

Màster universitari en **Formació del Professorat d'Educació Secundària
Obligatòria i Batxillerat, Formació Professional i Ensenyament d'Idiomes**



Treball de fi de màster

Títol: Les bases de la neurociència cognitiva aplicades a l'ensenyament de la FP

Cognoms: Alamán Navas

Nom: Raquel

Titulació: Màster en Formació del Professorat d'Educació Secundària Obligatòria i Batxillerat,
Formació Professional i Ensenyament d'Idiomes

Especialitat: Formació Professional

Directora: Gemma Garcia Calatayud

Data de lectura: 19 de juny de 2019

Resum (200-400 paraules)

La neuroeducació és una disciplina transversal que ha guanyat força durant els darrers anys. Basada en evidències científiques, posa de manifest la importància de la motivació com a mecanisme innat en els alumnes per tal que es desenvolupi la seva necessitat de coneixements. En un moment en el qual els estímuls externs són cada cop més elevats i que generen dependència en els adolescents, el model actual d'ensenyament necessita un nou paradigma educatiu. Aquest estudi revisa els components biològics responsables de la motivació, així com les diferents propostes metodològiques que poden interactuar amb aquests nuclis fisiològics. Les funcions executives, els processos cognitius més immadurs en arribar l'adolescència, tenen un paper fonamental durant aquesta etapa. L'anàlisi d'aquest marc teòric, així com la seva aplicació dins l'aula de formació professional, confirmen la relació entre la motivació dels alumnes amb els seus resultats acadèmics i mostren una via pels docents que pot millorar el clima a l'aula. Finalment, es proposa analitzar altres factors que poden influir en la motivació dels alumnes, i per tant, en el seu aprenentatge. L'arquitectura i distribució del mobiliari, la llum, l'alimentació i l'activitat física, les necessitats d'aprenentatge específiques, l'entorn socioeconòmic de l'alumne o el seu gènere són agents a tenir en compte en futurs estudis.

Resumen (200-400 palabras)

La neuroeducación es una disciplina transversal que ha ganado fuerza durante los últimos años. Basada en evidencias científicas, pone de manifiesto la importancia de la motivación como mecanismo innato en los alumnos para que se desarrolle su necesidad de conocimiento. En un momento en el cual los estímulos externos son cada vez más elevados y que generan dependencia en los adolescentes, el modelo actual de enseñanza necesita un nuevo paradigma educativo. Este estudio revisa los componentes biológicos responsables de la motivación, así como las diferentes propuestas metodológicas que pueden interactuar con estos núcleos fisiológicos. Las funciones ejecutivas, los procesos cognitivos más inmaduros al llegar la adolescencia, tienen un papel fundamental durante esta etapa. El análisis de este marco teórico, así como su aplicación dentro del aula de formación profesional, confirman la relación entre la motivación de los alumnos con sus resultados académicos y muestran una vía para los docentes que puede mejorar el clima en el aula. Finalmente, se propone analizar otros factores que pueden influir en la motivación de los alumnos, y por tanto, en su aprendizaje. La arquitectura y distribución del mobiliario, la luz, la alimentación y la actividad física, las necesidades de aprendizaje específicas, el entorno socioeconómico del alumno o su género son agentes a tener en cuenta en futuros estudios.

Abstract (200-400 words)

Neuroeducation is a transversal discipline that has gained strength in recent years. Based on scientific evidence, it highlights the importance of motivation as an innate mechanism in the students so that their need for knowledge is developed. At a time when the external stimuli are increasingly higher and that they generate dependence on adolescents, the current model of education needs a new educational paradigm. This study reviews the biological components responsible for the motivation, as well as the different methodological proposals that can interact with these physiological nuclei. The executive functions, the most immature cognitive processes when reaching adolescence, play a fundamental role during this stage. The analysis of this theoretical framework, as well as its application in the vocational training classroom, confirms the relationship between the motivation of the students with their academic results and show a way for teachers that can improve the climate in the classroom . Finally, it is proposed to analyze other factors that may influence the motivation of the students, and therefore, in their learning. The architecture and distribution of furniture, light, food and physical activity, specific learning needs, the socio-economic environment of the student or their gender are agents to be taken into account in future studies.

