

Principis neurodidàctics per a l'aprenentatge

Jesús C. Guillen*

Félix Pardo**

Anna Forés***

Teresa Hernández****

Carme Trinidad*****

Resum

Aquest article recull l'interès que està despertant en l'educació la contribució de les neurociències. Seran motiu d'aquest article donar a conèixer l'estat actual de les recerques en neurociències que es poden aplicar a l'educació, comprendre el perquè de la seva presència en la societat i en l'educació, així com donar a conèixer què és la neurodidàctica, d'on neix i quins són els seus principis per a l'educació: saber el valor propositiu de les accions d'ensenyament-aprenentatge fonamentades en el coneixement del cervell. L'argumentació contrastada d'aquests principis ens ajudarà també a desmentir alguns dels «neuromites» o falses creences del coneixement del cervell en l'educació. Així mateix, també es vol evidenciar el paper de la neurodidàctica davant dels trastorns de l'aprenentatge per acabar parlant del rol i les funcions del neuroeducador/a.

Paraules clau

neurodidàctica, neurociències, educació, aprenentatge, neuroeducador/a

Recepció original: 11 de maig de 2015

Acceptació: 30 de juny de 2015

Per què és necessària la neurociència per a l'educació

Les neurociències han vingut per quedar-se. Com ho han fet les tecnologies o altres propostes que s'estan integrant en el dia a dia de l'ensenyament. Com veurem al llarg de l'article, les neurociències han corroborat diferents models i perspectives educatives. Però la gran contribució és la de legitimar bones pràctiques d'aprenentatge, qüestionar d'altres i proposar millores en els processos d'ensenyament-aprenentatge.

L'educació sempre ha estat permeable a altres disciplines com la psicologia, la sociologia, la filosofia i la medicina. Aquesta permeabilitat i transdisciplinarietat la dota d'elements de contrast i riquesa per seguir millorant, enriquint-se de totes aquelles ciències que puguin legitimar la seva concepció. És així com els nous avenços de les neurociències i la seva extensió a tots els sectors socials acompanyen per tal que també

(*) Professor de Secundària. Llicenciat en Ciències Físiques. Coautor del bloc de neurodidàctica «Escuela con cerebro» (<http://escuelaconcerebro.wordpress.com/>). Adreça electrònica: escuelaconcerebro@gmail.com

(**) Professor de Secundària. Llicenciat en Filosofia. Coautor del bloc de neurodidàctica «Escuela con cerebro» (<http://escuelaconcerebro.wordpress.com/>). Adreça electrònica: escuelaconcerebro@gmail.com

(***) Delegada del rector Universitat-Societat de la Facultat d'Educació de la Universitat de Barcelona. Doctora en Filosofia i Ciències de l'Educació. Adreça electrònica: annafores@ub.edu

(****) Consultora del Màster TIC i educació de la Universitat Oberta de Catalunya. Pedagoga, especialista en tecnologia educativa i consultora e-learning. Adreça electrònica: mhernandezmo@uoc.edu

(*****) Professora a centres adscrits de la Universitat Autònoma de Barcelona. Psicòloga, experta en comunicació i educació a distància. Adreça electrònica: carme.trinidad@uab.cat

l'educació estigui disposada a gaudir dels darrers descobriments neurocientífics per portar-los a l'aula.

La neurodidàctica ens ajuda a ensenyar i aprendre amb tot el nostre potencial: comprendre com funciona el cervell i com estimular un aprenentatge més eficient. Però des de quan estem parlant de neurodidàctica? Com s'ha institucionalitzat?

Estat actual de la institucionalització de la neurodidàctica

En el mes de juliol de 2012, es va celebrar a Barcelona el congrés biennal de la Federació de Societats Europees de Neurociència (FENS), de la qual forma part la Societat Espanyola de Neurociència (SENC). Aquest esdeveniment va ser acompanyat per la declaració del Congrés dels Diputats, per iniciativa de la SENC, del 2012 com l'Any de la Neurociència a Espanya. Cal interpretar aquests dos esdeveniments com el colofó al desenvolupament de la neurociència al nostre país. N'hi ha prou a considerar les següents dades sobre la recerca pública en neurociències a Catalunya per constatar l'alt nivell aconseguit: 93 grups, dels quals 80 treballen a temps complet, amb un total de 620 investigadors i milers de publicacions anuals en revistes internacionals indexades¹. Entre els centres principals cal destacar els següents, ordenats per l'any de la seva creació:

- 1947: Institut Hospital del Mar d'Investigacions Mèdiques, Programa de Neurociències.
- 1993: Institut d'Investigacions Biomèdiques August Pi i Sunyer, Àrea de neurociències clíniques i experimentals.
- 2003: Institut de Neurociències UAB.
- 2004: Institut d'Investigació Biomèdica de Bellvitge, Àrea de Neurociències.
- 2011: Institut de Recerca en Cervell, Cognició i Conducta UB.
- 2012: Center for Brain and Cognition UPF.

Fins fa uns pocs anys la divulgació de la neurociència al nostre país es restringia a un públic minoritari i la seva presència en els mitjans de comunicació es limitava als descobriments rellevants o al lliurament d'algun premi molt prestigiós, com el Nobel de medicina. No va ser fins als esdeveniments esmentats quan comencem a ser presents les neurociències en l'opinió pública. I això cada cop més, en la mesura que s'han multiplicat les iniciatives públiques i privades per a la transmissió dels descobriments sobre el cervell humà. A títol d'exemple, una de les seves concrecions ha estat Barcelona Neurociència², que reuneix un conjunt d'activitats de divulgació dirigides al públic general i altres més específiques per a un públic especialitzat. Cal sumar la iniciativa de la *Setmana Mundial del Cerebell* (*Brain Awareness Week, BAW*)³, cada mes de març, promoguda per la Dana Alliance for Brain Initiatives i la European Dana Alliance for the Brain, en la qual participa la SENC, oferint ajudes econòmiques per l'organització d'activitats.

(1) Consulteu el Mapa precolombí de la Recerca en neurociències a Catalunya: http://www.cienciaensocietat.org/upimages/File/Santa_Llucia/2011_Sta%20Llucia_%20JSaura_Mapa%20Neurociencies.pdf [Accés: 29/06/2014].
 (2) Consulteu Barcelona Neurociència: <http://www.bcn.cat/neurociencia/presentacio.html> [Accés: 29/06/2014].
 (3) Consulteu Setmana Mundial del Cerebell: <http://www.senc.es/actividades.php?sc=3> [Accés: 29/06/2014].

Per tot això, no és en absolut arbitrari dir que avui dia la neurociència està de moda, tal com es pot constatar per la seva presència diària en els mitjans de comunicació, en l'oferta cada vegada major en societats científiques, universitats i altres centres de formació i en les nombroses publicacions de recerques i llibres de divulgació sobre el cervell. És destacable també veure com l'ús del prefix 'neuro' es va estenent en tota classe de disciplines acadèmiques, com la «neuropsicologia», la «neurolingüística», la «neuroètica», el «neuromàrqueting», la «neuroarquitectura» o la «neurodidàctica». I no podia ser d'una altra manera perquè seria del tot absurd que, una ciència que està aportant resultats capitals per a la comprensió de la naturalesa humana i la nostra concepció del món, quedés al marge de les nostres activitats culturals.

