

*Revista Catalana de Pedagogia*

*Volum 11, 2017, (17-55)*

ISSN (edició electrònica): 2013-9594

Rebut: 10, 07, 2016

Acceptat: 14, 10, 2016

DOI: 10.2436/20.3007.01.85

## **Neuroeducació: aportacions de la neurociència als plantejaments educatius**

### **Neuroeducation: contributions of neuroscience to educational approaches**

Marta Portero Tresserra, <sup>b</sup>Anna Carballo Márquez<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Departament de Psicobiologia i de Metodologia de les Ciències de la Salut. Universitat Autònoma de Barcelona. A/e: marta.portero@uab.cat

<sup>b</sup> Facultat de Ciències Socials de Manresa. Universitat de Vic - Universitat Central de Catalunya. A/e: acarballo@umanresa.cat

#### **Resum**

El creixent interès per una educació basada en l'evidència científica, així com els recents progressos en el camp de la neurociència sobre els processos d'aprenentatge i plasticitat cerebral, ha permès el naixement de la neuroeducació, un nou camp de coneixement que pretén oferir una visió dels processos d'ensenyament-aprenentatge basada en el funcionament del cervell. L'objectiu del present article és revisar i analitzar diversos estudis neurocientífics dels últims anys que pretenen proporcionar eines útils i fonamentació teòrica i empírica per a una bona pràctica pedagògica.

Després d'una breu introducció al camp de la neuroeducació i d'un breu repàs als aspectes més essencials del desenvolupament cerebral, es posa un èmfasi especial en factors intervinents en l'aprenentatge, com la relació entre el cos i els processos cognitius, les estratègies que fomenten un equilibri entre les emocions i la cognició, el desenvolupament de les funcions executives i la importància del disseny dels espais on tenen lloc les experiències d'aprenentatge.

### **Paraules clau**

Neurociència, desenvolupament i aprenentatge, plasticitat cerebral, emocions, funcions executives, espais d'aprenentatge.

### **Abstract**

The growing interest in education based on scientific evidence, as well as recent progress in the field of neuroscience with respect to learning processes and brain plasticity, have given rise to a new field of knowledge: neuroeducation. Its aim is to provide a vision of teaching and learning processes based on brain functioning. The purpose of this article is to review and analyze several neuroscientific studies which seek to provide useful tools and both theoretical and empirical foundations for good teaching practice. After a short introduction to the field of neuroeducation and a brief review of the most essential aspects of brain development, this paper focuses on the factors involved in learning, such as the relationship between the body and cognitive processes, the strategies to promote a balance between emotion and cognition, the development of executive functions, and the importance of the design of the spaces where learning experiences take place.

### **Keywords**

Neuroscience, development and learning, brain plasticity, emotions, executive functions, learning environments.

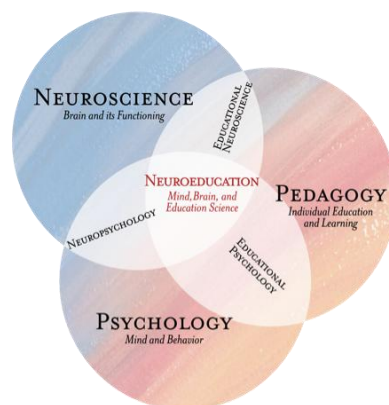
## Introducció

La neuroeducació es considera una nova transdisciplina que neix de la interacció i interrelació entre tres àmbits de coneixement diferents, les neurociències, la psicologia i l'educació (figura 1). De l'àmbit de les neurociències, la neuroeducació té en compte coneixements sobre el funcionament del cervell, especialment relacionats amb els processos de plasticitat subjacents a les funcions cognitives superiors, com l'atenció i la memòria o bé les bases neurobiològiques de la conducta i les emocions. Del camp de la psicologia, s'inclouen conceptes i teories sobre el funcionament de la cognició i de la conducta humana tals com l'atenció, l'emoció, la motivació i l'aprenentatge. I de l'àmbit educatiu, la neuroeducació principalment se centra en el desenvolupament de teories i pràctiques pedagògiques que expliquen com funcionen els processos d'ensenyament-aprenentatge atenent les metodologies d'aula, la didàctica, els materials, les competències bàsiques o les habilitats docents.

De la intersecció entre aquestes tres disciplines, neix la neuroeducació, concepte que va ser anomenat en els seus inicis *neurodidàctica* pels neuròlegs alemanys Friedrich i Preiss (2003), per intentar integrar aquests coneixements sobre com funciona i aprèn el cervell amb l'objectiu de millorar la pràctica d'aula i aconseguir així un aprenentatge més eficient i satisfactori (Mora, 2013).

FIGURA 1

### *Disciplines que inclou la neuroeducació*



FONT: Tokuhamas-Espinosa, 2011.

El cervell humà és un òrgan extremadament plàstic, el qual canvia la seva estructura i el seu funcionament de forma constant a partir de l'experiència amb l'objectiu de garantir l'adaptació de l'individu a un entorn també canviant (Morgado, 2014). Els processos de plasticitat cerebral són la base biològica dels processos d'aprenentatge i memòria presents durant tot el cicle vital (Blakemore i Frith, 2007). Així, la neuroeducació pretén una major integració de l'estudi del desenvolupament neurocognitiu en les ciències de l'educació, partint de la idea que conèixer com aprèn i com funciona el cervell podria millorar la pràctica pedagògica i les experiències d'aprenentatge. Tal com descriu Jensen (2010), la clau està a educar tenint el cervell en ment.

No obstant això, la neuroeducació és, encara, una disciplina molt jove i, de moment, els estudis dels quals es disposa són principalment de recerca bàsica en contextos de laboratori, amb una mancança important d'estudis de recerca aplicada en contextos naturals d'aprenentatge. Així doncs, si bé sembla que la neuroeducació projecta un escenari de millora pedagògica molt prometedora, cal ser conscients que és un nou camp de recerca que encara té molt camí per recórrer (Carballo, 2016). Per aquest motiu és comprensible l'existència d'un cert escepticisme per part d'alguns científics i pedagogs en relació amb les aportacions reals de la neurociència al disseny de pràctiques pedagògiques específiques. Així com ho és l'aparició de diversos «neuromites» a causa d'una simplificació, manipulació o mala interpretació d'algunes dades científiques reals, les quals han desencadenat en l'aparició i la popularització de creences errònies sobre el funcionament del cervell entre mestres i docents (Howard-Jones, 2014).

Amb tot, és important aclarir que la neuroeducació no hauria de ser considerada un nou corrent pedagògic, ni esperar que les seves aportacions puguin resoldre tots els problemes d'aprenentatge o de la qualitat del sistema educatiu actual. De fet, moltes de les idees que han anat sorgint de la recerca neuroeducativa, idees que no són noves en el món de l'educació, i que moltes coincideixen amb postulats que la recerca pedagògica ja ha descrit prèviament i que una gran part del col·lectiu de mestres ja coneix i utilitza donada la seva experiència docent. Tanmateix, que aquests postulats neuroeducatius sorgeixin de la recerca neurocientífica ens permet passar de la mera

intuïció a l'evidència científica sobre l'efectivitat i la fonamentació d'algunes pràctiques educatives, i això, a la llarga, ha de permetre augmentar la credibilitat i el respecte dels educadors com a professionals i experts en processos d'ensenyament-aprenentatge, que justifiquen la seva praxi des de l'evidència científica i empírica.

### **Un cervell immadur, una gran plasticitat**

En el moment de néixer el nostre cervell és, sens dubte, l'òrgan més immadur, més poc desenvolupat i el que més canvis ha d'experimentar i experimentarà durant els primers mesos i anys de la nostra vida. Això és així, bàsicament, perquè els éssers humans naixem molt immadurs, molt més que qualsevol altra espècie animal i aquesta marcada immaduresa és deguda al nostre desenvolupament filogenètic ja que, en el moment en què els homínids ens vam fer bípedes, va augmentar el nostre volum cranial mentre que la pelvis femenina es va fer més estreta, cosa que va provocar que el part s'hagués de donar de forma més prematura en un punt d'equilibri, prou madurs per a poder sobreviure a l'exterior, i amb una mida cranial prou poc desenvolupada per a poder passar pel canal del part (Rosenberg i Trevathan, 2002).

Aquest naixement tan immadur es tradueix en una infància molt perllongada, de manera que durant molts anys (cada vegada més) les cries humanes depenen d'altres humans adults per a poder sobreviure. Aquest disseny evolutiu, que fàcilment podria semblar un gran inconvenient per a la nostra supervivència com a espècie, afavoreix d'una forma molt rellevant un alt grau de plasticitat i una capacitat d'aprenentatge que no és comparable a la de cap altra espècie animal, i aquesta ha estat la clau per al nostre èxit evolutiu (Gould, 2010). De fet, no hi ha cap altra espècie animal que eduqui les seves cries i els transmeti la cultura acumulada per les generacions anteriors.

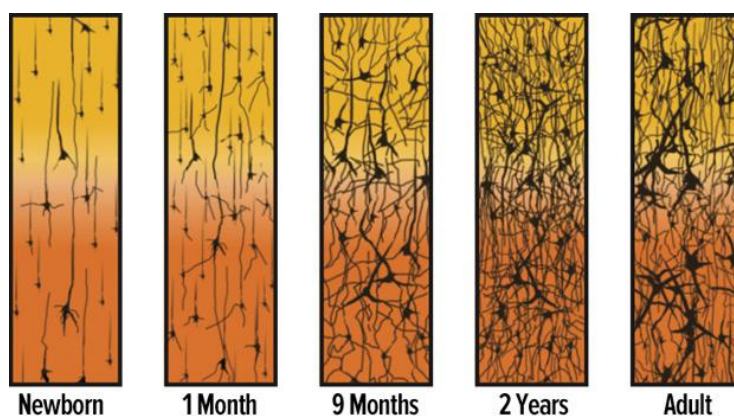
Durant els primers mesos de gestació es creen gairebé totes les neurones que tindrem al llarg de la nostra vida, més de 100 bilions de neurones, però en el moment de néixer estan immadures, no són funcionals, els falta ramificar-se, connectar-se amb altres neurones i mielinitzar-se. En aquest període, el desenvolupament del cervell ja està exposat a la influència de l'entorn a través de la simbiosi amb la mare, de manera que l'alimentació, l'estrès o els tòxics als quals estigui exposada la mare gestant influiran de

manera directa en el desenvolupament cerebral (Ackerman, 1992). La maduració neuronal comprèn el creixement de les prolongacions neuronals, axó i dendrites. Aquest creixement comporta l'establiment dels contactes sinàptics (sinaptogènesis) que permetran la transmissió de senyals nerviosos i la comunicació neural que ha de permetre el desenvolupament de les habilitats i capacitats dels infants. Els primers mesos i anys de vida, la sinaptogènesi és espectacular, es diu que el cervell brota, i es creen moltes connexions neuronals, fins a 10.000 sinapsis per neurona, és a dir, trilions de connexions neuronals, més de les que els nostre cervell madur podrà sostenir i acabarà necessitant.