Paraules clau (màxim 10)

Neurociència	Educació	Aprenentatge
Funcions executives	Activitats	Atenció
Formació Professional	Neuromites	Motivació

Índex

1. Introducció	6
2. Situació actual i proposta de millora	7
3. Objectius del treball	8
4. Marc teòric	8
4.1. Com és el cervell?	9
4.2. Com aprèn el cervell?	15
4.2.1. Les etapes de l'aprenentatge	15
4.2.2. El cervell de l'adolescent.	18
4.3. Els neuromites i l'ensenyament.....	21
4.4. Neurociència aplicada al Disseny de l'Aprenentatge	23
4.4.1. La taxonomia de Bloom i el model SAMR	24
4.4.2. L'ús de videojocs com a eina d'aprenentatge.....	27
4.4.3. El pensament computacional	29
5. Metodologia i desenvolupament del treball	30
5.1. Participants	30
5.2. Materials	30
5.3. Mètodes	31
5.3.1. Funcions executives.....	31
5.3.2. Disseny de les activitats.....	31
5.3.3. All You Can E.T. (AYCET)	33
6. Avaluació dels resultats obtinguts.....	33
7. Conclusions i treball futur	36
8. Agraïments	37
9. Referències.....	38

Índex de figures

Figura 1. Mecanisme automàtic del cervell vers un estímul.....	8
Figura 2. Localització d'algunes de les principals estructures i àrees del cervell tractades en aquest treball.	10
Figura 3. El sistema límbic i les estructures internes del cervell implicades en el procés d'aprenentatge.	11
Figura 4. Estructura bàsica d'una neurona.	12
Figura 5. Esquema d'una sinapsi química.....	13
Figura 6. Estadis de neurogènesi.....	16
Figura 7. Densitat sinàptica.	18
Figura 8. Etapes de la motivació.....	19
Figura 9. Models d'aprenentatge actiu.	20
Figura 10. Principis bàsics de la neuroeducació	23
Figura 11. Pautes del Disseny Universal de l'Aprenentatge (DUA).	24
Figura 12. Taxonomia de Bloom.....	24
Figura 13. Model SAMR.....	25
Figura 14. Model SAMR alineat amb la Taxonomia de Bloom.....	26
Figura 15. Captura de pantalla de les instruccions en cada inici del videojoc All you can E.T.(AYCET) per als participants.....	28
Figura 16. Captura de pantalla del videojoc All you can E.T. (AYCET): reforç positiu en encertar (figura de l'esquerra) i reforç negatiu en fallar (figura de la dreta).	28
Figura 17. Fases del pensament computacional (CT).	29
Figura 18. Captura de l'eina utilitzada durant la intervenció a l'aula.	32

Índex de taules

Taula 1. Classificació de les principals vies de neurotransmissió.....	14
Taula 2. Característiques dels components de les funcions executives.	17
Taula 3. Prevalença dels mites en l'educació. Conceptes erronis entre els docents.	22
Taula 4. Distribució dels grups i els alumnes per grup.	30
Taula 5. Mostra del banc d'activitats utilitzades durant les sessions.	32

Índex de gràfics

Gràfic 1. Faltes d'assistència per grup i edat durant la UF anterior.....	7
Gràfic 2. Resultats del guany Pre-Post test en DCCS mitjà segons el grups A i B.	33
Gràfic 3. Nombre d'encerts segons el grup.	34
Gràfic 4. Temps mig de resposta segons el grup.	34
Gràfic 5. Puntuacions mitjanes segons l'edat dels participants.....	34
Gràfic 6. Mitjana d'absències dels participants durant l'estudi.	35
Gràfic 7. Mitjana d'aprovatats durant l'estudi.....	35

1. Introducció

L'emoció, l'atenció i la memòria són algunes de les funcions cognitives superiors implicades en el procés d'aprenentatge i que estan dirigides per les funcions executives (Portero, 2016): un conjunt de processos cognitius que permeten la planificació i la gestió de les emocions, a més de gestionar la memòria de treball. Processos cognitius que no finalitzen la seva etapa madurativa fins ben entrada l'edat adulta.