Pel que fa al terme «neurodidàctica», és pertinent dir aquí que va ser introduït en el currículum acadèmic el 1988 per Gerhard Preiss, expert en didàctica de les matemàtiques i catedràtic de didàctica de la Universitat de Friburg, Alemanya. Aquest neologisme es va emprar per denominar una nova concepció de l'educació, basada en el coneixement que la neurociència cognitiva aporta sobre com aprèn el cervell. La principal contribució de Preiss a la institucionalització d'aquesta nova disciplina, la trobem en la seva obra *Neurodidaktik. Theoretische und praktische Beiträge* (1996). Aquesta obra va ser precedida en el temps per una altra important contribució en la mateixa línia de Gerhard Friedrich, *Die Praktikabilität der Neurodidaktik. Ein Analyse und Bewertungsinstrument für die Fachdidaktik* (1995). Cal afegir que la contribució de Preiss va ser desenvolupada pel seu deixeble Manfred Spitzer, llicenciat en Psicologia, doctor en Filosofia, professor de Psiquiatria de la Universitat de Ulm, Alemanya, i autor del llibre *Aprendizaje. Neurociencia y la escuela de la vida* (2005).

Cap d'aquestes dues obres es troba traduïda; en canvi, sí que s'ha traduït un breu article de Friedrich i Preiss titulat «Neurodidàctica», publicat el 2003, d'on podem extreure la cita en la qual es defineix en què consisteix aquesta nova disciplina acadèmica:

A partir de la forma de treballar del cervell es dedueix, doncs, el principi fonamental de la neurodidàctica: fer que els infants aprenguin d'acord amb els seus dots i talents. En aquesta pedagogia de la competència no és el pla d'estudis el que decideix el que cal aprendre, sinó les capacitats personals dels escolars. [...] Des de la neurodidàctica, una classe ideal adequa el contingut de les matèries a les competències individuals. Només els pedagogs que coneixen les capacitats dels seus alumnes, poden alimentar el cervell que aprèn amb el que anhela. [...] Als nens, en escoles bressol i escoles, cal transmetre'ls els coneixements necessaris de manera que s'adeqüin a la manera de treballar del cervell. Però això només s'aconsegueix quan professors i educadors coneixen el desenvolupament neurològic dels processos d'aprenentatge. (Friedrich i Preiss, 2003, p. 45)

El que plantegen aquests dos autors amb la neurodidàctica és ben simple: si el cervell és l'òrgan de l'aprenentatge, llavors no es pot seguir ignorant el seu funcionament en l'educació. Les conseqüències que podem extreure d'aquest principi són evidents: en primer lloc, que ens circumscrivim als fets (com aprèn el cervell); en segon lloc, que abordem amb una mirada crítica l'educació, desplaçant totes aquelles propostes que no tinguin una base empírica verificada per la neurociència; i en tercer lloc, que tendim ponts entre les conseqüències i implicacions educatives de les recerques en neurociència i les estratègies i metodologies que apliquem a l'aula (Pardo, 2013). A unes conclusions semblants arriba Eric Jensen, professor d'Educació Física i autodidacta en aquesta nova disciplina, autor de nombroses publicacions, quan interpel·la en els termes següents als professionals de l'ensenyament:

Tot educador que es preui com a tal, de ser professional, hauria de poder dir: «Aquesta és la raó per la qual faig el que faig». Jo preguntaria: «Aquesta persona està realment involucrada amb l'ús del que sap o,

simplement, té algun coneixement sobre això i realment no l'utilitza? Els docents estan usant estratègies basades en la ciència que estudia com funciona el nostre cervell?». L'educació basada en el cervell se centra en el coneixement de per què s'ha d'usar una o una altra estratègia. La ciència es basa en el que sabem sobre com funciona el nostre cervell. Hem de ser molt professionals i entendre el substrat científic que explica les nostres pràctiques. Tinguin en compte que si hom no sap per què fa el que fa, s'és menys propositiu i menys professional. (Jensen, 2007)

Certament la neurodidàctica planteja un nou enfocament en l'educació, avalat per les evidències empíriques i que assenyalen un canvi de paradigma educatiu. Exemples clars són els estudis de Leslie Hart en *Human brain and human learning* (1983), que assenyalava la dissonància entre les ciències cognitives i els processos d'aprenentatge a les escoles; els de Howard Gardner, en *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences* (1983), que postulava una nova pedagogia atenent les diverses intel·ligències que té el funcionament del cervell, en particular la intel·ligència creativa i la pràctica; els estudis més recents, com el de Sarah-Jayne Blakemore i Uta Frith, *Cómo aprende el cerebro. Las claves para la educación* (2007); el de Judy Willis, *How Your Child Learns Best. Brain friendly strategies you can use to ignite your child's learning and increase school success* (2008); el de Tracey Tokuhama-Espinosa, *Mind, Brain, and Education Science. A comprehensive guide to the new brain-based teaching* (2011), basat en una tesi doctoral de 2008. També trobem revistes digitals com la *Brain Connection* on podem llegir la col·laboració mensual de Robert Sylwester; o la *Mind, Brain, and Education*, editada per la IMBES (Societat Internacional de la Ment, el Cerebell i l'Educació), sota la direcció de Kurt Fischer; i també monogràfics de revistes, com de la *Learning Landscapes*, el titulat «Mind, Brain, and education: implications for educators», de 2011. En l'àmbit formatiu, existeixen programes de mestratge i doctorat com el MBE (Mind, Brain and Education) de la Universitat d'Harvard, dirigit pel mateix Kurt Fischer; o bé programes pedagògics com The Teaching and Learning Research Program (TLRP) de l'Institut d'Educació de la Universitat de Londres, entre les publicacions de la qual trobem la monografia «Neuroscience and Education. Issues and Opportunities», on exposen les seves conclusions prestigioses neurocientífiques. Les institucions acadèmiques, com la National Academy of Sciences (en els EUA), també ofereixen publicacions, com la monografia *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School* (2000), editada per John Bransford, i *How Students Learn: History, Mathematics, and Science in the Classroom* (2005), editada per Suzanne Donovan i el mateix John Bransford; el CNE (Centre per la Neurociència en l'Educació) de la Facultat d'Educació de la Universitat de Cambridge (en el Regne Unit) una institució que és líder internacional en la neurociència bàsica i clínica, i on és professora Usha Goswami; o bé organitzacions internacionals com Learning & the Brain, dedicada a la celebració de conferències que mostren les potencials aplicacions de les ciències cognitives a l'educació; o com The Learning Brain EXPO, dedicada a l'educació basada en el cervell amb finalitats comercials, fundada i dirigida per Eric P. Jensen.

Amb tota aquesta activitat científica hem acumulat suficients resultats com per legitimar la necessitat i utilitat de la neurodidàctica per a la millora i el progrés de l'educació, tot i que encara queda un llarg camí per recórrer fins a la seva integració a les escoles, així com als programes de formació dels futurs docents.

Principis i estratègies de la neuroeducació

Un dels elements clau en l'evolució de la neuroeducació, ha estat el desenvolupament de les tècniques de visualització cerebral a la fi dels anys vuitanta. El cervell humà va deixar de ser una espècie de caixa negra (a la qual només podíem accedir després de la mort o en intervenir amb certes cirurgies), per convertir-se en un òrgan que podia analitzar-se tot realitzant determinades tasques relacionades amb l'atenció, la memòria o la resolució de problemes. Destaquem, en aquest apartat, l'anunci d'algunes de les principals troballes de les investigacions en neurociència, que són susceptibles de ser aplicades per a millorar els processos d'ensenyament i aprenentatge:

- la plasticitat del cervell humà,
- l'existència de les neurones mirall,
- el paper de la sorpresa o recompensa inesperada,
- la connexió de la nova informació amb la ja coneguda,
- el paper del component lúdic,
- el valor de les activitats artístiques,
- la importància de l'activitat física,
- la necessitat d'una adequada hidratació, d'hàbits nutricionals apropiats i de dormir les hores necessàries.