És per això que, al cap d'uns anys, s'inicia un procés de selecció de sinapsis i el cervell perd aquelles connexions que no han estat estimulades per l'entorn perquè entén que no són útils per a la nostra adaptació. En aquest sentit, totes aquelles connexions que hagin estat potenciades i estimulades per l'entorn perduraran, i les que no es perdran amb l'objectiu de fer un cervell més eficient i adaptat al seu medi. Aquest procés es coneix com a *poda sinàptica* o *poda neural* (figura 2) i, tot i que d'entrada pugui semblar una pèrdua per al nostre cervell, és del tot necessari que tingui lloc perquè es pugui especialitzar en aquelles destreses o habilitats que li són necessàries.

FIGURA 2

*Densitat sinàptica al llarg del desenvolupament del sistema nerviós central*



FONT: Corel, 1975.

En aquest punt, és important no caure en la temptació de la sobreestimulació. És fàcil creure que sobreestimular els infants abans que tingui lloc la poda els pot anar bé per a poder aprendre molts idiomes, practicar esports o entrenar certes habilitats musicals amb l'objectiu d'evitar aquesta pèrdua. Si bé és cert que, com més immadur és un cervell, més fàcil serà l'aprenentatge de qualsevol habilitat, és important recordar que els infants, i els seus cervells, necessiten jugar, necessiten relaxar-se i necessiten reposar per poder consolidar totes les experiències i aprenentatges que, inevitablement, van acumulant dia a dia amb una estimulació i una interacció social normal (Saracho i Spodek, 2013).

Estudis recents demostren que l'entrenament en tasques massa complexes abans que el cervell estigui preparat per a dur-les a terme, pot produir deficiències permanents en la capacitat d'aprenentatge (Manrique *et al.*, 2005). A més, una estimulació primerenca inadequada podria promoure processos d'estrès, els quals dificultaran el correcte desenvolupament de les funcions executives (Hanson *et al.*, 2012). En aquest sentit, el cervell dels infants necessita temps per a jugar lliurement, per a reposar, per a poder elaborar i reelaborar la informació sense rebre constantment estímuls que els ho puguin impedir (Portero, 2016).

D'altra banda, la privació, és a dir, una manca d'estimulació de l'entorn, tant sensoriomotriu com socioafectiva, comporta també repercussions molt negatives en el desenvolupament cerebral dels infants i en la construcció de la personalitat, i afavoreix la presència de psicopatologies, alteracions endocrines i retards maduratius que es poden estendre fins a l'adolescència i l'edat adulta (Beckett *et al.*, 2006; Carlson i Earls, 1997; O'Connor *et al.*, 2000).

L'últim pas en la maduració neuronal és la mielinització, o índex de maduració de la substància blanca del cervell. La mielinització és un procés mitjançant el qual les cèl·lules glials (un altre tipus de cèl·lules del cervell) recobreixen els axons de les neurones de mielina, una lipoproteïna que actua com a aïllant i accelera la transmissió nerviosa, cosa que facilita un processament més ràpid de la informació. La mielinització s'inicia als tres mesos de la gestació i es perllonga durant molt de temps després de néixer, gairebé fins als trenta anys de vida (Sowell *et al.*, 2003).

En aquest sentit, el desenvolupament del sistema nerviós central segueix un patró temporal de complexitat creixent, si bé en el naixement només les estructures més primitives i instintives, filogenèticament parlant, estarien mielinitzades per a poder garantir la supervivència del nou-nat a l'exterior, la resta del cervell, i sobretot del còrtex, segueix un patró de mielinització paral·lel a la complexitat de les funcions que controlen. Primer es mielinitzen les àrees primàries sensorials i motores i a l'últim les escorces d'associació, com el còrtex parietotemporoccipital i, sobretot, l'escorça prefrontal, la més moderna filogenèticament i responsable de les funcions cognitives de més alt nivell (Sowell *et al.*, 2003). La maduració i el desenvolupament cerebral és un procés progressiu i de molt llarga durada, que té lloc de forma paral·lela al desenvolupament cognitiu de l'infant. La complexitat de l'escorça cerebral i la mielinització es correlacionen amb el desenvolupament de conductes progressivament més elaborades, entenent que el desenvolupament de qualsevol capacitat, sigui motora o cognitiva, dependrà sempre de la maduració de les estructures cerebrals que la sustenten.

Aquestes etapes en el desenvolupament o la maduració del cervell suggereixen l'existència del que s'ha anomenat *períodes crítics o sensibles de desenvolupament*. Aquests períodes es consideren finestres temporals dins de les quals el cervell està més receptiu o més preparat per a rebre determinat tipus d'estimulació, cosa que permet el desenvolupament de capacitats concretes. Es poden considerar períodes d'oportunitat i de vulnerabilitat, ja que l'estimulació en aquests períodes seria fonamental per a la correcta adquisició d'habilitats, tant cognitives com conductuals, i, si aquesta estimulació no es donés, la seva adquisició podria resultar alterada o disminuïda la resta del desenvolupament.

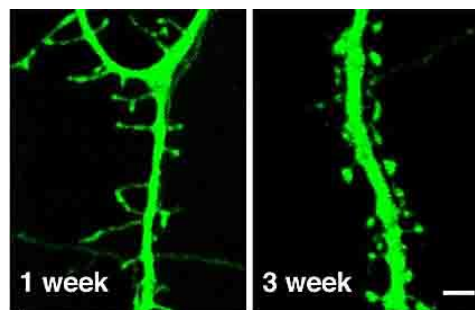
D'altra banda, el nostre cervell està dissenyat per a aprendre i per a fer-ho al llarg de tota la vida, no només quan és més immadur. Això és així gràcies a la nostra plasticitat cerebral; la capacitat adaptativa del nostre cervell permet canvis en l'estructura i la funció de les seves sinapsis per a adaptar-se i readaptar-se als canvis i a les demandes de l'entorn. Aquests canvis es poden donar tant a nivell funcional, enfortint algunes connexions sinàptiques, com a nivell estructural, modificant el nombre, la forma i la grandària de les sinapsis a causa de l'estimulació rebuda per l'entorn. Estudis com els



de Moser(1999) van observar que l'aprenentatge i l'enriquiment ambiental produïa canvis morfològics en els arbres dendrítics de neurones de l'hipocamp, ja que mostraven un augment en el nombre d'espines dendrítiques. Aquest fet augmentava el nombre de contactes sinàptics, els quals podrien explicar la millora en el rendiment cognitiu i, per tant, la base estructural de la memòria i l'aprenentatge (figura 3).

FIGURA 3

*Canvis en la complexitat de l'arbre dendrític d'una neurona i en el nombre i la forma d'espines dendrítiques després de l'enriquiment ambiental*



FONT: Papa *et al.*, 1995.

Els mecanismes de plasticitat cerebral es troben presents en totes les conductes que realitzem i totes les experiències que vivim. De fet, el cervell que tenim quan ens aixequem al matí no és el mateix que el que tenim quan anem a dormir gràcies a totes les experiències que vivim al llarg del dia i que ens canvien i canvien l'estructura física i funcional del nostre cervell.

### **Relació entre el cos i la ment: algunes claus per a facilitar l'aprenentatge**

Des de fa milers d'anys se sap que l'estil de vida té un efecte més que rellevant tant en el funcionament del cos com en el de la ment. A l'antiga Grècia els savis ja postulaven els avantatges de cuidar la dieta i durant la Roma imperial ja es descrivien citacions universalment conegudes com *mens sana in corpore sano*. En els darrers anys, cada vegada un nombre més gran d'estudis científics comprova la importància de la relació

interconnectada, interdependent i bidireccional entre el nostre organisme i els processos cognitius i emocionals. Així, coincidint amb creences mil·lenàries, la cura que tinguem del nostre cos repercutirà de manera directa sobre el funcionament homeostàtic del nostre cervell, sobre la seva estructura física i, per tant, en l'eficiència i el desenvolupament de les funcions intel·lectuals superiors que permeten els processos d'aprenentatge.

*a) L'alimentació: un factor neuroprotector*

En primer lloc, cal tenir present la importància de la nutrició per al desenvolupament cerebral i, per tant, per als processos cognitius que s'hi sustenten, de manera que la qualitat del que mengem influeix directament l'estructura física i el funcionament cerebral (Kaliman i Aguilar, 2014). En aquest sentit, s'ha observat que el tipus de dieta pot promoure processos d'inflamació i oxidació i, per tant, esdevenir un factor de risc associat al deteriorament cognitiu, o bé, contràriament, pot actuar com a factor neuroprotector (Dauncey, 2009).

Diversos estudis demostren que les vitamines del grup B són reguladores importants per al correcte funcionament dels diferents neurotransmissors que permeten l'establiment de connexions sinàptiques entre cèl·lules nervioses (Kennedy, 2016). Per exemple, s'ha comprovat que la vitamina B6 és un element clau per a la síntesi de neurotransmissors fonamentals per al bon funcionament de processos com l'atenció i la consolidació de la memòria, com ara la serotonina, la noradrenalina, la dopamina i el GABA (Gómez-Pinilla, 2008). Per tant, les vitamines B afecten el metabolisme del sistema nerviós, el funcionament cerebral i la modulació de l'humor mitjançant canvis en la neuroquímica cerebral. De fet, una manca de vitamina B en l'alimentació s'ha associat a atròfia cerebral i dèficits cognitius relacionats amb l'envelliment (Mathers, 2013).