Les darreres corrents educatives posen èmfasi en la motivació de l'alumne com un element fonamental per tal de provocar la seva curiositat i estimular la seva *necessitat* d'aprendre. Els adolescents, no obstant, es troben en plena transició entre la infància i l'edat adulta, immersos en una cerca constant d'experiències motivadores. Els joves d'ara són més impulsius, estan plens de dubtes, intentant trobar el seu lloc en el món. El seu cervell és constantment bombardejat per nous estímuls que intenten captar la seva atenció. Aquesta vulnerabilitat els fa perdre la motivació i viuen en un estat d'apatia continua.

Una via de continuïtat per a molts adolescents en finalitzar els ensenyaments obligatoris, especialment pels alumnes amb risc d'abandonament escolar, són els cicles formatius de grau mig. Un nombre elevat d'aquesta alumnat accedeix al CFGM de Sistemes Microinformàtics i Xarxes, orientats a través del Programa de Diversificació Curricular (PDC)¹ dels centres. Tot i així, s'ha observat que la desmotivació durant el curs és força estesa entrel'alumnat i que les taxes d'abandonament són molt elevades en el primer curs d'aquest cicle.

És aquí on entra en joc la neurociència cognitiva, un camp de la ciència que estudia els processos biològics generats en l'atenció, la memòria, l'aprenentatge i la conducta (entre d'altres manifestacions conductuals). Entenent aquests processos, podem conèixer millor els nostres alumnes i dissenyar activitats que permetin motivar-los i consolidar els seus aprenentatges. No cal perdre, però, el nostre objectiu i s'ha d'evitar caure en mites i altres modes, així que aquí abordarem les idees més esteses i més perilloses per a l'educació, els anomenats *neuromites*.

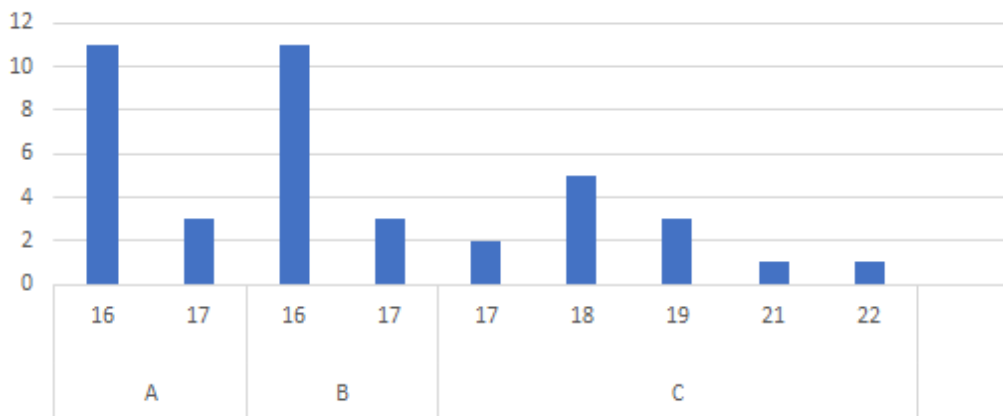
En aquest treball, es pretén entendre aquests processos biològics, a través de la revisió i l'anàlisi dels darrers estudis neurocientífics per tal de dissenyar activitats EA (ensenyament-aprenentatge) que fomentin la seva motivació, adaptades a les diferents necessitats educatives dels alumnes dins del CFGM de Sistemes microinformàtics i xarxes. Això permetrà dotar l'alumnat d'habilitats i estratègies cognitives per planificar i regular la pròpia activitat d'aprenentatge i de garantir també la pròpia construcció d'aprenentatges significatius (Homer, 2019).

