar la conducta a les condicions ambientals canviants i la d'anticipar-se a les incerteses associades a aquests canvis, la qual cosa implica capacitats de raonament i ments reflexives humanes.
- Els processos de raonament filosòfic innat i l'ús del mètode científic són vies bàsiques per adquirir coneixements des de la primera infància, cosa que indica que són part integrant de la ment humana. Tanmateix, com passa amb totes les capacitats innates, per aprofitar-les al màxim al llarg de la vida, aquestes capacitats s'han de nodrir al llarg de l'escolarització.
- L'adolescència és un període de reorganització neuronal dramàtica del cervell, que afecta les funcions executives i la cognició social, entre altres processos. La manera com els diferents circuits neuronals maduren en el decurs de l'adolescència depèn, fins a cert punt, de les experiències individuals i de com es gestionen.
- Es pot plantejar la hipòtesi que una experiència educativa més rica —per exemple, l'escolarització que integri sinèrgicament les humanitats i les ciències a través del pensament, el raonament i les emocions— pot ajudar a generar

ments humanes més pluralistes i reflexives i alumnes més capaços d'autodirigir les seves vides. Aquesta hipòtesi, i la seva demostració, poden orientar futures investigacions en neurociència educativa.

*Paraules clau:* Desenvolupament de la primera infància / Aprenentatge eficaç al llarg de la vida / Futur de l'educació i l'aprenentatge

## Ciència i humanitats a l'escola secundària: dualisme cartesià

Un dels objectius cabdals de l'educació superior, tant a les universitats com als centres de formació professional, és l'especialització professional. Per assolir aquest objectiu, els sistemes educatius de bona part del món, especialment a l'escola secundària, tendeixen a centrar-se en els aspectes adaptatius i de resolució de problemes de l'aprenentatge, amb un èmfasi especial en l'especialització vocacional.<sup>1</sup> Una de les principals conseqüències d'aquesta política educativa és que les activitats humanístiques o científiques queden al marge a una edat massa primerenca, normalment a la meitat de l'adolescència, en funció de l'orientació dels estudis que trien els estudiants (científics, tècnics, humanístics o artístics).

Aquesta etapa educativa coincideix amb un període en què el cervell està experimentant una dràstica reorganització neuronal per mitjà de sinaptogènesi, creixement axonal, remodelació dendrítica i potenciació a llarg termini,<sup>2</sup> que depenen en cert grau de les experiències individuals i de com es tracten, entre aquestes l'aprenentatge a través de l'educació. (Aquests processos també tenen lloc durant tots els altres períodes de desenvolupament.) Aquests fets posen en dubte la conveniència de deixar de banda les activitats humanístiques o científiques en un moment en què oferir als estudiants un entorn d'aprenentatge tan ric i variat com sigui possible contribuirà millor a la maduració de les seves capacitats cognitives, incloses les seves funcions executives i de cognició social.

No es tracta de negar els beneficis potencials d'un cert grau d'especialització a secundària que afavoreixi les preferències i els interessos dels estudiants, sinó d'advertir contra una marginació excessiva de qualsevol mena d'activitat en una edat en què les funcions executives, inclosa la capacitat de raonament, estan madurant. Tant les activitats humanísti-

ques com les científiques poden contribuir a aquests processos de desenvolupament mitjançant els seus punts de vista i estratègies mentals complementàries (com es comentarà més endavant).

Els arguments més utilitzats per justificar aquesta marginació de determinades activitats per als estudiants de secundària són que, en un món complex, amb moltes disciplines i professions diferents, els estudiants han de començar a especialitzar-se abans d'accedir a l'educació superior i, el que és igualment important, que les activitats humanístiques com ara el raonament filosòfic, així com el mètode científic, necessiten un grau d'especialització relativament elevat perquè sigui entès a fons i utilitzat correctament.<sup>1</sup>

El raonament filosòfic es pot definir com un argument raonat derivat del pensament lògic. De la mateixa manera, el mètode científic és un mètode empíric d'adquisició de coneixement mitjançant l'observació sistemàtica, la mesura i l'experimentació, a través de la formulació, prova i modificació d'hipòtesis. En alguns aspectes, malgrat les diferències en les característiques acadèmiques formals, tant el raonament filosòfic com el mètode científic fan servir el pensament lògic. Aquest pot ser un punt de suport per als educadors, destacant les similituds (agrupament) més que no pas les diferències (divisió).