D'altra banda, diversos autors proposen que el consum d'àcids grassos polinsaturats (omega 3), presents especialment en el marisc, el peix blau i els fruits secs, és necessari per al desenvolupament i l'activitat del cervell durant la infància, l'adolescència i l'edat adulta (Karr *et al.*, 2011). D'aquesta manera, s'ha observat que protegeixen el cervell

de la mort neuronal, promouen i potencien processos de plasticitat en regions com l'hipocamp, modulen la transmissió colinèrgica, molt implicada en l'aprenentatge, i fins i tot s'ha vist que podrien ser un complement eficaç per a reforçar el rendiment cognitiu associat a trastorns com la malaltia d'Alzheimer, la depressió o el dèficit d'atenció i la hiperactivitat (Rathod *et al.*, 2016; Gómez-Pinilla, 2011).

Adicionalment, cal destacar la importància del consum d'antioxidants, com els polifenols, així com les vitamines C i E, presents en diverses fruites i verdures, substàncies que promouen processos de neurogènesi (creació de noves neurones) cerebral (Spencer, 2008).

Altres estudis també demostren les conseqüències negatives del consum d'aliments rics en greixos, els quals promouen processos neuroinflamatoris i s'associen a un deteriorament cognitiu (Treviño *et al.*, 2015), i que aliments psicoestimulants poden repercutir també, de forma negativa, en processos d'aprenentatge durant la infància i l'adolescència. Així, productes com la xocolata o bé les begudes ensucrades que contenen cafeïna tenen efectes negatius sobre el processament cognitiu i alhora poden convertir-se en un factor de vulnerabilitat potenciant els efectes reforçants d'altres substàncies addictives posteriorment (Temple, 2009).

Poder identificar els aliments que promouen el desenvolupament cerebral i l'aprenentatge, així com aquells que poden dificultar-lo, és una informació rellevant a l'hora de promoure una alimentació saludable a les escoles, tant en el disseny de menús escolars com en la transmissió d'aquesta informació als alumnes i a les famílies.

*b) Per què és important dormir i fer descansos cerebrals per a l'aprenentatge?*

El son és un estat fisiològic temporal d'inconsciència, en el qual s'atura l'activitat sensorial, la mobilitat i l'alerta, considerat una necessitat biològica per al descans i el restabliment de l'organisme (funcions físiques i psicològiques).

Es divideix en dos tipus de son, en primer lloc el son no REM, en el qual s'identifiquen quatre fases diferenciades de son de menys a més profund i reparador, i el son REM (*rapid eye movement*, en anglès) o paradoxal, un període de son en què el cervell es troba molt actiu i tenen lloc els somnis. Les fases més profundes del son tenen un

paper clau per a la renovació física d'òrgans i teixits, i la fase de son REM té un paper crític per a l'aprenentatge, ja que s'ha vist que és en aquesta fase del son quan es consolida la memòria (Hobson, 1994). Diversos estudis en models animals han demostrat que els models d'activitat de l'hipocamp durant el son REM són equiparables als d'una sessió d'aprenentatge en estat de vigília. Això vol dir que l'hipocamp està actiu, processant i elaborant l'aprenentatge enviat des del neocòrtex, cosa que permet la consolidació de la memòria a llarg termini durant aquesta fase del son (Lasley, 1997).

En aquest sentit, les últimes hores de son, quan s'acumula més son REM, són les més necessàries per a la integritat de l'aprenentatge, i això entra en contradicció amb les poques hores que, sovint, dormen tant els infants com els adolescents. Concretament, durant l'adolescència, el cicle del son està regulat, com en la resta de persones, per molts components químics, entre ells, les amines, els glucocorticoides i la secreció de melatonina, i s'ha observat que, en el cervell adolescent, aquests ritmes estan retardats, cosa que fa que el seu rellotge natural per a anar a dormir s'apropi a la mitjanit i l'hora de despertar-se cap a les 8 - 9 hores del matí (Carskadon *et al.*, 2004).

Aquesta fase retardada de son no es correspon amb l'horari dels instituts de secundària, la qual cosa provoca que la majoria d'alumnes arribin privats de son a les aules, en detriment del seu rendiment i el seu aprenentatge, i més quan, en la majoria d'instituts, se solen introduir les classes més complexes a primera hora perquè pensen que l'alumnat ve amb major energia. Per aquest motiu, alguns experts suggereixen endarrerir l'horari dels instituts, fent que les classes comencin a les 10 hores, per respectar el cicle de son d'aquests adolescents.

Un altre concepte a tenir present durant el transcurs de les activitats educatives és el fet de donar períodes en què es puguin produir descansos cerebrals. Quan el nostre cervell es troba en repòs, sense dur a terme cap activitat en concret, es produeix l'activació de vies llargues cerebrals molt rellevants per a l'associació d'idees, la creativitat, la consolidació de la memòria i la plasticitat. És per aquest motiu que es considera altament recomanable fer ús dels descansos cerebrals a través d'activitats lliures o activitats de consciència plena a l'aula entre les diferents pràctiques d'aprenentatge, les quals promouen un major benestar (Kong *et al.*, 2016).

c) *L'activitat física beneficia les capacitats cerebrals*

De la mateixa manera que l'exercici físic modela els músculs, el cor, els pulmons i els ossos, també enforteix les àrees cerebrals clau per a l'aprenentatge. Així, l'exercici físic regular promou la memòria, la flexibilitat i la velocitat de processament de la informació. Diversos estudis han demostrat que l'activitat física moderada permet oxigenar el cervell, però també aporta neurotropines per a millorar el creixement i l'establiment de connexions neuronals. S'ha comprovat que el moviment produeix una ràpida resposta d'adrenalina i noradrenalina, de manera que prepara el cervell per a respondre millor i més ràpidament als reptes que es presenten, millorant l'atenció i l'estat d'alerta. A més a més, provoca un augment en la producció de BDNF, un factor neurotròfic derivat del cervell, que permet una millor connectivitat neuronal gràcies al creixement de les dendrites de les neurones (Kinoshita, 1997), i així milloren els processos de plasticitat sinàptica subjacents a la consolidació de la memòria.

Per exemple, estudis recents amb infants de nou i deu anys (Chaddock *et al.*, 2011), han demostrat una relació positiva entre la forma física i el volum hipocampal, és a dir, els infants en una millor forma física presentaven un hipocamp lleugerament més gran, i una relació positiva entre aquesta mida una mica més gran i la memòria de tipus relacional (figura 4). Resultats similars es van observar en un programa d'activitat física extraescolar per a alumnes de set a nou anys (Hilman *et al.*, 2014), els quals mostraven una major activitat cerebral i una millor atenció en comparació amb el grup control.

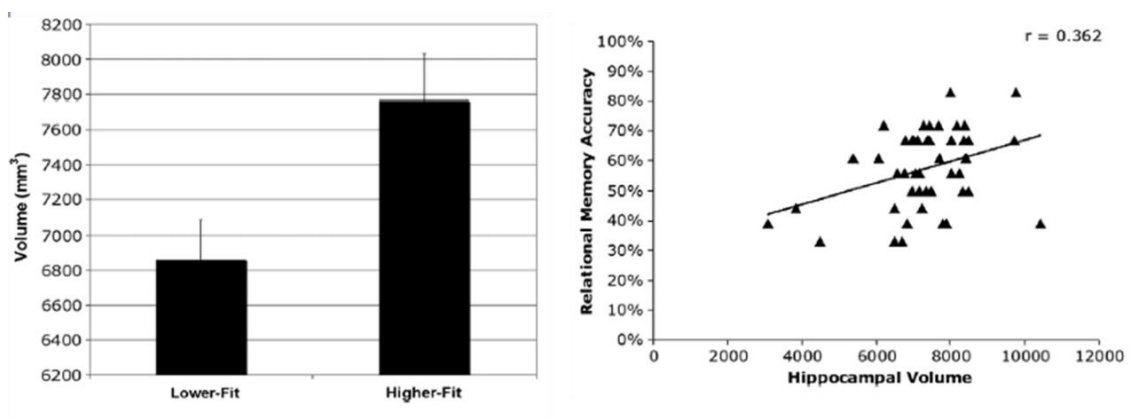
Tanmateix, l'activitat física també s'ha relacionat amb una reducció dels nivells d'estrès i una major capacitat d'autocontrol. Així, la pràctica d'activitat aeròbica en infants de vuit o nou anys va mostrar una major activació de regions de l'escorça prefrontal que anaven acompanyats d'una millora en tasques que implicaven autocontrol (Chaddock-Heyman *et al.*, 2013), així com una atenuació de paràmetres relacionats amb estrès en infants de sis i set anys (Mireau *et al.*, 2014).

D'altra banda, si bé el moviment té efectes beneficiosos per a les capacitats mentals, una manca de moviment i un excés de sedentarisme també es relacionen amb un pitjor processament de la informació, així com una menor capacitat d'atenció

sostinguda (Luque-Casado *et al.*, 2016). Així doncs, cal que ens qüestionem seriosament l'actual manera d'aprendre, en la qual els infants i els adolescents estan obligats a romandre asseguts en una cadira durant la major part de l'horari escolar i es dedica el mínim temps possible a les classes d'educació física. Aquests estudis amb infants i adolescents coincideixen amb els beneficis observats en la recerca amb models animals, així com en individus adults. Tenint l'evidència científica dels beneficis de l'activitat física en la plasticitat cerebral i la millora dels processos cognitius superiors, és important que introduïm l'exercici físic i el moviment a l'aula com un element clau del currículum escolar.

FIGURA 4

*A l'esquerra, relació entre forma física i volum hipocampal, i a la dreta, relació entre volum hipocampal i memòria relacional*



FONT: Chaddock *et al.*, 2011.

### Com intervenen les emocions en l'aprenentatge?

Els éssers humans no som únicament éssers racionals, sinó que som éssers primerament emocionals i després racionals, ja que existeixen més connexions neuronals que van de les estructures límbiques subcorticals, relacionades amb els estats emocionals, cap a l'escorça, implicada en el pensament racional, que no a la inversa. En aquest sentit, podem afirmar que no hi ha raó sense emoció, que qualsevol decisió que prenem, per més raonada que estigui, té un fort component emocional que pot ser més o menys conscient, així que un enfocament emocional en l'àmbit

educatiu és vertebral ja que les emocions determinaran com es donen els processos d'ensenyament-aprenentatge (Morgado, 2010).