¹ Document d'orientacions per a la implementació d'un programa de diversificació curricular (PDC). Consulta: 10 de juny de 2019. Disponible a http://xtec.gencat.cat/web/.content/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/0003/0ecd61ff-3afe-4b16-a9c7-507cf6b9fdfe/orientacions_pdc.pdf

2. Situació actual i proposta de millora

En el primer curs del CFGM de Sistemes Microinformàtics i Xarxes d'un centre de titularitat pública de la província de Barcelona, s'ha detectat un baix rendiment acadèmic de l'alumnat en finalitzar la primera avaluació. Molt d'aquest alumnat es matricula al cicle formatiu perquè passen moltes hores davant els ordinadors i els videojocs, i creuen que a les classes se'ls ensenyarà a jugar a videojocs i a navegar per internet. La realitat a l'aula, per contra, és que els conceptes teòrics i les activitats plantejades són ben diferents, fet que provoca un baix rendiment acadèmic i un alt índex d'absentisme i d'abandonament escolar.

Del total de l'alumnat matriculat, només un 25% han aprovat totes les unitats formatives dels 4 mòduls formatius impartits durant el primer trimestre lectiu. A més, en el mateix trimestre, han abandonat el cicle el 20% de l'alumnat i hi ha una taxa mitjana d'absentisme del 38% (gràfic 1). A més, segons les memòries de cursos anteriors, aquests valors augmenten significativament en finalitzar el segon trimestre, mostrant un panorama decebedor al final del curs lectiu.



Gràfic 1. Faltes d'assistència per grup i edat durant la UF anterior.

Aquesta situació demanda una revisió de les metodologies d'ensenyament actuals a l'aula, així com de les motivacions de l'alumnat, per tal de millorar els resultats actuals i reduir l'abandonament escolar.

La proposta d'aquest treball consisteix en el disseny i aplicació de diverses activitats d'ensenyament-aprenentatge, a partir de diferents propostes metodològiques actuals amb base neuroeducativa establerta durant una unitat formativa (UF) d'un mòdul del cicle formatiu de referència.

3. Objectius del treball

El present treball pretén dissenyar d'activitats d'ensenyament-aprenentatge per fomentar l'emoció i així millorar el rendiment acadèmic i reduir l'absentisme a l'aula, emmarcades en el CFGM de Sistemes microinformàtics i xarxes.

A partir d'aquesta idea, es plantegen els següents objectius:

- Conèixer les bases neurofisiològiques del procés cognitiu, és a dir, conèixer la construcció del coneixement a nivell biològic.
- Entendre les etapes de l'aprenentatge i relacionar les seves fases biològiques i psicològiques, des de la infantesa fins a l'adolescència.
- Conèixer els principis bàsics de la neuroeducació i les seves propostes per a l'ensenyament.
- Analitzar les actuals metodologies pedagògiques i l'aplicació dels estudis centrats en l'adolescència.
- Dissenyar una proposta didàctica, basada en les conclusions extretes en aquest treball i aplicar-la a l'aula, en un curs de formació professional de grau mig de la família d'informàtica i comunicacions.

4. Marc teòric

L'emoció és una reacció psicològica i fisiològica davant un estímul que capta la nostra atenció. Segons Plató, l'admiració és el principi de la filosofia. Tomàs d'Aquino assegurava que l'admiració és el desig de coneixement (L'Ecuyer, 2012). Motivar significa "causar el moviment". Una anècdota, una conversa o una situació viscuda, ens queden gravades al cervell si aquesta ha estat prou intensa. I no només la conversa: les paraules, expressions facials dels altres, l'entorn i els nostres sentiments s'evoquen en recordar-ho.

Però, per què no som capaços de recordar tot allò que vivim i aprenem? Perquè les emocions fixen la nostra atenció, gravant els nostres pensaments i respostes cap a l'estímul, generant el procés d'aprenentatge (Bueno i Torrens, 2017).