A diferència del que es creia fa uns anys, *el cervell humà és un òrgan extraordinàriament plàstic*. S'adapta i canvia la seva estructura de forma significativa al llarg de la vida, encara que pugui ser més eficient en els primers anys de desenvolupament (Spitzer, 2005). Es modifica contínuament enfortint o afeblint les sinapsis entre neurones, generant el corresponent aprenentatge que és afavorit pel procés de regeneració neuronal (neurogènesi). Des de la perspectiva educativa, el concepte de plasticitat cerebral constitueix un element motivador essencial perquè possibilita la millora de qualsevol alumne i, en concret, pot actuar com a mecanisme compensatori en trastorns de l'aprenentatge com la dislèxia o el TDAH (com veurem després).

El coneixement d'aquests fets ens confirma que l'alumne pot afrontar de forma adequada aquelles creences basades en experiències negatives passades, que té arrelades i que condicionen la seva actitud davant l'aprenentatge. En aquest procés, les expectatives positives del professor resulten imprescindibles. I és que, les investigacions també han demostrat que els processos emocionals constitueixen reaccions inconscients que ens mouen a actuar, estimulen la nostra curiositat, serveixen per comunicar-nos i estan implicats en els nostres raonaments i presa de decisions. Les emocions no es poden separar dels processos cognitius (Damasio, 2001). D'aquí la importància de generar un clima emocional adequat a l'aula. Les emocions positives faciliten la memòria i l'aprenentatge (Erk et al., 2003), però, a més, diferents estudis han demostrat que l'aplicació sistemàtica de programes d'educació socioemocional disminueixen els problemes de disciplina i milloren la motivació per a l'estudi, els resultats acadèmics o les relacions entre companys (Durlak et al., 2011). En definitiva, en un entorn emotiu positiu, els estudiants adquireixen tot un seguit de competències imprescindibles no només per al seu propi benestar, sinó també per al de tota la comunitat. Perquè som éssers socials, atès que el nostre cervell es desenvolupa en contacte amb altres cervells.

Un altre descobriment transcendent, en aquest sentit, va ser el de les *neurones mirall*. Aquestes neurones motores permeten explicar com es transmet la cultura a través de l'aprenentatge per imitació i com hem desenvolupat l'empatia, dues de les característiques que ens fan humans (Iacoboni, 2009).

Experiments amb nadons de pocs mesos d'edat revelen que ja són capaços de mostrar actituds altruistes (Warneken i Tomasello, 2007). L'aprenentatge del comportament col·laboratiu s'assumeix com una necessitat en els entorns educatius. I això es produeix convivint en una comunitat en la qual impera la comunicació i en la qual podem i hem d'actuar allunyant-nos de conductes egoistes, que són conseqüència de la competitivitat. Quan col·laborem, s'allibera més dopamina, un neurotransmissor que facilita la transmissió d'informació entre el sistema límbic i el lòbul frontal, afavorint així la memòria a llarg termini i reduint l'ansietat (Rilling et al., 2002).

Investigacions recents sobre el cervell han confirmat que davant una *sorpresa o recompensa inesperada* s'activen neurones que alliberen molta dopamina, cosa que no passa quan les recompenses esperades no es donen (Waelti et al., 2001). Això demostra que, per optimitzar l'aprenentatge, l'important no és el premi o la recompensa sinó la seva aparició inesperada. Allò curiós, allò nou, en definitiva allò diferent, és capaç d'encendre l'emoció necessària per activar aquest focus imprescindible per a la creació de coneixement que és l'atenció. Avui sabem que aquesta funciona de forma cíclica, és a dir, que és difícil que es pugui mantenir per períodes de temps que superin els quinze minuts (Jensen, 2004). Tot això indica la necessitat d'utilitzar estratègies pedagògiques que fomentin la creativitat i que permetin als alumnes participar en el procés d'aprenentatge sense ser mers elements passius. Cal aprofitar els primers minuts de les classes per analitzar el més rellevant i fraccionar-les en blocs temporals curts, que permetin optimitzar l'atenció de l'alumnat.

El nostre cervell *connecta la nova informació amb la ja coneguda*. Aprenem millor i més ràpidament quan relacionem la informació nova amb els coneixements ja adquirits a través d'esquemes de memòria que emmagatzemem en xarxes neuronals de l'escorça cerebral (Morgado, 2014). La memòria (aquest procés mitjançant el qual adquirim i emmagatzemem informació molt variada i que és inseparable de l'aprenentatge) es pot manifestar en la pràctica educativa de forma diversa. Per exemple, per resoldre un problema matemàtic es requereix una memòria explícita que ens permet emmagatzemar de forma conscient fets generals (memòria semàntica) o esdeveniments particulars de la nostra vida quotidiana (memòria episòdica). En canvi, en l'aprenentatge d'un nou idioma, generem hàbits i es requereix un altre tipus de memòria coneguda com a implícita (que fa referència a records inconscients). Independentment de la utilització d'una o altra memòria, per optimitzar l'aprenentatge, el cervell necessita la repetició de tot allò que ha d'assimilar. Però l'adquisició de tot un seguit d'automatismes que ens permet memoritzar requereix temps. La pràctica contínua ens permet progressar perquè ajuda a consolidar la memòria, per la qual cosa plantejar el currículum escolar de forma espiral es contempla com una necessitat. En aquest context, l'alumne ha de conèixer que l'error forma part del procés d'aprenentatge i que cal assumir-ho amb absoluta naturalitat.

La pràctica docent intensiva pot resultar per a l'alumne de vegades avorrida per la qual cosa el docent, com a bon gestor del procés d'aprenentatge, ha d'espaiar-la en el temps i variar-la amb un altre tipus de tasques. Aquí és on intervé la integració del

component lúdic en l'activitat diària, que permeti motivar l'alumne i proposar-li reptes adequats. El joc constitueix un mecanisme natural arrelat genèticament en els subjectes que encurioseix, és plaent i permet descobrir destreses útils per interactuar amb el nostre entorn. Els mecanismes cerebrals innats del nen li permeten, als pocs mesos d'edat, aprendre jugant. Lligats al procés de resolució d'un problema o a la mateixa fita, es desencadenen tot un seguit de reaccions emocionals que faciliten l'aprenentatge, consolidant-se en la memòria totes les associacions utilitzades (Mora, 2013). S'ha demostrat que, jugant durant 16 hores en un mes al conegut videojoc *Professor Layton*⁴, augmenta la quantitat de matèria grisa, que és un indicador fiable de la nostra capacitat cerebral.

Altres estudis semblen demostrar que les *activitats artístiques* promouen el desenvolupament de processos cognitius. En concret, la instrucció musical en joves millora la capacitat intel·lectual com a conseqüència de la plasticitat cerebral. Sobretot en aquells amb més interès i motivació vers aquest tipus d'activitats (Posner et al., 2008). D'altra banda, el teatre o el ball desenvolupen habilitats socioemocionals com l'empatia i són beneficiosos per a la memòria semàntica. Per exemple, parlar en públic genera nora-drenalina, un neurotransmissor que a part d'intervenir en els processos relacionats amb l'atenció també ho fa en l'autocontrol o en la memòria de treball (una memòria de curt termini que utilitzem per retenir petites quantitats d'informació durant breus períodes de temps mentre llegim, conversem o reflexionem sobre un problema). Com a exemple clàssic de programa enfocat vers l'educació artística i que assumeix la multiplicitat de la intel·ligència, està *Arts Propel* de la Universitat d'Harvard⁵. Aquest programa especialitzat en la música, l'art visual i l'escriptura potencia la creativitat.