Els avenços en neurociència demostren que el nostre cervell està preparat per a atendre i consolidar de manera més ràpida i eficient els continguts i les experiències que tenen lloc en situacions d'aprenentatge associades a vivències emocionals potents. Durant el processament i codificació d'un estímul amb una forta càrrega emocional per a l'individu, es dona de forma simultània una activació d'estructures del sistema límbic, especialment de l'amígdala, que afavoreixen l'alliberació de neurotransmissors activadors com la noradrenalina i l'adrenalina en regions fonamentals per a la consolidació de la memòria, com són l'hipocamp i l'escorça cerebral, cosa que provoca una potenciació emocional de la memòria (LaBar i Cabeza, 2006).

Com diu un dels autors de referència en neuroeducació, Francisco Mora (2013), s'aprèn allò que s'estima, allò que produeix una resposta emocional positiva en el moment de ser après, i en aquesta línia, estudis recents demostren l'activació d'estructures cerebrals implicades en l'aprenentatge i la memòria en contextos d'aprenentatge emocionalment positius (Erk *et al.*, 2005). En aquest sentit, un clima d'aula relaxat, de confiança, on els infants no se sentin qüestionats, ni jutjats, ni avaluats, i on se sentin respectats, reconeguts i estimats, afavorirà de forma clara els processos d'ensenyament-aprenentatge que hi puguin tenir lloc.

Amb tot, cal tenir present que, si els nivells de resposta emocional són excessivament elevats, ens podem trobar en situacions de sobreactivació o d'estrès emocional que dificultin o impedeixin l'aprenentatge. En aquest sentit, a l'hora de dissenyar la nostra pràctica pedagògica ens hem de qüestionar a partir de quin moment la nostra proposta d'aprenentatge pot suposar un repte per als infants, un desafiament, per tal de provocar així una resposta d'estrès positiva (estrès adaptatiu o eustrès) i una activació que provoca l'acció, i a partir de quin moment, si el repte sobrepassa les seves capacitats d'afrontament, es pot convertir en una amenaça (estrès no adaptatiu o distrès).

Aquí entren en joc, a més, les diferències individuals, de manera que el que per a un infant pot ser un repte estimulants, per a un altre pot ser una amenaça paralitzadora i insuperable. Això passa, sobretot, quan optem per propostes d'aula uniformadores on tots els infants han de fer el mateix, de la mateixa manera i se'ls avalua a tots igual; però si optem per propostes d'aula obertes i lliures que tinguin en compte diferents nivells de complexitat i dificultat, els mateixos alumnes podrien triar quin nivell de dificultat és el que més s'adiu a les seves capacitats i treballar cadascú de forma autònoma en funció de les seves possibilitats i necessitats educatives.

En general, l'estrès és una resposta innata d'activació fisiològica causada per la percepció de situacions aversives o amenaçadores, les quals preparen el nostre organisme per donar una resposta per a defensar-nos (per exemple, de lluita o de fugida) i sobreviure. En aquest sentit, les respostes d'estrès són evolutivament adaptatives ja que procuren per la nostra supervivència, sempre que siguin respostes puntuals i agudes. El problema s'esdevé quan les respostes d'estrès es donen de forma molt repetida, sostinguda o inclús crònica.

Quan aquesta resposta es cronifica en el temps, els nivells elevats de les substàncies associades a l'estrès tenen un efecte nociu i tòxic molt difús al nostre cervell i s'afecta tant el sistema nerviós central, com el sistema immune, l'endocrí i l'aparell cardiovascular (McEwen, 2003 i 2006). De forma més específica, aquesta resposta sostinguda en el temps provoca atrofia dendrítica i neurotoxicitat a l'hipocamp (estructura clau en l'aprenentatge i la memòria), afectacions en la connectivitat del còrtex prefrontal i hipertrofia de l'amígdala, cosa que provocarà una sensibilització a les respostes d'estrès i podrà donar lloc a trastorns de l'estat d'ànim, com l'ansietat o la depressió (Roosendaal *et al.*, 2009; Quervain *et al.*, 2009; Radley *et al.*, 2006; Arnsten, 2009; Magarin i McEwen, 1995).

Per tots aquests motius, és bàsic eliminar els entorns d'aprenentatge estressants i hostils que puguin estar impeding els processos d'aprenentatge i potenciar contextos d'aprenentatge emocionalment positius, relaxats i, en definitiva, motivadors.

La motivació és un procés multideterminat que dóna energia i dirigeix el comportament cap a un objectiu. La motivació determina l'elecció d'una conducta, l'inici d'aquesta i la persistència en la seva execució fins a arribar a les metes



proposades. La motivació pot ser autoregulada per factors interns, motivació endògena, com per exemple ho és la gana, la set, el sexe, la fatiga, la curiositat i la necessitat d'estimulació; o per determinants externs, motivació exògena, com són les condicions ambientals, els objectes físics, el reconeixement o el càstig social i els incentius (per exemple, els diners).

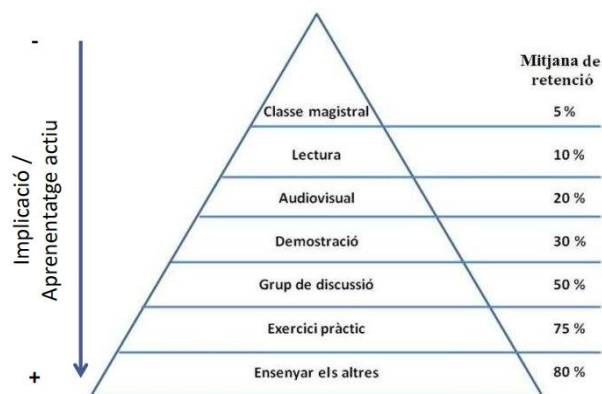
Tenint en compte la relació entre motivació i aprenentatge és evident que serà més fàcil aprendre aquells continguts que més interessin a l'alumnat. Un augment de la motivació tindrà com a conseqüència un augment de l'atenció, cosa que implicarà que l'individu romangui més temps davant d'aquella tasca i s'enforteixi així l'adquisició i el record dels continguts apresos (Singh *et al.*, 2002). Però, com podem aconseguir que allò que fem a classe interessi o motivi tots els infants igual? Sabem que cada infant és un món, amb uns interessos i motivacions que no han de coincidir amb els dels seus companys i companyes, així doncs, com podem intentar donar resposta a aquesta diversitat d'interessos per a garantir la motivació de tots i totes?

Moltes vegades la resposta passa, una vegada més, perquè no tots els infants hagin de fer el mateix, de la mateixa manera i en el mateix moment. Si plantejem una dinàmica d'aula més lliure, amb diferents opcions que puguin respondre a aquestes diferents motivacions i permetem que siguin els mateixos infants els que triïn què volen fer i com han de fer-ho, estarem una mica més a prop de donar resposta a aquestes necessitats més ajustades a les maneres d'aprendre de cada infant. No és una tasca fàcil, però, poder dissenyar pràctiques d'aula prou obertes i flexibles per a permetre aquesta versatilitat promou un augment de la motivació dels alumnes i per tant un major èxit en l'aprenentatge. A més a més, tenim la certesa que fer que tots els alumnes facin les mateixes activitats i de la mateixa manera no és garantia que tots els infants adquireixen els mateixos continguts d'aprenentatge. Un altre aspecte clau respecte de la relació entre motivació i aprenentatge és el traspàs del protagonisme del mestre o docent cap a l'alumne. La idea és que partim d'una tradició escolar en què el mestre sol tenir un paper protagonista a l'aula, el mestre és el que ensenya, el que parla, el que en sap, i l'alumnat o els infants només escolten i aprenen reproduint allò que diu el mestre d'una forma majoritàriament passiva, cosa que afavoreix distraccions i respostes motivacionals molt baixes.

Si en comptes de reproduir metodologies passives, apostem per metodologies i pràctiques d'aula que centren l'atenció en l'alumne, que el fan el protagonista principal de la situació d'aprenentatge i que permeten que l'alumne tingui un rol actiu i autònom en la cerca de coneixements, podrem garantir una resposta motivacional major i un aprenentatge més real, significatiu i durador (Park i Choi, 2014; Baepler i Walker, 2014). Un dels exemples més clars d'aquest canvi metodològic és la piràmide de l'aprenentatge atribuïda a Bales (1996) (figura 5). Tot i ser un model molt discutit, per la falta de base empírica, permet funcionar com il·lustració de la manera com un seguit de pràctiques d'aula poden ser ordenades en funció del grau d'implicació de l'alumnat, i a les quals els correspondria un determinat nivell de retenció o d'aprenentatge, com més activa sigui la metodologia i com més s'impliqui l'infant o l'alumne.

FIGURA 5

*Representació del tipus de metodologia d'aprenentatge (de major a menor implicació per part de l'alumne) i nivells d'aprenentatge*



FONT: Adaptat de Bales, 1996.

El que il·lustra aquesta piràmide és que el cervell aprèn molt més quan està actiu que quan està passiu (Sousa, 2014). En aquest sentit, en els darrers anys estan apareixent cada vegada més escoles que aposten per un projecte educatiu més centrat en l'infant i les seves necessitats, posant l'èmfasi en la no-directivitat, l'autoregulació i en les situacions d'aprenentatge de lliure elecció, en les quals els infants aprenen de forma autònoma, en funció dels propis interessos, i en interacció social amb els seus iguals.