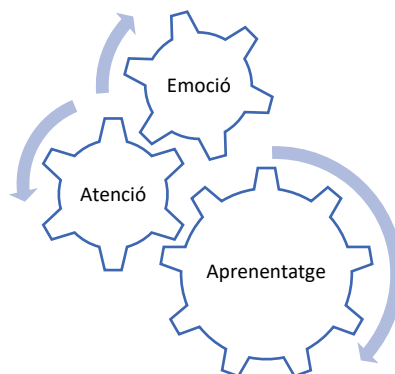


Figura 1. Mecanisme automàtic del cervell vers un estímul.

Aleshores, com podem generar emoció i fixar l'atenció dels nostres alumnes a l'hora d'aprendre continguts a l'aula? Les bases fisiològiques del cervell i els processos cognitius ens poden mostrar el camí de l'aprenentatge.

4.1. Com és el cervell?

El cervell és un òrgan que es desenvolupa durant l'embaràs i que encara és immadur en el moment del naixement. Aquesta immaduresa permet l'adaptació al medi social i cultural de naixement, a través de la plasticitat neuronal (Mas Salguero, 2018).

De les 86.000 milions de neurones de que disposem en el moment del nostre naixement, fins els tres anys s'estableixen 900 bilions de connexions sinàptiques. Aquestes connexions formen les bases dels circuits neuronals, que s'aniran consolidant durant el desenvolupament de l'encèfal i la medulla espinal, els components del Sistema Nerviós Central (SNC) dels vertebrats (Carlson, 2010).

L'encèfal (comunament anomenat cervell), protegit pels ossos del crani, està format pel cervell, el cerebel i el tronc de l'encèfal. La seva organització és jeràrquica, i el seu neurodesenvolupament² es realitza de manera seqüencial: les capes més bàsiques, inferiors i més profundes es completen en primer lloc; les capes més altes i amb funcions superiors són les darreres en finalitzar el seu desenvolupament. Així, primer conclouen les competències bàsiques que regulen el cervell. Després es completen les competències motores. En tercer lloc es desenvolupen les emocions i finalment, maduren les funcions més racionals (Mas Salguero, 2018).

El cervell està format per dues estructures anomenades hemisferis cerebrals. Aquestes estructures constitueixen la part més gran de l'encèfal. Una cissura sagital profunda (la cissura interhemisfèrica o longitudinal cerebral) situada en la línia mediana, els divideix en hemisferi dret i hemisferi esquerre. En la part més profunda de la cissura, el cos callós connecta tots dos hemisferis, travessant la línia mitjana i transferint informació d'un costat a l'altre, a través d'un conjunt de fibres nervioses blanques. Cada hemisferi, a més, es divideix en quatre lòbuls (frontal, occipital, temporal i parietal). Els lòbuls estan separats per diverses cissures: de Silvio (en la seva part inferior separa el lòbul frontal del lòbul temporal i en la part superior separa el lòbul parietal del lòbul temporal) i de Rolando (separa el lòbul frontal del lòbul parietal) (Bhagat, 2017). La superfície dels hemisferis cerebrals està recoberta per un mantell de teixit nerviós, anomenada escorça cerebral o còrtex cerebral, delimitada per diferents processos cognitius i funcionals (figura 2) (Bueno i Torrens, 2017).

² Neurodesenvolupament: procés dinàmic de creixement anatòmic i funcional.

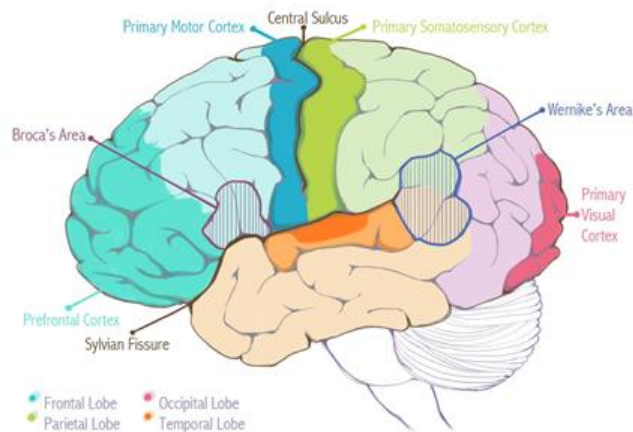


Figura 2. Localització d'algunes de les principals estructures i àrees del cervell tractades en aquest treball³.