Un altre argument segons el qual es pot prescindir del raonament filosòfic o el mètode científic és que tots dos sovint es veuen, fins a cert punt, com a construccions culturals, per exemple, en l'epistemologia constructivista (que ha estat àmpliament discutida).<sup>3-7</sup> Segons aquest punt de vista, tant el raonament filosòfic com el mètode científic només es poden aprendre a l'edat adequada, és a dir, quan el cervell i els processos cognitius derivats de la seva funció esdevenen prou madurs. Normalment, es considera que això passa durant l'adolescència (malgrat que no tots els nens es desenvolupen exactament a la mateixa velocitat i en el mateix moment) i coin-

cideix amb l'abandonament dualista de determinades activitats per als alumnes. Això no vol dir que l'epistemologia constructivista promogui aquesta marginació.

Com veurem tot seguit, en realitat no hi ha una "edat adequada" per aprendre en aquest sentit. Les habilitats cognitives implicades en el raonament filosòfic i el mètode científic tenen llargs cursos de desenvolupament; fins i tot els infants tenen una comprensió rudimentària de la lògica. És important assenyalar que la majoria de les metodologies pedagògiques actuals treuen profit d'això i nodreixen el raonament filosòfic i científic durant l'educació infantil i primària, però, com que aquest resum està pensat per a un ús mundial, val la pena destacar aquesta qüestió.

En els apartats següents s'examina l'existència des de la primera infància de processos de raonament filosòfic innat i la capacitat innata d'utilitzar el mètode científic per adquirir coneixements de l'entorn i anticipar-se a situacions futures. També es parlarà de la importància i el significat d'aquests comportaments innats en el context de l'educació, amb l'èmfasi posat en les presumptes conseqüències per a la maduració cerebral del fet d'arraconar les activitats humanístiques o científiques massa aviat, a mitja adolescència, quan el cervell s'està readaptant àmpliament, de manera que el comportament queda afectat. Algunes de les idees que es proposaran i algunes de les qüestions que es tractaran en aquest resum són hipòtesis sorgides del coneixement actual.

## L'instint d'aprendre

Per als humans, així com per a altres espècies animals com ara els ocells i els mamífers, l'aprenentatge és un instint bàsic.<sup>8,9</sup> Una de les diferències més grans entre els humans i la majoria de les altres espècies és que som capaços d'aprendre al llarg de la nostra vida i que tenim la capacitat cognitiva de ser conscients del que hem après i d'utilitzar-lo segons la planificació prèvia,<sup>8</sup> fent ús de les anomenades funcions executives, en especial a través de la flexibilitat i la capacitat d'adaptació a les canviants contingències ambientals i demandes de tasques.<sup>10</sup> Les funcions executives són un conjunt de processos cognitius necessaris per al control cognitiu de la conducta. Inclouen processos cognitius bàsics com són el control de l'atenció, la inhibició cognitiva, el

control inhibitori, la memòria de treball i la flexibilitat cognitiva, i permeten la selecció i el seguiment exitós de conductes que faciliten el raonament, la resolució de problemes i l'assoliment dels objectius escollits,<sup>11</sup> com seria aprendre altres idiomes. Per descomptat, una altra tret distintiu essencial entre els humans i les altres espècies és que tenim escoles culturalment establertes com a institucions per a l'aprenentatge i que, a diferència d'altres espècies, comptem amb persones alienes als nostres grups familiars, és a dir, professors, per encarregar-se de la major part de l'ensenyament dels nostres joves.

Al llarg de l'evolució humana, es considera que la principal pressió selectiva que actua sobre les capacitats d'aprenentatge i el control cognitiu en el llinatge humà ha estat la necessitat d'adaptar dinàmicament el comportament a les condicions ambientals canviants i la d'anticipar les incerteses associades a aquests canvis<sup>12</sup> per protegir-nos de les amenaces i aprofitar les noves oportunitats. Aquesta combinació de processos generals –tant els derivats de la capacitat d'aprenentatge com els derivats de les funcions executives, que s'entrellacen– implica que el raonament filosòfic i el mètode científic són activitats innates per a l'espècie humana, que les utilitza des de la primera infància.