Neurobiològicament parlant, totes les conductes motivades, ja sigui per garantir la supervivència, com per assolir els propis objectius, impliquen l'activació de les vies neurals del reforç, relacionades amb l'alliberació especialment de dopamina, cosa que provoca un estat de plaer i benestar en el nostre organisme per tal d'assegurar que es mantingui aquella acció en el temps, de manera que tot allò que ens agrada tendim a repetir-ho en el futur. En aquest sentit, un bon aprenentatge activa aquest substrat neural del reforç. Qui no ha experimentat mai el goig i la satisfacció de comprendre algun concepte després de molt d'esforç o d'aprendre certa habilitat que d'inici costava? L'aprenentatge, ben plantejat, és un procés satisfactori per ell mateix, que es retroalimenta a si mateix, i el fet d'aprendre de forma satisfactòria implica l'activació d'aquest circuit neural del plaer que hauria de garantir que aquells individus que hagin experimentat el goig d'aprendre vulguin seguir-ho fent la resta de la seva vida (Wagensberg, 2008). Així, la curiositat, l'interès, el gaudi i la motivació són les millors bases per a l'aprenentatge.

Un altre dels elements que conformen el disseny natural del cervell humà és el seu component social. Els humans som éssers socials per naturalesa, hem evolucionat i hem sobreviscut al llarg dels anys gràcies a la nostra capacitat de comunicar-nos i cooperar. En aquest sentit, és fàcil imaginar que, si estem dissenyats per a viure i convida en societat per a poder sobreviure, també ho estiguem per a aprendre en grup i no de forma individual. Així és com ho demostren diversos estudis que observen que quan ens trobem en situacions socials, per exemple de treball en grup, es produeix un augment en l'alliberació de certes molècules neuromoduladores, com l'oxitocina o les endorfines, que podrien estar influenciant i afavorint els processos d'aprenentatge i de consolidació de la memòria (Guastella *et al.*, 2008; Meyer-Lindenberg *et al.*, 2011; Sylwester, 1994; Wirth, 2015).

Una de les capacitats innates i automàtiques que ens situen al capdavant de les espècies col·laboradores i constructores de societats és l'empatia. L'empatia és la capacitat per a interpretar, experimentar i representar mentalment els estats emocionals dels altres, fer atribucions de les seves intencions, predir la seva conducta i adaptar la nostra pròpia conducta a les atribucions i prediccions que hem fet. Una de les bases neurobiològiques de l'empatia són les neurones mirall, descobertes per

Rizzolatti *et al.* (1996), les quals s'activen quan veiem que algú fa una acció intencionada i dirigida cap a un objectiu, de la mateixa manera que s'activen quan l'acció la fa un mateix. Així, participen en la comprensió i l'atribució d'intenció dels altres (procés conegut com *teoria de la ment*, Frith i Frith (2006)).

És per això que cal considerar la comunicació no verbal a l'aula, tant l'ús d'aquesta per part del docent com dels alumnes i així poder influenciar en les relacions que s'estableixen. El cervell humà jutja l'expressió facial, el llenguatge corporal i el to de veu dels altres ràpidament i inconscientment, i aquesta informació influeix en el processament de la informació. S'ha vist que la seguretat que transmet el nostre interlocutor amb allò que diu, i el seu entusiasme per a ensenyar influeixen de forma directa i proporcional la motivació i el rendiment de l'alumnat (Patrick *et al.*, 2000).

En les últimes dècades s'ha parlat de la importància del treball cooperatiu (Rué, 1991; Pujolàs, 2003), però perquè realment donéssim resposta a aquesta manera natural d'aprendre, el treball grupal o cooperatiu hauria de formar part de la dinàmica d'aula quotidiana, i no només dur-lo a terme de forma puntual per a fer algunes tasques o projectes. Si el disseny del nostre cervell ens diu que s'aprèn més eficientment en interacció amb els altres, hem de fer una aposta forta i decidida per a deixar de banda l'educació individualista, on cada alumne s'asseu davant del seu llibre i treballa de forma individual, i dissenyar pràctiques d'aula on els alumnes aprenguin interactuant entre ells d'una forma natural i espontània.

### **Les funcions executives: el director d'orquestra del cervell**

Existeixen moltes definicions diferents sobre les funcions executives i sovint han acabat transformant-se en un constructe confús en el qual s'inclouen diverses funcions cognitives superiors i s'explica mitjançant múltiples teories. Una de les primeres definicions fou la de Lezak (1995), qui les va definir com les capacitats mentals essencials per a dur a terme una conducta de forma eficaç, creativa i acceptada socialment. Altres autors, com Mesulam (2002), les han definit com el conjunt d'habilitats implicades en la generació, supervisió, regulació, execució i reajustament de les conductes adequades per a aconseguir un objectiu.

Tot i que podríem trobar altres definicions més o menys similars, podem entendre les funcions executives com un conjunt de mecanismes de control cognitiu complex que faciliten les conductes dirigides a un objectiu, i que es posen en marxa o són necessàries especialment davant de situacions noves o poc apreses per a l'individu. Tenen en compte processos com la planificació, l'anticipació, la flexibilitat, l'autocorrecció, l'autoregulació emocional, l'atenció dirigida i focalitzada o la memòria de treball (Diamond, 2013). Una analogia adequada seria considerar-les com un director d'orquestra cerebral que coordina els diferents processos cognitius, els quals ens diferencien com a éssers humans.

La gran majoria d'estudis mencionen tres mecanismes interrelacionats com a components bàsics de les funcions executives, els quals permeten desenvolupar altres funcions complexes, com la planificació, la presa de decisions i el raonament. Totes elles resulten imprescindibles per a l'èxit escolar i es poden promoure mitjançant una pràctica pedagògica adequada durant tot el cicle vital (Best *et al.*, 2011).

En primer lloc, el control inhibitori o bé la inhibició conductual implica poder controlar o demorar de manera conscient la tendència a generar respostes impulsives i automatitzades, que s'originen en altres estructures cerebrals, per tal de dur a terme comportaments més adaptatius. Així, el control inhibitori ens fa possible escollir com volem respondre i modificar el nostre comportament en comptes de comportar-nos com a éssers totalment impulsius. És un procés crític per a viure en una societat civilitzada ja que permet eliminar aquelles conductes no acceptades socialment (control social), i està molt relacionada amb l'autocontrol i l'autoregulació emocional, és a dir, la capacitat de gestionar, expressar, identificar i modificar convenientment els propis estats emocionals. A més, un control inhibitori adequat es relaciona de manera directa amb l'atenció executiva, és a dir, l'habilitat per a mantenir el processament de la informació de manera continuada en el temps (Norman i Shallice, 1986).

En segon lloc, la memòria de treball és la capacitat per a emmagatzemar i manipular informació durant un curt espai de temps, de manera que permet tenir activada la informació necessària per a guiar la pròpia conducta i per a dur a terme activitats cognitives complexes, com la comprensió i la resolució de problemes. Alhora, permet recuperar informació de la memòria a llarg termini per poder elaborar i comprendre la

informació actual. La memòria de treball és un procés fonamental per a l'aprenentatge, així com perquè els alumnes puguin planificar-se, organitzar-se i anticipar els esdeveniments futurs.

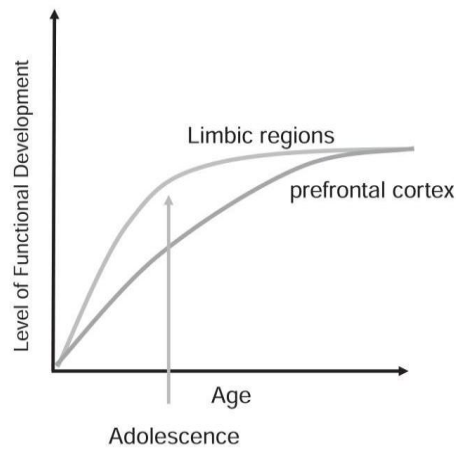
Finalment, la flexibilitat cognitiva es refereix a la capacitat per a canviar un esquema d'acció o de pensament en funció de si els resultats indiquen que és una estratègia eficient o no. Aquesta capacitat requereix inhibir l'anterior patró de respostes, sovint automatitzat, i generar i seleccionar noves estratègies més eficaces, i està molt relacionada amb la creativitat i el pensament divergent (De Bono, 1994).

Un cop analitzades, aquestes funcions més bàsiques, es fa evident que els processos relacionats amb les funcions executives són essencials per a l'èxit escolar: la capacitat de planificar la feina i l'estudi, d'autoobservar la pròpia conducta i corregir-la si no és efectiva, la capacitat de mantenir l'atenció de forma sostinguda, eliminant estímuls distractors, i elaborar informació gràcies a la memòria de treball, d'inhibir aquelles conductes impulsives que no són acceptades socialment o que no són eficaces per a resoldre una tasca i ser capaços de pensar de forma diferent i creativa quan una estratègia no ha funcionat, aprenent a tolerar la frustració o bé ser capaços d'automotivar-se.

El substrat neurobiològic de les funcions executives s'ha vinculat amb les xarxes neurals de l'escorça prefrontal, especialment a partir dels estudis realitzats en pacients amb dany cerebral prefrontal. El lòbul frontal és el lòbul més gran del cervell humà, l'àrea millor connectada i també la part del cervell més moderna filogenèticament parlant, així com també la que més triga a madurar ontogenèticament. Així, tenint en compte que l'escorça prefrontal és una àrea de molt lenta maduració, com que algunes zones no acaben de mielinitzar-se fins als vint-i-vuit o trenta anys (Sowell *et al.*, 2003), podríem entendre i intentar explicar, com a mínim en part, el comportament típic d'alguns adolescents i les seves possibles dificultats socials i acadèmiques a l'hora de planificar la feina, mantenir l'atenció, anticipar les conseqüències, autocontrolar les emocions o bé mostrar una major conducta impulsiva.

FIGURA 6

*Esquema del diferent ritme maduratiu entre les regions límbiques i el còrtex prefrontal*



FONT: Casey *et al.*, 2008.

D'altra banda, durant aquest període maduratiu, estructures cerebrals implicades en les emocions, com les regions del sistema límbic i del sistema de recompensa cerebral, es troben més actives, especialment en presència dels companys, de manera que són més sensibles a informació afectiva i emocional que els adults (figura 6). Aquesta incongruència madurativa entre ambdues parts del cervell adolescent fa que l'escorça prefrontal, a través de les funcions executives, no pugui controlar un sistema límbic, és a dir, uns estats emocionals molt actius i en interacció amb una plena eferescència hormonal.