El còrtex cerebral s'anomena també substància gris, donat que està formada principalment pels somes de les neurones (cossos neuronals) i les dendrites. En contraposició, la substància blanca dels hemisferis cerebrals es troba sota l'escorça i està formada per axons mielinitzats.

En la part més interna de l'encèfal trobem el sistema límbic, format per diverses estructures cerebrals que gestiona respostes fisiològiques davant diferents estímuls. Està relacionat amb la memòria i la conducta i s'encarrega del control de les conductes instintives relacionades amb l'alimentació, les emocions, la personalitat, la conducta i la sexualitat. El sistema límbic està integrat principalment per l'amígdala cerebral, l'hipocamp, l'hipotàlem i el tàlem.

L'amígdala cerebral és un conjunt de nuclis de neurones localitzades en la profunditat dels lòbuls temporals dels vertebrats complexos, inclosos els humans. La seva funció principal és la gestió de les emocions.

L'hipocamp, una estructura de capes senzilles de substància grisa, té un paper important en la consolidació de la memòria a curt i a llarg termini, així com en l'orientació espacial.

L'hipotàlem és una glàndula que vincula el sistema nerviós amb la producció hormonal (Bueno i Torrens, 2017). Sintetitza i secreta neurohormones, anomenades hormones alliberadores o hormones de l'hipotàlem, que estimulen o inhibeixen la secreció d'hormones per part de la glàndula pituïtària. L'hipotàlem controla la temperatura corporal, la fam, aspectes importants dels vincles familiars i maternals, la set, la fatiga, el somni i el ritme circadià. També regula l'alliberament de la secreció del cortisol, hormona esteroidea que s'allibera en moments d'estrès. Una secreció controlada de cortisol resulta beneficiosa per les funcions executives, ja que l'estrès ens permet reaccionar davant una situació d'amenaça i resoldre els problemes de manera més exitosa (Bueno i Torrens, 2017), però nivells elevats de cortisol deguts a l'estrès, redueixen la plasticitat neuronal i poden ser precursors de trastorns neurològics (Johnson, 2019) (Harris, 2017).

³ Còrtex cerebral i principals àrees funcionals. Crèdit d'imatge: Lineage. Consulta: 10 de juny de 2019. Disponible a: <https://step1.medbullets.com/neurology/113013/cerebral-cortex>

No podem oblidar el tàlem, una estructura formada íntegrament per matèria grisa, de la qual es creia que la seva funció era únicament la transmissió de la informació entre el còrtex i l'hipocamp. Estudis realitzats en els darrers anys, contradiuen aquesta visió, demostrant que el tàlem té un paper molt important en l'aprenentatge, ja que decideix quins estímuls són rellevants (i s'han de tenir en compte) i quins són irrelevants (i per tant, es poden descartar) (Wolff, 2019).