Aquest fet pot entrar en conflicte amb la visió dels sistemes de polítiques educatives segons la qual tant el raonament filosòfic com el mètode científic s'han d'aprendre a l'edat adient, quan els processos cognitius associats són prou madurs. Tot i que els nadons posseeixen mecanismes d'aprenentatge que no requereixen pensament hipotètic, per exemple, el seguiment de regularitats estadístiques<sup>13</sup> (és a dir, que els esdeveniments aleatoris presenten regularitat amb força repetició, o que prou esdeveniments aleatoris justament semblants presenten regularitat), una prova d'hipòtesis flexible i productiva també comença a la infància. Els nens petits poden generar hipòtesis sobre esdeveniments futurs incerts,<sup>14</sup> adaptant-les de manera flexible a elements nous d'una situació.<sup>15,16</sup> Per exemple, si tenen un bol de lllaminadures embolicat amb embolcalls de color rosa o groc, i cada dia la mare n'agafa un de rosa i el pare un de groc, fan la intuïció que la mare, definitivament, prefereix les rosades i el pare les grogues, anticipant-se, així, a tries futures. Hi ha diversos estudis que ofereixen evidències convinents que els nadons també són capaços de mesurar l'evidència

de suport<sup>17</sup> i de provar hipòtesis alternatives quan es produeixen violacions (per exemple, el dia en què la mare pren un dolç groc perquè el bol s'ha quedat sense els de color rosat).<sup>18,19</sup>

## El raonament filosòfic i l'ús del mètode científic com a activitats innates durant la primera infància

S'ha demostrat que els nens utilitzen de manera natural el mètode científic com a forma d'adquirir coneixements de l'entorn amb els quals anticipar-se a situacions futures.<sup>20-23</sup> I ha quedat palès que les imatges indueixen respostes més petites a l'escorça visual primària del cervell quan són predictibles.<sup>22</sup> L'escorça visual primària, situada al pol posterior del lòbul occipital, s'especialitza a processar informació sobre objectes estàtics, així com en el reconeixement de patrons. El fet que les imatges indueixin respostes més petites quan són previsibles suggereix que el cervell no només s'asseu i espera que arribin els senyals visuals. Al contrari, mira de predir aquests senyals activament i, quan és correcte, es veu recompensat en poder respondre de forma més eficient. Si és incorrecte, calen respostes massives per esbrinar per què i fer prediccions més bones. D'acord amb alguns comentaris al voltant d'aquests experiments, des del punt de vista científic<sup>24</sup> aquest resultat és sorprenentment similar a la feina dels científics, ja que implica formular una hipòtesi i comprovar si aquesta és compatible amb les observacions.

Més concretament, l'evidència més sòlida que els nens entenen alguns dels principis formals subjacents al disseny experimental prové de la investigació que analitza el raonament causal dels nens. Els estudis apunten, per exemple, que els petits en edat preescolar entenen prou bé els patrons de covariació per distingir les causes genuïnes d'associacions espúries. Si dues variables juntes generen un efecte, però només una d'elles és capaç de generar l'efecte de manera independent, els nens de 2 a 4 anys conclouen que l'altra variable no n'és una causa.<sup>20</sup> A més, els nens en edat preescolar poden extreure inferències precises no només de l'evidència observada, sinó també de l'evidència que generen a l'atzar en el joc exploratori. En aquest sentit, el joc exploratori dels nens es veu afectat per l'ambigüitat de l'evidència que observen.<sup>21</sup> És a dir, donada l'evidència confosa o no confosa sobre quina de les dues varia-

bles controla quin dels dos efectes, els nens exploren selectivament l'evidència confosa.<sup>25</sup>

Per esmentar un altre exemple, s'ha demostrat que, donada una evidència ambigua, el joc exploratori dels nens és sensible tant a manipulacions informatives seleccionades com a dissenyades, quelcom típic del mètode científic.<sup>23</sup> En un experiment, els nens van rebre informació bàsica sobre les causes candidates. Quatre de quatre grans de collar o dos de quatre grans activaven una joguina quan es posaven els grans, un cada cop, a sobre de la joguina. A continuació, es van mostrar als nens dos parells de grans que també activaven la joguina. Un dels parells de grans es podia separar fàcilment en dos grans individuals, mentre que l'altre parell estava enganxat. Tot i que en principi només un gra de cada parell podria ser causalment eficaç, els nens van explorar totes les situacions possibles per si mateixos, separant la parella que es podia separar en dos grans individuals i subjectant els dos grans que estaven enganxats en posició vertical, de manera que només un dels dos tocava la joguina, i després alternava a l'altre. Això suggereix que, en la mesura que els nens adquireixen coneixements causals mitjançant l'exploració, el cervell utilitza de manera natural eines de raonament filosòfic com ara el sil·logisme disjuntiu per interpretar i aprendre de l'entorn i anticipar-se a les incerteses futures.<sup>26,27</sup> El sil·logisme disjuntiu és una regla d'inferència vàlida per la qual si se'ns diu que almenys una de dues afirmacions és certa i també que no és la primera, podem inferir que la vertadera és la segona. En altres paraules, si se'ns diu que  $A$  o  $B$  és vertader i no podem demostrar quina és vertadera, però som capaços de demostrar que, per exemple,  $A$  és falsa, llavors necessàriament inferirem que  $B$  és vertadera.