Aquest context de participació activa de l'alumne, en el qual aprèn actuant, està d'acord amb investigacions recents que demostren la importància de l'*activitat física*. La pràctica regular de l'exercici (especialment aeròbic) promou la neuroplasticitat i la neurogènesi en l'hipocamp (Aberg et al., 2009). Aquesta regió cerebral facilita la memòria a llarg termini i, conseqüentment, l'aprenentatge. L'exercici físic aporta oxigen al cervell optimitzant el seu funcionament, genera una resposta dels neurotransmissors (nora-drenalina i dopamina) que intervenen en els processos d'atenció, millora l'estat d'ànim i redueix el temut estrès crònic que repercuteix tan negativament en el procés d'aprenentatge. Diversos estudis demostren la necessitat de potenciar les classes d'educació física, dedicar-hi el temps suficient i no col·locar-les al final de la jornada acadèmica, com es fa freqüentment. S'haurien de fomentar les àrees d'esbarjo a l'aire lliure, que permetin l'activitat física voluntària, i aprofitar els descansos regulars perquè els alumnes puguin moure's. Un simple exercici abans del començament d'una classe ha demostrat que millora la predisposició física i psicològica dels infants vers l'aprenentatge, amb més motivació i atenció (Blakemore i Frith, 2007).

A banda de l'activitat física, són molt importants també l'*adequada hidratació* (s'ha de permetre beure aigua als nens durant la classe), *hàbits nutricionals apropiats i dormir les hores necessàries*, especialment en l'adolescència. S'ha demostrat la importància del somni en la consolidació de la memòria i en la integració dels nous coneixements amb

(4) Consulteu l'enllaç <https://www.youtube.com/watch?v=NFFx70dei6k> [Accés: 22/06/2014].

(5) Consulteu l'enllaç http://www.pz.gse.harvard.edu/arts_propel.php [Accés: 22/06/2014].

els ja coneguts. Manfred Spitzer fa una analogia interessant del procés que es duu a terme:

Es buida una bústia plena de cartes (memòria temporal de l'hipocamp); les cartes són dipositades en una carpeta (escorça cerebral) i, a continuació, se succeeixen el processament i les respostes a les cartes (fase REM del somni en la qual el cervell està molt actiu). (Spitzer, 2013, p. 261)

Una solució que ha demostrat ser eficient per pal·liar la falta del dormir de l'adolescent ha estat la de retardar l'horari escolar, tot i que aquesta solució natural pugui estar en discordança amb els horaris laborables de les famílies o, fins i tot, amb els horaris extraescolars dels propis alumnes.

Algunes de les estratègies proposades fins aquí, si bé poden estar sent aplicades ja a les escoles, el que realment aporten a la neuroeducació és un suport empíric vàlid en el qual sustentar-les, tot fonamentant el canvi educatiu que es demana i desterrant mites creats.

Alguns neuromites que cal superar

Assumim que les investigacions en neurociència han aportat informació rellevant sobre com aprèn el cervell i que aquesta afectarà el desenvolupament futur de l'educació. Tanmateix, resulta senzill fomentar malentesos en la transmissió d'aquests coneixements des de la neurociència cap a l'educació, per la qual cosa es requereix un diàleg interdisciplinari que unifiqui el vocabulari utilitzat pels professionals d'ambdues disciplines. Quan això no s'ha donat, han aparegut els anomenats «neuromites», errors d'interpretació dels descobriments científics sobre el cervell per justificar la seva utilització a l'aula. Lamentablement, com demostren estudis recents, existeixen creences falses sobre el funcionament del cervell humà molt arrelades entre els professionals de l'educació (Dekker et., 2012).

En aquest apartat veurem que les neurociències han fet tres tipus d'aportacions a l'educació:

Ratificadoros	Les neurociències ens evidencien i ens ajuden a sustentar, des del coneixement més neurològic, les praxis i les teories educatives que s'han anat exercitant.
Matisadores	Els descobriments de les neurociències aporten nous re-enfocaments, petits canvis de mirada o petites variacions o millores de les praxis o creences educatives.
Replantejadores d'altres propostes	Les neurociències ens mostren les divergències i noves propostes per enfocar l'aprenentatge (font de neuromites).

Les *aportacions ratificadoros*, que ens permeten sustentar el que ja fem bé o sabem per altres teories, són presents en propostes com la de l'Escola Nova, o altres referents educatius molt reeixits. Només per citar-ne algunes: la importància del joc en l'educació, o l'aprenentatge situat, proper i realista; treballar des d'un enfocament més holístic de l'aprenentatge, fent presents molts canals i vies per aprendre, o la importància del bilingüisme, que ara queda totalment corroborat.

Les *aportacions matisadores*, aquelles que permeten introduir micromoviments importants en la tasca educativa i que són molt importants per a un bon aprenentatge. A tall d'exemple una màxima: no per més hores d'estudi s'aprèn més. Això que els finlandesos ja estan practicant, les neurociències ho demostren amb les corbes de l'atenció. I és que, per a millorar la concentració, el més eficient és deixar moments d'exercici físic o lúdics fora de l'aula abans de començar un període d'estudi. Una pràctica que ja està present en algunes escoles.

Malgrat que alguns autors el classifiquin com a neuromite, nosaltres creiem que és més una matisació perquè entendre la funcionalitat dels dos hemisferis té un gran valor en l'educació, malentendre-ho és el que té perill. I és que s'ha parlat molt de la contraposició del *cervell esquerre versus cervell dret*. Aquesta diferenciació entre els dos cervells va induir a creure que s'havia d'ensenyar als nens segons haguessin nascut amb una predominança d'un dels hemisferis cerebrals per així facilitar l'aprenentatge a través de les seves preferències naturals. Basant-se en les investigacions en laboratori dels hemisferis cerebrals per separat, se sabia que l'esquerre és l'hemisferi lògic, verbal i analític, mentre que el dret és l'hemisferi holístic, intuïtiu o creador. No obstant això, els escàners cerebrals han demostrat que usem tots dos hemisferis de forma integrada, transmetent-se la informació entre tots dos a través del feix de fibres nervioses que constitueixen el cos callós (Geake, 2008). Així per exemple, regions dels dos hemisferis cerebrals s'activen i treballen conjuntament en identificar nombres (Dehaene, 1997) o en tasques relacionades amb l'ús del llenguatge (Seger et al., 2000).

En aquesta mateixa línia, molts programes educatius han buscat la millora del rendiment dels alumnes classificant-los segons el seu estil preferit d'aprenentatge: visual, auditiu o cinestèsic. Sembla ser que el pressupòsit d'aquest enfocament és que les diferents modalitats sensorials són processades independentment en diferents regions cerebrals. Això entra, però, en contradicció amb l'evidència de la interconnectivitat cerebral de la qual parlàvem anteriorment. Un alumne pot tenir una gran memòria visual però això no significa que sigui un «alumne visual», segons planteja aquest enfocament. Perquè, encara que és capaç de reconèixer millor els detalls visuals de les imatges que caracteritzen les paraules, no serà capaç d'aprendre millor el seu significat, que és amb el que està relacionat la gran majoria de les coses que s'ensenyen a l'escola (Willingham, 2011).

Una altra forma molt utilitzada per millorar l'aprenentatge a través de l'equilibri de treball dels hemisferis cerebrals és la «gimnàstica cerebral». Parteix del supòsit que la dominància d'un hemisferi cerebral pot ser la causa de dificultats en l'aprenentatge d'acord amb un ús ineficaç de les destreses visuals, auditives o motores. La veritat és que no hi ha proves convincentes de l'eficàcia d'aquest tipus de programes i, en el cas que puguin contribuir a l'aprenentatge, es deu a qüestions diferents com per exemple, els beneficis cognitius derivats de la pràctica de l'activitat física (Howard-Jones, 2011).

Amb la categoria *aportacions replantejadores* d'altres propostes, volem referir que les neurociències també defensen les seves divergències i noves propostes i és aquí on situem estrictament els neuromites.