Si bé hi ha estudis que demostren com algunes tasques específiques poden afavorir alguna de les funcions executives, cal tenir present que l'escorça prefrontal és la regió més vulnerable davant de situacions que tenen com a conseqüències estats d'estrès, tristesa o bé problemes de salut. Així, l'habilitat de prendre decisions, raonar, autoregular-se i adaptar-se als canvis de manera flexible millora quan una persona es troba relaxada, socialment acceptada, emocionalment estable, amb confiança i amb bona salut. És per aquest motiu que, en comptes d'entrenar cada una de les funcions executives de manera aïllada, les aproximacions que promouen el seu desenvolupament amb metodologies més indirectes i holístiques semblen tenir més èxit i utilitat en l'àmbit educatiu. Així doncs, propostes pedagògiques en les quals l'aprenentatge es trobi vinculat al joc, al moviment, a les activitats lliures i creatives i a

la cooperació permetran de manera indirecta un desenvolupament de les funcions executives i un major desenvolupament cognitiu, social i afectiu de la persona (Diamond i Ling, 2016).

### **L'espai d'aprenentatge, el tercer educador**

L'impacte dels espais d'aprenentatge sobre els sentiments, els pensaments i el comportament dels infants és un tema complex i que actualment s'està investigant tant en l'àmbit de la psicologia com en el de la neurociència i l'arquitectura (Papale *et al.*, 2016).

L'avenç en neurociència des de finals del segle xx ha aportat teories i tècniques que permeten aplicar al disseny arquitectònic els coneixements sobre el funcionament del cervell, amb la finalitat de promoure un major benestar en les persones que hi habiten. Un dels camps de recerca en neuroarquitectura que es troba actualment en auge és el de l'educació. Poder construir i dissenyar espais educatius, escoles i universitats, que puguin fomentar els processos d'aprenentatge és un repte de la societat actual. Aquest interès està sustentat pel nou paradigma educatiu que està provocant una profunda revisió dels factors fonamentals que intervenen en els processos d'ensenyament-aprenentatge.

Tenint en compte la plasticitat cerebral, i per tant el seguit de modificacions en la funció i la morfologia de les connexions entre neurones a partir de l'experiència (Sousa, 2014), podem afirmar que l'entorn provoca canvis en el sistema nerviós, els quals s'expressaran en canvis en el comportament i en la cognició. Aquestes modificacions en la conducta i la ment també provocaran que l'individu es relacioni de manera diferent amb el seu entorn, i per tant canviant-lo de nou.

És per aquest motiu que l'arquitectura i la creació d'espais formen part d'un dels elements de l'entorn que influeixen en el nostre cervell i, per tant, en la forma com pensem, sentim i ens relacionem dins d'aquell entorn i, també, com s'hi esdevenen els processos d'aprenentatge (Mora, 2013). En aquest sentit, el disseny d'una arquitectura, d'uns espais i d'uns materials que vagin en sintonia amb els codis de funcionament del cervell i que els respectin, serà un element fonamental per a



promoure els processos d'atenció, aprenentatge i memòria dels infants en els espais educatius. En l'última dècada s'han dut a terme diferents estudis que han comprovat que tant les característiques ambientals del lloc d'aprenentatge com la seva organització influeixen directament en com el cervell processa els estímuls i regula els aprenentatges, així com les accions i els comportaments dels alumnes (Cheryan *et al.*, 2014).

En primer lloc, un dels elements que han rebut un fort interès és el de promoure unes característiques físiques i unes condicions ambientals que promoguin el màxim de confort. Per exemple, s'ha comprovat que els alumnes exposats a llum natural tenen una millor execució en tasques acadèmiques que els que no en tenen (Edwards i Torcellini, 2002). També és important que els espais educatius tinguin una temperatura i una ventilació adequades per tal de garantir un millor confort i estalvi energètic i assegurar l'equilibri homeostàtic que requereix el nostre organisme per funcionar de manera òptima. De fet les altes temperatures i una manca de ventilació tenen com a conseqüència un dèficit en els processos atencionals, especialment a causa d'una disminució de l'*arousal* dels alumnes, el qual es relaciona amb un pitjor rendiment dels estudiants (Haverinen-Shaughnessy i Shaughnessy, 2015).

D'altra banda, estudis recents demostren la importància de reduir l'excés d'estimulació sensorial. Per exemple, un excés d'estímuls visuals, com unes parets plenes de decoració i de colorines, típiques de moltes aules, estarà dificultant l'atenció sostinguda dels aprenents i l'execució de les activitats proposades donada la facilitat de distracció que suposen tots aquests estímuls irrellevants que l'infant ha d'inhibir per a poder concentrar-se en allò que està fent (Fisher *et al.*, 2014). Resultats similars s'han observat en estudis que investiguen els efectes del soroll extern de les aules (Klatte *et al.*, 2013), de manera que cal promoure un bon aïllament acústic que eviti l'entrada de soroll extern, així com minimitzar el soroll propi de la mateixa aula.

Adicionalment, el color dels espais també és un altre element significatiu que pot afectar directament les emocions i el comportament dels individus, així com pot modular l'execució de les activitats que s'hi duen a terme. Per exemple, espais amb colors freds (com blau i verd) es relacionen amb un major benestar i una major

sensació subjectiva d'atenció que espais amb colors calents (com vermell i taronja) (Gaines i Curry, 2011).

D'altra banda, s'ha comprovat que la contemplació d'entorns naturals (jardins, camps o boscos) afavoreix la concentració. Sembla que el fet de romandre en espais naturals requereix d'un menor esforç cognitiu i per aquest motiu podria afavorir tasques cognitives complexes (Berman *et al.*, 2008). Així doncs, una estratègia interessant a implementar seria naturalitzar els espais exteriors de les escoles i poder utilitzar-los com a espais útils d'aprenentatge. Així es pot confirmar a partir de l'estudi de Tanner (2009), que els infants que des de les finestres de l'aula observaven sense obstacles més de quinze metres d'elements naturals, mostraven un major rendiment que aquells infants privats d'aquestes vistes o bé que només observaven carrers o altres escenaris urbans.

Finalment, si l'espai és flexible, transformable i vinculat al procés educatiu, permetrà el moviment dels alumnes, facilitarà el joc i promourà la interacció social i la col·laboració. Elements íntimament relacionats amb els processos d'aprenentatge, així com amb la facilitació de la consolidació de la memòria i la plasticitat neural que la sustenta. És per aquest motiu que és aconsellable no tenir un excés de mobiliari i utilitzar mobles modulars, versàtils i amb rodes, que agilitzin la creació de nous espais en funció dels objectius d'aprenentatge (Brugarolas, 2016).

### **El Lab 0\_6, un exemple de pràctica neuroeducativa**

Com s'ha comentat anteriorment, un dels àmbits pràctics en què la neuroeducació es comença a obrir camí és en la creació d'espais d'aprenentatge que respectin la forma natural d'aprendre dels infants i dels seus cervells.

En aquest sentit, es presenta com a exemple d'anàlisi el Lab 0\_6, un espai de descoberta, recerca i documentació per a l'educació científica a les primeres edats, inaugurat el passat mes de gener de 2016 i vinculat als estudis en educació infantil de la Facultat de Ciències Socials de Manresa (UVic-UCC), com un possible espai neuroeducatiu.

El Lab 0\_6 és un espai d'aprenentatge que pretén promoure el desenvolupament de les capacitats, les habilitats i els coneixements dels infants al voltant de l'àmbit de les ciències i el coneixement del medi, a partir de la presentació de diverses propostes d'experimentació amb les quals els infants poden actuar lliurement (figura 7). En considerar-se un espai de ciència, és un espai configurat amb material provinent majoritàriament del món natural i també amb instruments científics, disposat per àmbits temàtics de manera suggeridora, de lliure accés per als nens i nenes i amb una intervenció acurada i no directiva per part de l'adult (Lemkow, 2016).

FIGURA 7

*Imatge del Lab 0\_6*

FONT: Elaboració pròpia.

En finalitzar la visita, es fa una conversa de cloenda on els infants comparteixen descobriments o curiositats que han viscut al Lab 0\_6, i es mira que s'emportin algun misteri que vulguin seguir investigant a l'escola.

Per tot el que s'ha exposat fins ara, proposem que el Lab 0\_6 pugui ser considerat un bon exemple d'espai neuroeducatiu, ja que respecta alguns trets fonamentals que faciliten els processos naturals d'aprenentatge com:

*a) La motivació intrínseca*

Gràcies al context de lliure elecció que permet a l'infant, de forma autònoma i d'acord amb la seva pròpia iniciativa, triar allò que més li atrau o encuroseix, cosa que garanteix uns nivells d'atenció i concentració òptims perquè s'esdevingui l'aprenentatge real. Tenint en compte que des de la recerca neuroeducativa es descriu que per a aprendre és més important la curiositat, la motivació i la descoberta de respostes que donin sentit a la realitat que no la mera transmissió de coneixements (Dewey, 2004; Harlen, 2010). La curiositat és un procés inherent al fer de tots els infants, i és per aquest motiu que qualsevol espai ha de procurar respectar aquestes característiques innates i mirar que no desapareguin a causa d'una pràctica pedagògica repetitiva i descontextualitzada.

*b) L'aprenentatge entre iguals*

L'accés lliure a les diverses propostes, sense seqüencialitat ni ritmes col·lectius imposats facilita la interacció natural entre iguals, la comunicació i l'intercanvi d'idees. A més, en finalitzar la sessió es realitza una conversa de cloenda en què els infants comparteixen en grup allò que més els ha interessat o encuriolit.

Aquesta dinàmica pedagògica dona resposta al disseny eminentment social del cervell humà i a la seva predisposició a aprendre més i millor en situacions grupals que individuals. D'aquesta manera, es permeten processos de cooperació i col·laboració que faciliten i afavoreixen l'aprenentatge en interacció social gràcies als processos d'ajuda, de guiatge i de bastida que apunten Vigotski i Bruner (Wertsch, 1988; Wood *et al.*, 1976).

*c) L'aprenentatge actiu*

El context de lliure elecció i el format de les propostes d'experimentació afavoreixen que sigui l'infant el vertader protagonista de la situació d'ensenyament-aprenentatge i que sigui ell el que hagi de provar i pensar de forma autònoma i intencionada a fi de resoldre el repte o comprendre el fenomen natural que es presenta, i es doni resposta així a l'aprenentatge actiu que necessita el nostre cervell (Sousa, 2014).