Aquesta capacitat de raonament es va identificar inicialment en nens petits que utilitzaven la "tasca de tasses",<sup>28</sup> en què se'ls mostraven dues tasses, una buida i l'altra amb una recompensa. Els investigadors van avaluar amb quina freqüència, quan més tard se'ls mostrava de nou la tassa buida, els nens anaven directament a la tassa que contenia la recompensa, la qual cosa implicava l'ús d'una inferència basada en el sil·logisme disjuntiu<sup>26</sup> per anticipar una situació incerta de l'aprenentatge previ. En aquest experiment, aplicat a nens de 23 mesos a 5 anys, es van amagar dos adhesius dins de dos parells de tasses, amb un adhesiu en una tassa de cada parell.

Aleshores es va revelar que una tassa d'una de les parelles estava buida. Si els nens estaven raonant empraven el sil·logisme disjuntiu, podrien combinar aquesta informació (*no A del parell 1*) amb la seva representació d'on s'amagava l'adhesiu (*A o B al parell 1*) per concloure que la tassa emparellada amb la buida contenia necessàriament un adhesiu (*per tant, B*), mentre que la ubicació de l'altre adhesiu (en una de les tasses del parell 2) no era clara. Segons les conclusions extretes pels autors d'aquest experiment, els nens de 3 a 5 anys utilitzaven correctament el sil·logisme disjuntiu, mentre que els nens menors de 2,5 anys no ho feien.

Tanmateix, altres experiments amb un disseny més senzill mostren que els nadons preverbals poden utilitzar precursors del raonament lògic d'una manera innata.<sup>27</sup> A infants d'entre 12 i 19 mesos se'ls van presentar escenaris ambigus sobre la identitat d'un objecte, que es podrien resoldre mitjançant la inferència derivada del sil·logisme disjuntiu. Dos títelles, diferents en forma, textura, color i categoria, però amb parts superiors idèntiques, per exemple, un dinosaure i una flor amb la mateixa estructura en forma de plomall a la part superior, entren en un teatre. Un element oclusiu els amaga, i després una tassa n'agafa un per darrere, amb només la part superior visible. Així, els nens no poden conèixer la identitat de l'objecte recollit i poden establir una representació disjuntiva. Aleshores, l'occludor es mou cap avall, revelant un objecte complet, per exemple, el dinosaure, de manera que els nadons tenen proves amb les quals desambiguar la identitat de l'objecte recollit mitjançant un sil·logisme disjuntiu. Finalment, el dinosaure surt de l'escenari. Un fet crucial en aquest experiment és que la meitat del temps l'objecte revelat és coherent amb la conclusió suggerida per la inferència lògica (és a dir, la flor), però l'altra meitat és inconsistent, i l'objecte revelat, que ha estat manipulat pels investigadors, és, *sorprenentment* per als participants, el dinosaure. Els experimentadors van observar els ulls dels nadons en cadascuna d'aquestes fases.

Tant els nens de 12 mesos com els de 19 mesos van passar més temps mirant el resultat inconsistent, i les seves pupil·les es van dilatar, cosa que suggereix que podrien haver inferit la identitat de l'objecte a la tassa a través d'una inferència lògica i es van sorprendre quan aquesta conclusió no es va confirmar. Aquests marcadors oculomotors s'assemblaven als

dels adults que inspeccionen escenaris similars, cosa que convida a pensar que les estructures lògiques intuïtives i estables implicades en la interpretació d'escenes dinàmiques poden formar part del teixit de la ment humana. És a dir, com a mínim algunes eines de raonament filosòfic, com ara el sil·logisme disjuntiu, semblen innates en la nostra espècie des de la primera infància, la qual cosa comporta l'ús del mètode científic per adquirir coneixements de l'entorn amb l'objectiu d'anticipar-se a les incerteses futures.