Hi ha alguns neuromites que, malgrat estar refutats fa temps per les investigacions en neurociència, segueixen estant molt presents en part del professorat i de l'alumnat. Per exemple, el mite que *només usem el 10% del nostre cervell*. Avui sabem que el cervell

humà és un òrgan molt complex modelat per la selecció natural que, malgrat representar un percentatge mínim de la massa total del cos humà, és capaç de consumir un 20% de l'energia disponible. Podria l'evolució permetre que es desenvolupés un òrgan que requereix aquesta despesa energètica amb un 90% inútil? Evidentment, no. Les modernes tècniques de visualització cerebral han demostrat que, independentment que l'activació de diferents regions cerebrals en realitzar una tasca sigui desigual o que l'energia invertida en els processos inicials d'aprenentatge sigui major que quan es domina ja la tasca, l'activitat cerebral és del 100% (OECD, 2007).

Els estudis sobre el desenvolupament cerebral en els primers anys de vida han revelat que, ja als pocs mesos, en el cervell del nadó es produeix un augment espectacular del nombre de connexions neuronals i que existeixen uns períodes crítics per a l'aprenentatge (o períodes sensibles, atès que no són ni rígids ni inflexibles). Basant-se en aquestes idees existeix una creença popular molt estesa segons la qual, hauria d'iniciar-se com més aviat millor l'educació formal, i que els ambients enriquits facilitaran l'aprenentatge i el desenvolupament intel·lectual posterior del nen. No obstant això, les investigacions neurocientífiques no recolzen la idea que la sobreestimulació cerebral pugui ser beneficiosa, independentment que els ambients empobrits o la desatenció puguin perjudicar el desenvolupament cerebral normal del nen (Blakemore i Frith, 2007).

Relacionat amb l'anterior, durant algun temps es va creure que si els nens durant la infància escoltaven composicions de Mozart en ambients relaxats podien obtenir beneficis cognitius i millorar així la seva intel·ligència general. Diversos estudis (Steele et al., 1999) van demostrar que no existia tal correlació, encara que han quedat demostrats els beneficis cognitius d'escoltar i tocar un instrument. No només escoltar. L'activació simultània d'àrees sensorials i motores, en tocar l'instrument, comporta la millora de capacitats generals com la memòria de treball o l'atenció, que són fonamentals per al bon acompliment acadèmic dels alumnes (Mora, 2013).

Com hem pogut comprovar a través de l'anàlisi anterior d'alguns dels neuromites més estesos, en moltes ocasions la informació transmesa per la neurociència no és interpretada de forma correcta per l'educació. En aquest sentit, alguns autors proposen la necessitat que existeixin intermediaris degudament formats. Podrien ser encarregats de transmetre aquests coneixements i permetre, als científics, que puguin centrar-se en les seves investigacions en el laboratori (Goswami, 2006), atès que les aplicacions educatives no solen ser prioritàries en les investigacions neurocientífiques. Aquest enfocament interdisciplinari sembla imprescindible, perquè la forma de treballar en ambdues disciplines és diferent: amb més anàlisi quantitativa en neurociència i un enfocament més qualitatiu en educació. Aquesta investigació neuroeducativa interdisciplinària hauria de complementar i actualitzar els coneixements actuals per tal que puguin aplicar-se. I és que moltes de les coses que es fan a l'escola són contradictòries amb el que sabem actualment que és millor per al cervell en el context de l'aprenentatge.

Un cop recollides les aportacions de les neurociències a l'educació i coneixent també les seves limitacions i malentesos (neuromites) no voldríem acabar aquest article sense esmentar les aportacions que pot fer la neurodidàctica aplicada als trastorns de l'aprenentatge.

Plasticitat cerebral: noves oportunitats davant els trastorns de l'aprenentatge

Com hem vist, la neuroplasticitat és una propietat del sistema nerviós que el permet adaptar-se contínuament a les experiències vitals i que fa que el nostre cervell sigui aquest òrgan mal·leable del que parlàvem en l'apartat anterior. Són molt coneguts els experiments que van confirmar la plasticitat cerebral, com els d'Eleanor Maguire amb els taxistes de Londres que, a diferència de conductors menys experts, són capaços d'incrementar el seu hipocamp en pocs mesos en haver de memoritzar un complex mapa de carrers (Maguire et al., 2000). O els de Thomas Elbert, amb violinistes, en els quals es va demostrar que aquests incrementen la regió de l'escorça cerebral que controla els dits de la mà esquerra (Elbert et al., 1995). Fins i tot, Álvaro Pascual-Leone ha demostrat que el simple fet d'imaginar que s'està tocant una peça musical activa les regions de l'escorça motora que es requereixen per a l'execució dels moviments reals (Pascual-Leone et al., 2005). Per tant, la pràctica mental és suficient per promoure la neuroplasticitat.

La neuroplasticitat té una relació directa amb la millora en determinats trastorns de l'aprenentatge; un dels més coneguts és la *dislèxia*. De fa temps, se sap que diverses àrees cerebrals intervenen en la formació del llenguatge, per la qual cosa el seu desenvolupament requereix molt de temps. La lectura, per exemple, demana una òptima connexió entre aquestes regions cerebrals de forma que, a fi que un nen pugui llegir amb correcció, necessita una comprensió adequada del llenguatge. En la dislèxia, el principal impediment per llegir està relacionat amb la parla i la memòria verbal. Per llegir, necessitem captar la correspondència existent entre els sons del llenguatge (fonemes) i els símbols visuals que utilitzem per representar-ho (grafemes). Aquesta és la raó per la qual els nens dislèxics pateixen trastorns estructurals en el processament de sons i en algunes tasques visuals.

Diversos estudis han demostrat la importància d'un entrenament intensiu per a nens dislèxics (Tallal et al., 1996). Amb la utilització de determinats programes informàtics, com el *Fast ForWord*⁶, s'allarguen artificialment sons de consonants per poder diferenciar-los. En poques setmanes d'entrenament, s'observen increments d'activitat en regions cerebrals que intervenen en el processament fonològic (com l'escorça temporo-parietal), fent que els nens processin millor els sons de les paraules i mostrant una major integració auditivo-visual (Temple et al., 2003). A través de la neuroplasticitat, s'enforteixen regions cerebrals implicades en el processament del llenguatge i així es poden millorar dificultats associades a la dislèxia.

Aquests resultats mostren la importància del temps dedicat a la comprensió del llenguatge oral i la seva relació directa amb l'aprenentatge de la lectura. És important que aquest tipus d'exercicis, que són repetitius, resultin motivadors. En cas contrari, als nens els costa escoltar els *inputs* sonors. A més, es requereix una gran varietat d'estímul verbals que generi una major activitat en l'hemisferi esquerre, que funciona pitjor en el cervell dels nens dislèxics.

(6) Consulteu l'enllaç: <http://www.scilearnglobal.com/the-fast-forword-program/> [Accés: 22/06/2014].

Un altre trastorn de l'aprenentatge del que es parla molt actualment és el trastorn per *dèficit d'atenció i hiperactivitat* (TDAH), una síndrome tipificada però que comporta una gran variabilitat de símptomes. Els nens que pateixen aquest trastorn presenten un focus d'atenció variable que els dificulta el procés d'aprenentatge i a més, en alguns casos, poden presentar certes anomalies conductuals. La influència dels estats d'ànim en l'atenció es pot justificar perquè, en nens amb TDAH, s'ha observat una grandària més reduïda del nucli accumbens, una regió del sistema límbic que està associada als circuits de recompensa en els quals intervé la dopamina. Al costat d'això, també s'ha observat una menor activitat en regions de l'escorça prefrontal que són importants en l'atenció i en la resposta d'inhibició (Davidson i Begley, 2012).

Recents investigacions estan demostrant l'existència d'alternatives sòlides als tractaments farmacològics per millorar els comportaments dels nens. En una investigació realitzada amb nens que tenien entre 4 i 6 anys es va comprovar que, a través d'un entrenament amb jocs d'ordinador durant només cinc dies, es milloraven els mecanismes cerebrals de l'atenció executiva i que aquests resultats podien consolidar-se durant almenys dos mesos (Rueda et al., 2005). Segons els propis autors, la millora en el disseny d'aquests programes pot ajudar en el futur a pal·liar dèficits d'atenció que presenten els nens en el seu desenvolupament.