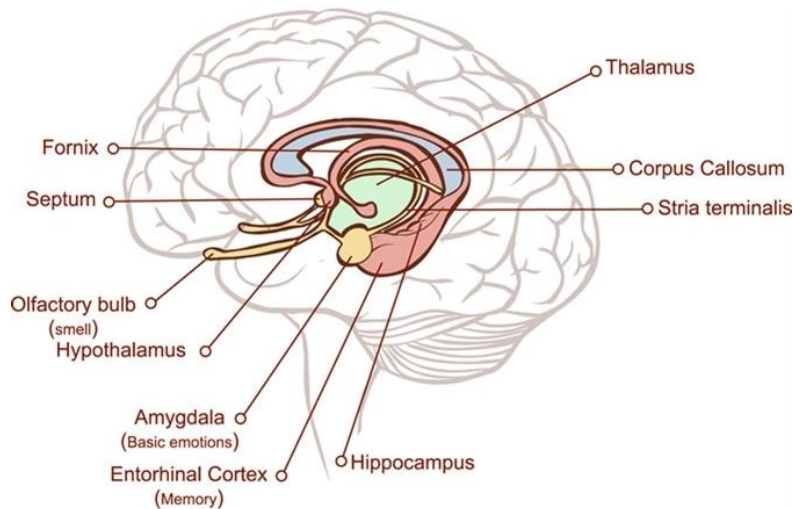


Figura 3. El sistema límbic i les estructures internes del cervell implicades en el procés d'aprenentatge⁴.

I com es comuniquen les diferents estructures del cervell entre elles? A través de les neurones: cèl·lules elèctricament excitable que comuniquen amb altres a través de les connexions especialitzades, anomenades sinapsi. Les neurones es troben a tots els organismes pluricel·lulars, excepte a les esponges.

Una neurona està formada per un cos cel·lular, anomenat soma, i dos tipus de prolongacions: les dendrites i l'axó. Les dendrites són prolongacions curtes i amb ramificacions arborescents, que reben els potencials d'acció de les neurones adjacents (enviats a través dels axons) i els transmeten al seu soma. L'axó, en canvi, una única prolongació que sorgeix del soma, és envoltada per la beina de mielina i acaba en ramificacions independents. La seva funció principal és la transmissió del potencial d'acció a les neurones adjacents. La mielina és una substància amb base lípida que recobreix algunes neurones amb la finalitat de fer més ràpides les connexions entre unes neurones i d'altres, de manera que la informació es transmet a més velocitat. Disfuncions en la mielina afecten als aprenentatges i la plasticitat (Kaller, 2017) (Fields, 2008).

⁴ Secció transversal del cervell que mostra el sistema límbic i totes les estructures relacionades. Crèdit d'imatge: Corbac40 / Shutterstock. Consulta: 10 de juny de 2019. Disponible a: [https://www.news-medical.net/health/Limbic-System-and-Behavior-\(Portuguese\).aspx](https://www.news-medical.net/health/Limbic-System-and-Behavior-(Portuguese).aspx)