Tornant als fonaments d'aquest resum, atès que la capacitat d'aprendre de l'entorn per anticipar-se a les incerteses futures es manté al llarg de la vida, i tenint en compte que l'adolescència és un període d'extensa reorganització neuronal del cervell en què tenen lloc processos cognitius crucials, com són les funcions executives, la pregunta rellevant aquí és per què aquests processos innats (però augmentables educativament) de raonament filosòfic i mètode científic s'han de deixar de banda a l'escola secundària, o fins a quin punt s'han de bandejar per afavorir una especialització particular. És a dir, quines poden ser les conseqüències per al desenvolupament i la maduració del cervell si una d'aquestes dues maneres complementàries d'adquirir coneixements útils es descarta durant l'adolescència?

### Possibles conseqüències de la marginació dualista excessiva d'activitats humanístiques o científiques en la maduració del cervell: una hipòtesi

L'adolescència és un període de reorganització neuronal dramàtica del cervell. La maduració de diversos circuits neuronals durant aquesta etapa de desenvolupament depèn, en un alt grau, de les experiències individuals i de com es gestionen, tal com s'ha demostrat (per citar un parell d'exemples) en relació amb l'era digital<sup>29</sup> o la modelització de la resiliència.<sup>30</sup> Per exemple, una revisió va suggerir que l'ús dels mitjans, tal com el processa el cervell adolescent en desenvolupament, pot contribuir a la sensibilitat al rebuig en línia, l'acceptació, la influència dels companys i les interaccions carregades d'emocions en entorns dels mitjans.<sup>29</sup> Com a conseqüència, s'ha suggerit que la sensibilitat dels companys és possiblement més gran en els adolescents que en els grups d'edat més gran. Això és especialment rellevant, per exemple, quan es té en compte l'efecte

de la influència dels companys que anima els adolescents a assumir més riscos en presència dels seus iguals, perquè els iguals també poden estimular la presa de riscos mitjançant comentaris en línia. A més, s'ha especulat sobre la possibilitat<sup>30</sup> que el desenvolupament continu de les regions socials del cervell combinat amb una forta sensibilitat a l'acceptació i el rebuig pugui fer que l'adolescència sigui especialment vulnerable a les xarxes socials quant a la seva autoimatge i a les expectatives d'un mateix i dels altres. A més, la trajectòria emergent de la sensibilitat d'acceptació, l'obediència entre iguals i la precedència emocional poden fer que els adolescents siguin més susceptibles a les notícies sensacionalistes i falses o a les autoexpectatives poc realistes, alhora que menys hàbils per regular les emocions, inclosa la resiliència.<sup>30</sup>

S'ha constatat que les experiències socials negatives durant l'adolescència són factors clau en diverses malalties mentals relacionades amb l'estrès.<sup>31</sup> S'ha demostrat, utilitzant rates en el modelatge de sistemes experimentals, que el comportament social de lluita durant la primera etapa de l'adolescència inicial és essencial per a la maduració final del cervell i el comportament, i que la manipulació de l'experiència social de la rata adolescent altera moltes mesures neuroconductuals implicades en l'ansietat, la depressió i l'abús de substàncies. En els éssers humans, l'estrès social durant l'adolescència també condueix al desenvolupament de l'ansietat i la conducta depressiva, així com a l'augment del consum de drogues en l'edat adulta, fet que altera els circuits neuronals relacionats amb l'estrès i els neurotransmissors associats (com ara els del sistema monoaminèrgic).

La reorganització neuronal esdevé mitjançant un procés de plasticitat neural que, en un context d'estructures físiques i funcionals, adapta el sistema nerviós a les demandes ambientals, canvis fisiològics o noves experiències. Aquestes estructures depenen tant de factors genètics i epigenètics com d'experiències prèvies. La plasticitat durant l'adolescència comporta una alteració de les connexions entre neurones a través de diferents mecanismes, com ara el creixement axonal, la remodelació dendrítica, la sinaptogènesi i la potenciació a llarg termini, i tot això altera l'eficàcia sinàptica.<sup>2</sup> Les experiències socials, emocionals i cognitives, incloses les que ofereix l'aprenentatge a l'escola secundària, poden afectar

l'estructura i la funció de les xarxes neuronals del cervell, al servei de diferents dominis del comportament. Tot i que tots aquests processos es produeixen al llarg de la infància, durant l'adolescència maduren les xarxes relacionades amb la cognició social i les funcions executives: capacitat de raonament, presa de decisions, control atencional, inhibició cognitiva, control inhibitori, memòria de treball i flexibilitat cognitiva, entre d'altres, que permeten la selecció i el seguiment exitós de conductes que facilitin l'assoliment dels objectius escollits i la resolució dirigida de problemes.