D'aquesta manera, es procura que l'adult tingui una intervenció molt acurada, respectuosa i poc directiva. En cap moment es diu a l'infant què ha de fer o com ha de

fer-ho per evitar condicionar les seves representacions mentals. En canvi, es procura mantenir la seva curiositat i que vulguin seguir fent-se preguntes, plantejant-los problemes o contradiccions. Tal com diu Weissmann (2014), el mestre ha de saber valorar la conducta espontània dels infants i aprofitar-la per ajudar-los a enriquir-se, ampliar, profunditzar i diversificar els seus coneixements al mateix temps que els infants gaudeixen en reconèixer les seves capacitats per a descobrir i crear.

*d) Context emocionalment positiu*

Una dinàmica d'aula lliure d'estrès, on els infants poden anar a la proposta d'experimentació que volen, amb qui volen i l'estona que volen afavoreix els processos naturals d'aprenentatge que no atenen presses ni horaris (Duckworth, 1987).

D'altra banda, el fet de dissenyar les propostes d'experimentació en format de reptes en què els infants, de forma intuïtiva i natural, posen en marxa processos cognitius per a mirar de resoldre'ls, amb materials atractius i de qualitat, garanteixen una resposta emocional positiva i mostren la satisfacció amb les seves verbalitzacions i expressions facials. A més, el fet que l'educador no imposi als infants el que han de fer i que no els avaluï, crea una dinàmica i un ambient relaxats, que afavoreix que els infants visquin les propostes com a reptes o jocs i no com a amenaces.

*e) Espai que promou l'ús de les funcions executives*

Les propostes d'experimentació que proposa el Lab 0\_6 promouen l'ús de les funcions executives dels infants ja que han de supervisar l'execució de conductes orientades a un objectiu o meta en una situació nova per a ells i que requereixen prescindir d'accions automatitzades i posar en marxa nous plans i rutes d'acció intencionades (Lezak, 1995; Mesulam, 2002).

En aquest sentit, s'han recollit evidències de funcions executives quan els infants verbalitzen o fan certs gests, com ara quan anticipen o planifiquen el que han de fer per a resoldre el repte, quan s'autoregulen i s'autocorregixen, quan han de flexibilitzar i reorientar les seves accions quan l'estratègia que fan servir no els

funciona o quan fan ús de la memòria de treball en mantenir activa la informació d'accions precedents i del que dialoguen amb els companys i companyes.

Promoure l'ús i el desenvolupament de les funcions executives en les primeres edats afavoreix el desenvolupament de les funcions cognitives superiors en edats posteriors, i això s'ha vist relacionat amb l'èxit acadèmic i la capacitat d'autoaprenentatge (Blair i Diamond, 2008; Blair i Razza, 2007; Sluis *et al.*, 2007).

#### *f) El disseny de l'espai*

Les característiques ambientals del Lab 0\_6 garanteixen les condicions de confort òptimes perquè l'organisme estigui equilibrat. És un disseny afavoridor de la concentració, sense propostes que comportin sorolls disruptius, disposades de manera que s'afavoreixi el moviment tranquil dels infants, i es demana als adults acompanyants que no facin ús dels telèfons mòbils durant la visita, amb tota una paret de finestres que permeten gaudir de llum natural, sense un excés de decoració i amb un mobiliari discret que ressalta els materials que es presenten. A més, les propostes d'experimentació estan ben delimitades amb armaris, taules o catifes i separades entre elles, cosa que evita interferències i invasions i facilita una major atenció i concentració.

És, a més, un espai versàtil, flexible, ja que la majoria de les propostes són lleugeres i es poden posar, treure o canviar amb facilitat, i aquelles que són pesades porten rodes també per poder-les moure sempre que calgui. Aquesta versatilitat permet adaptar l'espai a les necessitats educatives, sobretot quan vénen els infants més petits. Tanmateix, el mobiliari i els materials són estètics i de qualitat. Els espais d'aprenentatge han de ser agradables, estètics, de la mateixa manera que les persones adultes apreciem i valorem tot allò que es presenta de manera cuidada i que és de qualitat, també hem de procurar-ho en els espais educatius per tal que l'infant pugui estar-hi confortablement.

## Bibliografia

- Ackerman, S. (1992). *Discovering the Brain*. Washington: National Academies Press.
- Arnsten, A. F. (2009). Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(6), 410-422.
- Baepler, P., i Walker, J. D. (2014). Active Learning Classrooms and Educational Alliances: Changing Relationships to Improve Learning. *New Directions for Teaching and Learning*, (137), 27-40.
- Bales, E. (1996). Corporate Universities vs Traditional Universities: Friends or Foes? Third Annual EDINEB (Educational Innovations in Economics and Business) International Conference, Orlando, Florida, USA. Beckett, C., Maughan, B., Rutter, M., Castle, J., Colvert, E., Groothues, C., Kreppner, J., Stevens, S., O'Connor, T. G., i Sonuga-Barke, E. J. (2006). Do the effects of early severe deprivation on cognition persist into early adolescence? Findings from the English and Romanian adoptees study. *Child Development*, 77(3), 696-711.
- Berman, M. G., Jonides, J., i Kaplan, S. (2008). The cognitive benefits of interacting with nature. *Psychological Science*, 19(12), 1207-1212.
- Best, J. R., Miller, P. H., i Naglieri, J. A. (2011). Relations between Executive Function and Academic Achievement from Ages 5 to 17 in a Large, Representative National Sample. *Learning and Individual Differences*, 21(4), 327-336.
- Blair, C., i Diamond, A. (2008). Biological processes in prevention and intervention: The promotion of self-regulation as a means of preventing school failure. *Development and Psychopathology*, 20, 899-911.
- Blair, C., i Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, 78, 647-663.
- Blakemore, S. J., i Frith, U. (2007). *Cómo aprende el cerebro: Las claves para la educación*. Barcelona: Ariel.
- Brugarolas, I. (2016). Espais neuroeducatius. *Guix d'Infantil*, 86, 23-24.

- Carballo, A. (2016). Neuroeducació: De la neurociència a l'aula. *Guix d'Infantil*, 86, 11-14.
- Carlson M., i Earls F. (1997). Psychological and neuroendocrinological sequelae of early social deprivation in institutionalized children in Romania. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 807, 419-428.
- Carskadon, M. A., Acebo, C., i Jenni, O. G. (2004). Regulation of adolescent sleep: implications for behavior. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1021, 276-291.
- Casey, B. J., Jones, R. M., i Hare, T. A. (2008). The adolescent brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124, 111-126.
- Chaddock, L., Hillman, C. H., Buck, S. M., i Cohen, N. J. (2011). Aerobic fitness and executive control of relational memory in preadolescent children. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(2), 344-349.
- Chaddock-Heyman, L., Erickson, K. I., Voss, M. W., Knecht, A. M., Pontifex, M. B., Castelli, D. M., i Kramer, A. F. (2013). The effects of physical activity on functional MRI activation associated with cognitive control in children: A randomized controlled intervention. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 72.
- Cheryan, S., Ziegler, S. A., Plaut, V. C., i Meltzoff, A. N. (2014). Designing classrooms to maximize student achievement. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 1(1), 4-12.
- Corel, J. L. (1975). *The postnatal development of the human cerebral cortex*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Dauncey, M. J. (2009). New insights into nutrition and cognitive neuroscience. *Proceedings of the Nutrition Society*, 68(4), 408-415.
- De Bono, E. (1994). Creativity and quality. *Quality Management in Health Care*, 2(3), 1-4.
- Dewey, J. (2004). *Democracia y educación*. Madrid: Morata.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168.
- Diamond, A., i Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those



- that, despite much hype, do not. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 18, 34-48.
- Duckworth, E. (1987). *Cómo tener ideas maravillosas: Y otros ensayos sobre cómo enseñar y aprender*. Madrid: Visor: Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia.
- Edwards, L., i Torcellini, P. (2002). *A literature review of the effects of natural light on building occupants*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
- Erk, S., Martin, S., i Walter, H. (2005). Emotional context during encoding of neutral items modulates brain activation not only during encoding but also during recognition. *Neuroimage*, 26(3), 829-838.
- Fisher, A. V., Godwin, K. E., i Seltman, H. (2014). Visual environment, attention allocation, and learning in young children: when too much of a good thing may be bad. *Psychological Science*, 25(7), 1362-1370.
- Friedrich, G., i Preiss, G. (2003). Neurodidaktik: Bausteine für eine Brückenbildung zwischen Hirnforschung und Didaktik. *Pädagogische Rundschau*, 57, 181-199.
- Frith, C. D., i Frith, U. (2006). The neural basis of mentalizing. *Neuron*, 50, 531-534.
- Gaines, K. S., i Curry, Z. D. (2011). The inclusive classroom: The effects of color on learning and behavior. *Journal of Family and Consumer Sciences Education*, 29(1), 46-57.
- Gómez-Pinilla F. (2008). Brain foods: The effects of nutrients on brain function. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(7), 568-578.
- (2011). Collaborative effects of diet and exercise on cognitive enhancement. *Nutrition and Health*, 20(3-4), 165-169.
- Gould, S. J. (2010). *Desde Darwin: Reflexiones sobre historia natural*. Barcelona: Crítica.
- Guastella, A. J., Mitchell, P. B., i Mathews, F. (2008). Oxytocin enhances the encoding of positive social memories in humans. *Biological Psychiatry*, 64(3), 256-258.
- Hanson, J. L., Chung, M. K., Avants, B. B., Rudolph, K. D., Shirtcliff, E. A., Gee, J. C., Davidson, R. J., i Pollak, S. D. (2012). Structural variations in prefrontal cortex

mediate the relationship between early childhood stress and spatial working memory. *The Journal of Neuroscience*, 32, 7917-7925.

Harlen, W. (2010). *Principles and big ideas of science education*. Gosport: Ashford Colour Press.

Haverinen-Shaughnessy, U., i Shaughnessy, R. J. (2015). Effects of Classroom Ventilation Rate and Temperature on Students' Test Scores. *Public Library of Science*, 10(8), e0136165.

Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Castelli, D. M., Khan, N. A., Raine, L. B., Scudder, M. R., i Kamijo, K. (2014). Effects of the FITKids randomized controlled trial on executive control and brain function. *Pediatrics*, 134(4), 1063-1071.

Hobson, J. A. (1994). *Chemistry of Conscious States*. Boston: Little, Brown and Co.

Howard-Jones, P. A. (2014). Neuroscience and education: myths and messages. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(12), 817-824.

Jensen, E. (2010). *Cerebro y aprendizaje: Competencias e implicacions educatives*. Madrid: Narcea.

Kaliman, P., i Aguilar, M. (2014). *Cocina para tu mente*. Barcelona, editorial Blume.

Karr, J. E., Alexander, J. E., i Winningham, R. G. (2011). Omega-3 polyunsaturated fatty acids and cognition throughout the lifespan: A review. *Nutritional Neuroscience*, 14(5), 216-225.

Kennedy, D. O. (2016). B vitamins and the brain: Mechanisms, dose and efficacy - a review. *Nutrients*, 8(2), 68.

Kinoshita, H. (1997). Run for Your Brain's Life. *Brain Work*, 7, 1 8.

Klatte, M., Bergstroem, K., i Lachmann, T. (2013). Does noise affect learning? A short review on noise effects on cognitive performance in children. *Frontiers in Psychology*, 4, 1-6.

Kong, F., Wang, X., Song, Y., i Liu, J. (2016). Brain regions involved in dispositional mindfulness during resting state and their relation with well-being. *Social Neuroscience*, 11(4), 331-343.

- LaBar, K. S., i Cabeza, R. (2006). Cognitive neuroscience of emotional memory. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(1), 54-64.
- Lasley, E. (1997). How the Brain Learns and Remembers. *Brain Work*, 7, 1-9.
- Lemkow, G. (2016). Lab 0\_6: espai de ciència, espai neuroeducatiu. *Guix d'Infantil*, 86, 19-22.
- Lezak, M. (1995). *Neuropsychological assessment* (3a ed.). New York: Oxford University Press.
- Luque-Casado, A., Perakakis, P., Ciria, L. F., Sanabria, D., Grier, R. A., Steinmayr, R., i Spencer, W. A. (2016). Transient autonomic responses during sustained attention in high and low fit young adults. *Scientific Reports*, 6, 27556.
- Magarin, A. M., i McEwen, B. S. (1995). Stress-induced atrophy of apical dendrites of hippocampal CA3c neurons: Involvement of glucocorticoid secretion and excitatory amino acid receptors. *Neuroscience*, 69(1), 89-98.
- Manrique, T., Molero, A., Cándido, A., i Gallo, M. (2005). Early learning failure impairs adult learning in rats. *Developmental Psychobiology*, 46(4), 340-349.
- Mathers, J. C. (2013). Nutrition and ageing: Knowledge, gaps and research priorities. *Proceedings of the Nutrition Society*, 72(2), 246-250.
- McEwen, B. S. (2003). Mood disorders and allostatic load. *Biological Psychiatry*, 54(3), 200-207.
- (2006). Protective and damaging effects of stress mediators: Central role of the brain. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 8(4), 367.
- Mesulam, M. M. (2002). The human frontal lobes: Transcending the default mode through contingent encoding. Dins D. Stuss, i R. Knight (eds.), *Principles of frontal lobe function* (p. 8-30). Nova York: Oxford University Press.
- Meyer-Lindenberg, A., Domes, G., Kirsch, P., i Heinrichs, M. (2011). Oxytocin and vasopressin in the human brain: social neuropeptides for translational medicine. *Nature Reviews Neuroscience*, 12, 524-538.

- Mierau, A., Hülsdünker, T., Mierau, J., Hense, A., Hense, J., i Strüder, H. K. (2014). Acute exercise induces cortical inhibition and reduces arousal in response to visual stimulation in young children. *International Journal of Developmental Neuroscience: The Official Journal of the International Society for Developmental Neuroscience*, 34, 1-8.
- Mora, F. (2013). *Neuroeducación: Solo se puede aprender aquello que se ama*. Madrid: Alianza.
- Morgado, I. (2010). *Emociones e inteligencia social: Las claves para una alianza entre los sentimientos y la razón*. Barcelona: Ariel.
- (2014). *Aprender, recordar y olvidar: Claves cerebrales de la memoria y la educación*. Barcelona: Ariel.
- Moser, M. B. (1999). Making more synapses: A way to store information? *Cellular and Molecular Life Sciences*, 55, 593-600.
- Norman, D., Shallice, T. (1986). Attention to action and automatic control of behavior. Dins R. J. Davidson, G. E. Schwartz, i D. Shapiro (eds.), *Consciousness and Self-regulation*. Vol. 4. New York: Plenum Press.
- O'Connor, T. G., Rutter, M., Beckett, C., Keaveney, L., i Kreppner, J. M. (2000). The effects of global severe privation on cognitive competence: Extension and longitudinal follow-up. English and Romanian Adoptees Study Team. *Child Development*, 71(2), 376-390.
- Papa, M., Bundman, M. C., Greenberger, V., i Segal, M. (1995). Morphological Analysis of Dendritic Spine Development in Primary Cultures of Hippocampal Neurons. *The Journal of Neuroscience*, 15(1), 1-11.
- Papale, P., Chiesi, L., Rampinini, A. C., Pietrini, P., i Ricciardi, E. (2016). When Neuroscience «Touches» Architecture: From Hapticity to a Supramodal Functioning of the Human Brain. *Frontiers in Psychology*, 7, 866.
- Park, E. L., i Choi, B. K. (2014). Transformation of classroom spaces: Traditional versus active learning classroom in colleges. *Higher Education*, 68, 749.

- Patrick, B. C., Hisley, J., i Kempler, T. (2000). What's Everybody So Excited About?: The Effects of Teacher Enthusiasm on Student Intrinsic Motivation and Vitality. *The Journal Of Experimental Education*, 68(3), 217-236.
- Portero, M. (2016). Desenvolupament del cervell i riscos de la sobreestimulació durant la infància. *Guix d'Infantil*, 86, 25-26.
- Pujolàs, P. (2003). *Aprendre junts alumnes diferents: Els equips d'aprenentatge cooperatiu a l'aula*. Vic: Eumo.
- Quervain, D. J. de, Aerni, A., Schelling, G., i Roozendaal, B. (2009). Glucocorticoids and the regulation of memory in health and disease. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 30(3), 358-370.
- Radley, J. J., Rocher, A. B., Miller, M., Janssen, W. G., Liston C., Hof P. R., McEwen B. S., i Morrison J. H. (2006). Repeated stress induces dendritic spine loss in the rat medial prefrontal cortex. *Cerebral Cortex*, 16(3), 313-320.
- Rathod, R, Kale, A, Joshi, S. (2016). Novel insights into the effect of vitamin B-12 and omega-3 fatty acids on brain function. *Journal of Biomedical Science*, 23, 17.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., i Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3(2), 131-141.
- Roozendaal, B., McEwen, B. S., Chattarji, S. (2009). Stress, memory and the amygdala. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(6), 423-433.
- Rué, J. (1991). *El treball cooperatiu*. Barcelona: Barcanova.
- Rosenberg, K., i Trevathan, W. (2002). Birth, obstetrics and human evolution. *BJOG: An International Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 109(11), 1199-1206.
- Saracho, O. N., i Spodek, B. (2013). *Handbook of Research on the Education of Young Children* (3a ed.). Nova York: Routledge.
- Singh, K., Granville, M., i Dika, S. (2002). Mathematics and Science Achievement: Effects of Motivation, Interest, and Academic Engagement. *The Journal Of Educational Research*, 95(6), 323-332.

- Sluis, S. van der, Jong, P. F. de, i Leij, A. van der (2007). Executive functioning in children, and its relations with reasoning, reading, and arithmetic. *Intelligence*, 35, 427-449.
- Sousa, D. A. (2014). *Neurociencia educativa: Mente, cerebro y educación*. Madrid: Narcea.
- Sowell, E. R., Peterson, B. S., Thompson, P. M., Welcome, S. E., Henkenius, A. L., i Toga, A. W. (2003). Mapping cortical change across the human life span. *Nature Neuroscience*, 6(3), 309-315.
- Spencer, J. P. E. (2008). Food for thought: the role of dietary flavonoids in enhancing human memory, learning and neuro-cognitive performance. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 67(2), 238-252.
- Sylwester, R. (1994). How emotions affect learning. *Educational Leadership*, 52(2), 60-65.
- Tanner, C. K. (2009). Effects of school design on student outcomes. *Journal of Educational Administration*, 47(3), 381-399.
- Temple, J. L. (2009). Caffeine use in children: What we know, what we have left to learn, and why we should worry. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33(6), 793-806.
- Tokuhama-Espinosa, T. (2011). *Mind, Brain, and Education Science: A comprehensive guide to the new brain-based teaching*. Nova York: W.W. Norton.
- Treviño, S., Aguilar-Alonso, P., Flores Hernandez, J. A., Brambila, E., Guevara, J., Flores, G., i Diaz, A. (2015). A high calorie diet causes memory loss, metabolic syndrome and oxidative stress into hippocampus and temporal cortex of rats. *Synapse*, 69(9), 421-433.
- Wagensberg, J. (2008). *El gozo intelectual* (2a ed.). Barcelona: Tusquets.
- Weissmann, H. (2014). *La reflexión sobre la práctica... el motor del cambio: Una mirada desde las ciencias naturales*. Buenos Aires: Mandioca.
- Wertsch, J. V. (1988). *Vigotsky y la formación social de la mente*. Barcelona: Paidós.

Wirth, M. M. (2015). Hormones, stress, and cognition: The effects of glucocorticoids and oxytocin on memory. *Adaptive Human Behavior and Physiology*, 1(2), 177-201.

Wood, D., Bruner, J. S., i Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17, 89-100.

Per citar aquest article:

Portero, M., i Carballo, A. (2017). Neuroeducació: aportacions de la neurociència als plantejaments educatius. *Revista Catalana de Pedagogia*, 11, 17-55.

Publicat a <http://www.publicacions.iec.cat>