Altres estudis revelen la importància de la pràctica regular de la meditació en el procés de transformació i millora de l'atenció (Lutz et al., 2009). D'acord amb això, l'aplicació de la relaxació corporal i la concentració per millorar l'atenció dels nens ha resultat satisfactòria en algunes escoles (Lantieri, 2009).

La *discalcúlia* constitueix un altre trastorn, aquest relacionat amb la dificultat que presenten les persones en l'aprenentatge de les operacions aritmètiques. Igual que ocorre amb la dislèxia, la detecció en els nens d'aquestes dificultats numèriques no sol ser complicada i, encara que conté un component hereditari important, és susceptible de ser tractada mitjançant entrenaments conductuals. El nen amb discalcúlia manca d'aquest sentit numèric innat que tenim els humans que ens permet un aprenentatge ràpid del concepte de quantitat i significat del nombre. Segurament per un desenvolupament anormal del solc intraparietal, la regió del cervell més activa i important en la resolució de problemes numèrics (Dehaene et al., 2003). L'ensenyament compensatori a través d'un procés de repetició lent d'operacions i de regles bàsiques (independentment que no sigui capaç de restaurar les regles implícites que falten), sí que pot ajudar el nen perquè sigui capaç de dur a terme operacions aritmètiques elementals. En aquest sentit, la utilització de programaris informàtics, com *The Number Race*⁷, està permetent obtenir resultats prometedors.

D'altra banda, l'*autisme* és un trastorn del desenvolupament que constitueix un espectre molt ampli i que es caracteritza per alteracions en les relacions socials i dificultats en la comunicació. Els nens autistes presenten dificultats en l'aprenentatge primerenc per imitació i en el desenvolupament de l'empatia. Per això, la comprensió del desenvolupament del sistema de les neurones mirall en els primers anys de vida resulta transcendental perquè l'autisme es pot diagnosticar a partir del segon any de vida (aproximadament), conforme el nen comença a presentar dificultats en les seves relacions

(7) Consulteu l'enllaç: <http://www.thenumberrace.com/nr/home.php> [Accés: 22/06/2014].

socials. Formes de tractament basades en la imitació estan resultant molt eficaces per ajudar els nens autistes, al costat d'altres formes de comunicació social com el llenguatge i el joc simulat (Ingersoll et al., 2007). Són tècniques senzilles que no requereixen la utilització de tecnologia específica. D'altra banda, aquí també s'han provat amb èxit programes informàtics, com *Let's Face It*⁸, basats en el reconeixement de rostres i el desenvolupament d'habilitats socials.

En aquesta visió resumida d'alguns dels trastorns de l'aprenentatge més comuns que afecten els infants volem deixar clar que, encara que existeixen noves tecnologies molt útils en els processos d'ensenyament i aprenentatge que es donen a l'escola, el paper del mestre o del futur neuroeducador/a resulta fonamental. I ho és perquè, mitjançant els coneixements necessaris sobre el cervell humà, pot ser capaç de detectar aquests primers símptomes que caracteritzen el comportament del nen i que poden dificultar el seu procés normal de desenvolupament i aprenentatge.

Vers un nou professional de l'educació: el neuroeducador/a

Cada dia s'inclouen amb més freqüència i intensitat en el discurs pedagògic noves expressions, com ara «intel·ligències múltiples», «programació neurolingüística», «estils d'aprenentatge», «meditació», «mindfulness» o «gimnàstica cerebral». Tanmateix, les metodologies i tecnologies didàctiques a les quals fan referència aquests termes, o bé no estan suficientment contrastades empíricament (Willingham, 2011), o bé no són més que neuromites generats per una incorrecta interpretació i extrapolació d'algunes aportacions de les neurociències (Guillén, 2013). D'altra banda, a vegades alguns centres poden utilitzar expressions, com ara «aprenentatge cooperatiu», «aprenentatge per projectes», «comunitats d'aprenentatge» o «alfabetització digital», utilitzant-los a discreció per legitimar certes intervencions a l'aula davant la comunitat educativa. En realitat, tenen més de màrqueting educatiu que d'innovació didàctica. Són canvis estètics més que profundes conviccions, en alguns casos.

Fins al desenvolupament de les ciències cognitives i, en particular, gràcies als estudis de la psicologia experimental sobre els principis cognitius de la ment (Willingham, 2011) i els estudis de les neurociències que ens descriuen el procés d'aprenentatge del cervell (Mora, 2013; Blakemore i Frith, 2007) a partir dels anys 90 en endavant, la pedagogia ha estat informada de manera unilateral per una determinada teoria psicològica. Presentada amb voluntat hegemònica, atès que la seva base inductiva era incompleta i feble (tal com ha succeït amb el conductisme i el constructivisme) i, en el pitjor dels casos, influïda per les ocurrencies del moment. Però ara tenim una perspectiva científica interdisciplinària en la que convergeixen les aportacions de la neurobiologia, la neuropsicologia i la medicina, a les quals cal sumar els estudis de la cibernètica, la lingüística, l'antropologia, la filosofia de la ment i l'ecologia. I el que és més important, disposem de nombroses evidències empíriques obtingudes d'investigacions bàsiques i clíniques sobre fenòmens tan importants per a l'aprenentatge com els que acabem de veure en els punts precedents. Sobre aquesta base, és legítim proposar una sèrie de principis pedagògics relatius a la relació entre ensenyament i aprenentatge, així com a l'organització escolar (Jensen, 2004; Willis, 2008; Tokuhamu-Espinosa, 2011).

(8) Consulteu l'enllaç: <http://web.uvic.ca/~letsface/letsfaceit/> [Accés: 29/06/2014].

Quan a un mestre o professor/a se l'informa d'aquests nous coneixements i se li fa veure la seva utilitat per resoldre tant els problemes d'aprenentatge que presenten alguns dels seus alumnes amb necessitats educatives especials, com per optimitzar l'aprenentatge de tot el grup d'alumnes, o per tractar de manera adequada els casos d'alumnes amb altes capacitats amb l'objectiu de desenvolupar els seus talents, es desperta la seva curiositat i interès. Però també pot manifestar rebuig a la seva aplicació a l'aula, si la transferència d'aquests coneixements es realitza per part d'agents externs al claustre de mestres o professors, i si aquests no se senten participants dels mateixos a través de la seva pràctica docent. Una participació que passa necessàriament per incorporar al paper del docent el de l'investigador. És clar que es necessita efectuar aquesta transferència de coneixements, amb la formació idònia i la perspectiva interdisciplinària que procuren les ciències cognitives i, en particular, les neurociències. Aquest professional de l'educació, a banda de mestre, ha de ser neuroeducador/a (Mora, 2013 i 2014).

Les funcions del neuroeducador/a poden ser tasques com ara la formació amb els seus companys aplicant el procediment de la gestió del coneixement, l'auditoria del projecte educatiu des de la perspectiva de les ciències cognitives, l'orientació dels programes d'educació compensatòria per a aquells alumnes que presentin dèficits o trastorns de l'aprenentatge i la ideació i el desenvolupament al costat dels seus companys d'investigacions a l'aula, testant amb els alumnes les implicacions educatives de les aportacions de les ciències cognitives. Si volem garantir-ne l'èxit, caldrà preparar professionals amb aquestes competències i facilitar que l'educador desenvolupi la seva tasca en el seu lloc de feina, en el nucli de la seva comunitat educativa.