La política educativa esmentada anteriorment, que afavoreix l'especialització, tendeix a deixar de banda les activitats humanístiques o científiques de l'alumnat adolescent. Ambdues activitats s'utilitzen de manera innata des de la primera infància, i es podria suggerir que això pot ser perjudicial per a la capacitat dels alumnes de ser crítics i de resoldre problemes de manera més global integrant diferents perspectives, enfocaments i punts de vista. Això inclou factors científics i tècnics, així com humanístics, com ara consideracions ètiques i socials. Aquesta política podria repercutir en la capacitat d'autodirigir la pròpia vida, perquè podria limitar la capacitat de la persona per predir i prevenir problemes, i també pot influir en el comportament individual en afectar la construcció contínua del cervell<sup>32-34</sup> en un període en què aquest òrgan s'està reconfigurant àmpliament. Aquesta hipòtesi està pendent de ser confirmada o descartada, però pot servir per orientar més investigacions en neurociència educativa.

Qualsevol aprenentatge, en tots els nivells educatius, ja sigui de conceptes (al marge que siguin humanístics, científics o tecnològics), d'habilitats (aprenentatge procedimental) o d'actituds (inclusió, respecte, valoració crítica i reflexiva de les situacions, cerca del diàleg per resoldre conflictes, empoderament de la pròpia història de vida, etc.) s'emmagatzema al cervell com a memòria en forma de patrons de connexions neuronals. L'aprenentatge alimenta el cervell i això condiona l'autoimatge d'una persona, així com la visió que té de l'entorn i com s'hi relaciona.<sup>35</sup> Una educació que integri de manera sinèrgica i harmònica les humanitats i les ciències a través del pensament, el raonament i les emocions pot contribuir a generar ments humanes més pluralistes i reflexives. Per dir-ho sense embuts, una educació secundària que englobi coneixements humanístics,

artístics, científics i tecnològics d'una forma dinàmica —amb les seves particularitats epistemològiques per tal d'abordar diferents qüestions des de tots els angles possibles— pot ajudar a forjar la propera generació d'adults perquè tinguin una major capacitat mental per integrar les dades i per valorar qualsevol situació, tant del l'àmbit professional com del personal,<sup>1</sup> i reflexionar-hi. Un possible resultat seria el

d'individus amb més capacitat per contemplar i apreciar situacions per si mateixos, a partir de la informació que els envolta, que s'impliquin en la recerca de solucions (com les que, per exemple, s'expliciten en els objectius de desenvolupament sostenible de l'ONU) i que es comprometen a fer realitat aquestes solucions, tant individualment com col·lectivament.<sup>36</sup>

## Referències

- 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*. A 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. Nova 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, Giroto 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, Giroto 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.
- Gweon H, Schulz L. 16-month-olds rationally infer causes of failed actions. *Science*. 2011; 332, 1524.
- Stahl AE, Feigenson L. Cognitive development: Observing the unexpected enhances infants' learning and exploration. *Science*. 2015; 348(6230), 91-94.
- 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.
- Schulz LE, Bonawitz EB. Serious fun: Preschoolers engage in more exploratory play when evidence is confounded. *Developmental Psychology*. 2007; 43(4), 1045-1050.
- 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.
- Cook C, Goodman ND, Schulz LE. Where science starts: Spontaneous experiments in preschoolers' exploratory play. *Cognition*. 2011; 120(3), 341-349.
- Singer W. The scientific brain: The human brain processes predictable sensory input in a particularly efficient manner. Max-Planck-Gesellschaft (10 de març de 2010). <https://www.mpg.de/619356/pressRelease201003101>.
- Gopnik A, Meltzoff AN, Kuhl PK. *The scientist in the crib: What early learning tells us about the mind*. Nova York: HarperCollins; 2000.
- Mody S, Carey S. The emergence of reasoning by the disjunctive syllogism in early childhood. *Cognition*. 2016; 154, 40-48.
- 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.
- 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.