No existeix encara un consens sobre la formació requerida per al perfil professional de neuroeducador/a. De fet, aquesta especialització, amb prou feines existeix en l'ensenyament universitari. S'explica en uns pocs màsters universitaris i professionals, entre els quals es troben el Màster Universitari en Neuropsicologia i Educació, de la Universitat Internacional de la Rioja⁹; el Títol Superior Propi en Neurociències Aplicades a l'Educació, del Centre Universitari Villanueva, adscrit a la Universitat Complutense de Madrid¹⁰, i el Màster professional en Neurodidàctica, organitzat pel Centro CADE amb el suport tecnològic de ASPgems, i que té com a principal particularitat que és completament online a través d'una plataforma pròpia, denominada Neurok¹¹, ideada amb els principis de la neuroeducació.

Des de la nostra perspectiva, considerem que els continguts que no poden faltar en la formació del futur neuroeducador/a són els següents:

— Coneixement de l'anatomia i la fisiologia del cervell humà.

(9) Consulteu l'enllaç: <http://www.unir.net/master-neuropsicologia-educacion.aspx> [Accés: 29/06/2014].

(10) Consulteu l'enllaç: <http://www.villanueva.edu/area-de-educacion/titulaciones/neurociencias/> [Accés: 29/06/2014].

(11) Consulteu els enllaços del Màster en Neurodidàctica: <http://masterneurodidactica.com/> [Accés: 29/06/2014]; Centro CADE: <http://www.centrocade.com/> [Accés: 29/06/2014]; ASPgems: <http://aspgems.com/> [Accés: 29/06/2014]; Neurok: <http://aspgems.com/blog/leticia/neurok-una-plataforma-de-formacion-online-para-aprender-compartiendo> [Accés: 29/06/2014].

- Coneixement de la percepció, de les funcions motores i de les funcions executives, entre les quals es troben els factors crítics de l'aprenentatge (memòria, atenció, motivació i emoció).
- Detecció dels símptomes de les principals malalties, síndromes, lesions cerebrals, trastorns i dificultats que afecten l'aprenentatge dels nens i adolescents.
- Coneixement de la plasticitat cerebral i dels programes i metodologies d'educació compensatòria.
- Coneixement de la comunicació verbal i no verbal.
- Coneixement de les etapes del desenvolupament psicològic.
- I, evidentment, com portar tot això a l'aula, la seva aplicabilitat i transferència a la pràctica docent.

En aquest sentit, Paul Howard-Jones (2011), proposa tres preguntes senzilles que tot educador hauria de plantejar-se si vol aplicar estratègies o coneixements basats en l'aprenentatge cerebral:

- Quins són els principis científics que els sustenten?
- Com s'ha avaluat la idea o proposta en termes científics?
- On s'han publicat i analitzat aquests principis i avaluacions que la avalen?

Qualsevol dubte en la resposta a alguna d'aquestes preguntes hauria de suscitar sospites.

El coneixement del cervell, actualment i a la vista de les conseqüències pedagògiques de les investigacions en el camp de les neurociències, és ineludible per a la millora i el progrés de l'educació i el neuroeducador/a jugarà, sens dubte, un paper significatiu en l'aplicació d'aquest coneixement en la vida escolar. Ja sigui identificant els principis i les estratègies que puguin conduir a l'excel·lència en l'educació, ja sigui oferint criteris als docents i als equips directius perquè els processos d'ensenyament i aprenentatge siguin més eficaços i s'optimitzi millor l'aprenentatge de cada alumne.

Ken Robinson ho resumeix molt bé: «Els veritables desafiaments als quals s'enfronta l'educació només se solucionaran conferint el poder als professors creatius i entusiastes i estimulant la imaginació i la motivació dels alumnes» (Robinson i Aronica, 2011, p. 322). De la bona voluntat de tots els membres de cada comunitat educativa dependrà que aquesta nova professió de l'educació del futur es dugui a terme ja en el present.

Referències

- Aberg, M.; Pedersen, N.L.; Torén, K.; Svartengren, M.; Bäckstrand, B.; Johnsson, T.; Cooper-Kuhn, C.M.; Aberg, N.D.; Nilsson, M.; Kuhn, H.G. (2009) «Cardiovascular fitness is associated with cognition in young adulthood». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106 (49), p. 20906-20911.
- Blakemore, S.-J.; Frith, U. (2007) *Cómo aprende el cerebro. Las claves para la educación*. Barcelona, Ariel.
- Damasio, A. (2001) *El error de Descartes. La emoción, la razón y el cerebro humano*. Barcelona, Crítica.
- Davidson, R. J.; Begley, S. (2012) *El perfil emocional de tu cerebro. Claves para modificar nuestras actitudes y reacciones*. Barcelona, Destino.
- Dehaene, S. (1997) *The number sense: How the mind create mathematics*. New York, Oxford University Press.
- Dehaene, S.; Piazza, M.; Pinel, P.; Cohen L. (2003) «Three parietal circuits for number processing». *Cognitive Neuropsychology*, 20 (3), p. 487-506.
- Dekker, S.; Lee, C.L.; Howard-Jones, P.; Jolles, J. (2012) «Neuromyths in education: Prevalence and predictors of misconceptions among teachers». *Frontiers in Psychology*, 3, Article 429.
- Durlak, J.A.; Weissberg, R.P.; Dymnicki, A.B.; Taylor, R.D.; Schellinger, K.B. (2011) «The impact of enhancing students' social and emotional learning: a meta-analysis of school-based universal interventions». *Child Development*, 82 (1), p. 405-432.
- Elbert, T.; Pantev, C.; Wienbruch, C.; Rockstroh, B.; Taub, E. (1995) «Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players». *Science*, 270 (5234), p. 305-307.
- Erk, S.; Kiefer, M.; Grothe, J.; Wunderlich, A.P.; Spitzer, M.; Walter, H. (2003) «Emotional context modulates subsequent memory effect». *Neuroimage*, 18 (2), p. 439-443.
- Friedrich, G. (1995) *Die Praktikabilität der Neurolidaktik. Ein Analyse und Bewertungsinstrument für die Fachdidaktik*. Frankfurt am Main, Peter Lang International Academic Publishers.
- Friedrich, G.; Preiss, G. (2003) «Neurolidáctica». *Mente y cerebro*, Barcelona, Prensa Científica, 4, p. 39-45.
- Gardner, H. (1983) *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. Nova York, Basic Books.
- Geake, J. G. (2008) «Neuromythologies in education». *Educational Research*, 50 (2), p. 123-133.
- Goswami, U. (2006) «Neuroscience and education: From research to practice?». *Nature Reviews Neuroscience*, 7, p. 406-413.
- Guillén, J. C. (2013) «Neuromitos en la educación». Disponible a: <https://escuelaconcerebro.wordpress.com/2013/01/24/neuromitos-en-la-educacion/> [Accés: 29/06/2014].
- Hart, L. (1983) *Human brain and human learning*. Nova York, Longman Publising Group.
- Howard-Jones, P. (2011) *Investigación neuroeducativa. Neurociencia, educación y cerebro. De los contextos a la práctica*. Madrid, La Muralla.

- Iacoboni, M. (2009) *Las neuronas espejo: empatía, neuropolítica, autismo, imitación o de cómo entendemos a los otros*. Madrid, Katz.
- Ingersoll, B.; Lewis E.; Kroman E. (2007) «Teaching the imitation and spontaneous use of descriptive gestures in young children with autism using a naturalistic behavioral intervention». *Journal of Autism Developmental Disorders*, 37 (8), p. 1446-1456.
- Jensen, E. (2004) *Cerebro y aprendizaje. Competencias e implicaciones educativas*. Madrid, Narcea.
- (2007) «Una nueva mirada a la educación basada en el cerebro». *Revista Internacional Magisterio*, p. 3. Disponible a: http://www.magisterio.com.co/web/index.php?option=com_content&view=article&id=507:la-educacion-basada-en-el-cerebro&catid=66:revista-no-37&Itemid=63 [Accés: 29/06/2014].
- Lantieri, L. (2009) *Inteligencia emocional infantil y juvenil. Ejercicios para cultivar la fortaleza interior en niños y jóvenes*. Con introducción y prácticas guiadas por Daniel Goleman. Madrid, Aguilar.
- Lutz, A.; Slagter, H.A.; Rawlings, N.B.; Francis, A.D.; Greischar, L.L; Davidson, R.J. (2009) «Mental training enhances attentional stability: neural and behavioral evidence». *Journal of Neuroscience*, 29 (42), p. 13418-13427.
- Maguire, E.A.; Gadian, D.G.; Johnsrude, I.S.; Good, C.D.; Ashburner, J.; Frackowiak, R.S.; Frith, C.D. (2000) «Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(8), p. 4398-4403.
- Mora, F. (2013) *Neuroeducación. Sólo se puede aprender aquello que se ama*. Madrid, Alianza Editorial.
- (2014) «Neuroeducador: ¿Una nueva carrera universitaria?». Disponible a: http://www.huffingtonpost.es/francisco-mora/neuroeducador-una-nueva_b_5238524.html [accés: 29.06.2014].
- Morgado, I. (2014) *Aprender, recordar y olvidar. Claves cerebrales de la enseñanza eficaz*. Barcelona, Ariel.
- OECD (2007) *Understanding the brain: the birth of a learning science*. Paris, OECD.
- Pardo, F. (2013) «Neurodidáctica. Un enfoque realista, crítico y multidisciplinar de la educación desde la experiencia». Disponible a: <http://escuelaconcerebro.wordpress.com/2013/02/23/neurodidactica-un-enfoque-realista-critico-y-multidisciplinar-de-la-educacion-desde-la-experiencia> [accés: 29.06.2014].
- Pascual-Leone, A.; Amedi, A.; Fregni, F.; Merabet, M.L. (2005) «The plastic human brain cortex». *Annual Reviews Neuroscience*, 28, p. 377-401.
- Posner, M.; Rothbart, M.K.; Sheese, B.E.; Kieras, J. (2008) «How arts training influences cognition», a Gazzaniga M. [ed.] *Learning, arts and the brain*. Nova York, Danna Press, p. 1-10.
- Preiss, G. (1996) *Neurodidaktik. Theoretische und praktische Beiträge*. Herbolzheim, Centaurus Verlag.
- Rilling, J.; Gutman, D.; Zeh, T.; Pagnoni, G.; Berns, G.; Kilts, C. (2002) «A neural basis for social cooperation». *Neuron*, 35 (2), p. 395-405.
- Robinson, K.; Aronica, L. (2011) *El elemento: descubrir tu pasión lo cambia todo*. Barcelona, Debolsillo.

- Rueda, M.R.; Rothbart, M.K.; McCandliss, B.D.; Saccomanno, L.; Posner, M.I. (2005) «Training, maturation and genetic influences on the development of executive attention». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102 (41), p. 14931-14936.
- Seger, C.A.; Desmond, J.E.; Glover, G.H.; Gabrieli, J.D. (2000) «Functional magnetic resonance imaging evidence for right-hemisphere involvement in processing of unusual semantic relationships». *Neuropsychology*, 14 (3), p. 361-369.
- Spitzer, M. (2005) *Aprendizaje: neurociencia y la escuela de la vida*. Barcelona, Omega.
- (2013) *Demencia digital*. Barcelona, Ediciones B.
- Steele, K.M.; Dalla Bella, S.; Peretz, I.; Dunlop, T.; Dawe, L.A.; Humphrey, G.K.; Shannon, R. A.; Kirby Jr., J.L.; Olmstead, C.G. (1999) «Prelude or requiem for the “Mozart effect”?». *Nature*, 400, p. 826-827.
- Tallal, P.; Miller, S.L.; Bedi, G.; Byma, G.; Wang, X.; Nagarajan, S.S.; Schreiner, C.; Jenkins, W.M.; Merzenich, M.M. (1996) «Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech». *Science*, 271 (5245), p. 81-84.
- Temple, E.; Deutsch, G.K.; Poldrack, R.A.; Miller, S.L.; Tallal, P.; Merzenich, M.M.; Gabrieli, J.D. (2003) «Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: Evidence from functional MRI». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100 (5), p. 2860-2865.
- Tokuhami-Espinosa, Tracey (2011) *Mind, Brain, and Education Science. A comprehensive guide to the new brain-based teaching*. Nova York, Norton & Company.
- Waelti, P.; Dickinson A.; Schultz W. (2001) «Dopamine responses comply with basic assumptions of formal learning theory». *Nature*, 412, p. 43-48.
- Warneken, F.; Tomasello, M. (2007) «Helping and cooperation at 14 months of age». *Infancy*, 11, p. 271-294.
- Willingham, D. T. (2011) *¿Por qué a los niños no les gusta ir a la escuela? La respuesta de un neurocientífico al funcionamiento de la mente y sus consecuencias en el aula*. Barcelona, Graó.
- Willis, J. (2008) *How Your Child Learns Best. Brain-friendly strategies you can use to ignite your child's learning and increase school success*. Naperville, Illinois, Sourcebooks.

Principios neurodidácticos para el aprendizaje

Resumen: Este artículo recoge el interés que está despertando en la educación la contribución de las neurociencias. Serán motivo de este artículo dar a conocer el estado actual de las investigaciones en neurociencias que se pueden aplicar a la educación, comprender la razón de su presencia en la sociedad y en la educación, así como dar a conocer qué es la neurodidáctica, de dónde nace y cuáles son sus principios para la educación: saber el valor propositivo de las acciones de enseñanza-aprendizaje fundamentadas en el conocimiento del cerebro. La argumentación contrastada de estos principios nos ayudará también a desmentir algunos de los «neuromitos» o falsas creencias del conocimiento del cerebro en educación. Asimismo, también se pretende evidenciar el papel de la neurodidáctica ante los trastornos del aprendizaje para acabar hablando del rol y las funciones del neuroeducador.

Palabras clave: Neurodidáctica, neurociencias, educación, aprendizaje, neuroeducador

Principes neuro-didactiques pour l'apprentissage

Résumé: Cet article recueille l'intérêt qu'éveille dans l'éducation la contribution des neurosciences. Il vise à faire connaître l'état actuel des recherches en neurosciences qui peuvent être appliquées à l'éducation, comprendre les raisons de leur présence dans la société et dans l'éducation, ainsi que faire connaître la neuro-didactique, d'où elle naît et quels sont ses principes pour l'éducation: connaître la valeur de proposition des actions d'enseignement-apprentissage fondées sur la connaissance du cerveau. L'argumentation contrastée de ces principes nous aidera aussi à démentir certains «neuro-mythes» ou fausses croyances de la connaissance du cerveau dans l'éducation. Parallèlement, nous voulons aussi mettre en évidence le rôle de la neuro-didactique face aux altérations de l'apprentissage pour parler finalement du rôle et des fonctions du/de la neuro-éducateur/trice.

Mots clés: Neuro-didactique, neurosciences, éducation, apprentissage, neuro-éducateur/trice

Neuroscience principles to the learning

Abstract: This paper arises out of the emerging interest in neuroscience within the field of education. The aim is to report on the current state of neuroscientific research that can be applied to education, grasp the reason for its presence in society and in education, and explore what educational neuroscience is, where it comes from and what its main principles are for education: to understand the propositional value of teaching and learning activities rooted in knowledge of the brain. Sound reasoning based on these principles will also help to refute some of the «neuromyths» or misconceptions about the brain in the field of education. Lastly, the paper explores the role of educational neuroscience in the face of learning disabilities and examines the role and functions of the neuroeducator.

Key words: Educational neuroscience, neuroscience, education, learning, neuroeducator