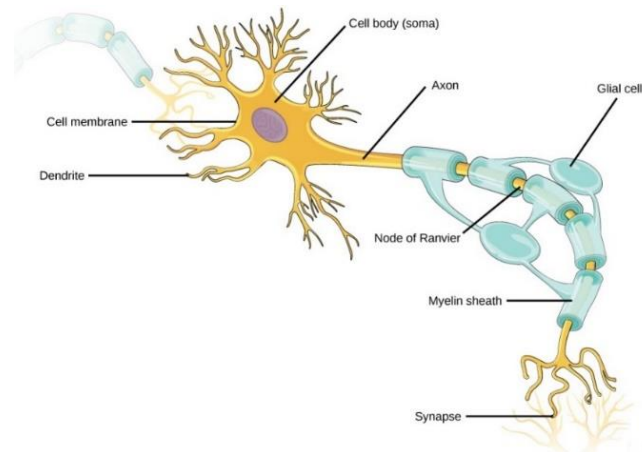


Figura 4. Estructura bàsica d'una neurona.⁵

Les cèl·lules glials són, juntament amb les neurones, els dos tipus diferents de cèl·lules que formen el sistema nerviós. El conjunt de cèl·lules glials forma la neuròglia, la població cel·lular més abundant dins del SNC (aproximadament 100 milions al cervell). Antigament es pensava que les cèl·lules glials només s'encarregaven de donar suport i protecció a les neurones, fent d'unió entre aquestes, a més d'ajudar a mantenir l'homeòstasi cel·lular de les neurones i d'encarregar-se de la seva alimentació. En l'actualitat, s'ha demostrat que els diferents tipus de cèl·lules glials (astròcits, oligodendròcits i micròglia) tenen un rol fonamental dins la transmissió sinàptica (Bacci, 1999) i s'ha evidenciat la seva sensibilitat durant l'adolescència, ja que el consum d'alcohol pot afectar la població glial en l'escorça prefrontal, bé disminuint la seva proliferació o bé augmentant els seus mecanismes de protecció (Koss, 2012). Curiosament, es va descobrir que el lòbul parietal del cervell d'Albert Einstein contenia un rati significativament inferior de cèl·lules glials per neurona que la mitjana, però encara no s'ha descobert el seu significat (Diamond, 1985).

La transmissió d'informació des d'una neurona cap a una altra neurona, una cèl·lula muscular o una glàndula, es realitza mitjançant la sinapsi, desencadenant el potencial d'acció des de l'axó de la neurona emissora fins les dendrites de la neurona receptora. La sinapsi pot ser de dos tipus: elèctrica o química. Una sinapsi elèctrica és un nexa mecànic i elèctricament conductor entre dues neurones veïnes que formen un espai buit i estret entre la neurona presinàptica i la neurones postsinàptica, conegut com a *gap*. Els terminals pre i postsinàptics estan en contacte directe a través d'unions intercel·lulars tipus *gap*, també anomenades unions comunicants. Aquestes unions intercel·lulars estan formades per canals proteics que comuniquen els citoplasmes dels dos terminals involucrats en la sinapsi, la qual cosa permet el pas directe de diversos tipus de molècules, ions i impulsos elèctrics a través de canals de sodi (NA) o potassi (KA).

⁵ Estructura bàsica d'una neurona. Charles Molnar and Jane Gair sota llicència Creative Commons Attribution 4.0 International. Consulta: 10 de juny de 2019. Disponible a https://opentextbc.ca/biology/figure_16_06_01/

En les sinapsi químiques, en canvi, els neurotransmissors (o segons missatgers) són els encarregats de realitzar la comunicació neuronal. Són biomolècules que s'alliberen des de les vesícules sinàptiques en l'extremitat de l'axó de la neurona presinàptica, cap a la sinapsi, travessen l'espai sinàptic i actuen sobre els receptors cel·lulars específics de la dendrita de la cèl·lula receptora. En molts éssers vius, les sinapsi elèctriques conviuen amb les sinapsi químiques i les seves activacions es desencadenen segons la substància alliberada.

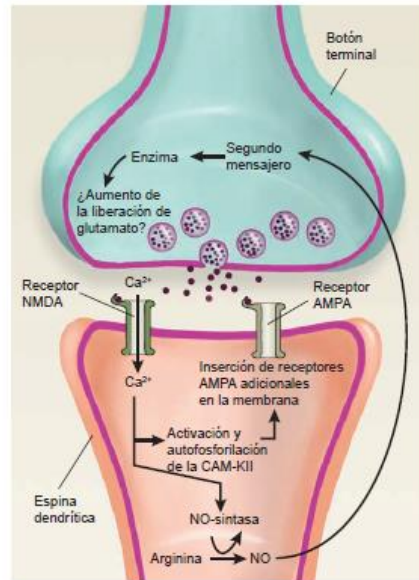


Figura 5. Esquema d'una sinapsi química.⁶

Segons les rutes de neurones que transmeten neurotransmissors químics d'una regió del cervell a una altra, podem identificar diverses vies de neurotransmissió. En la Taula 1 es resumeixen les principals vies de neurotransmissió relacionades amb l'aprenentatge. Aquestes vies recorren i connecten diferents regions del cervell. Les alteracions d'aquests sistemes neurotransmissors poden generar diferents trastorns de conducta o afectar diverses funcions cognitives (TEA, TDAH, síndrome de Rett, ...) (Gold, Blum, Oscar-Berman, & Braverman, 2014).

⁶ Carlson, N. (2010). Fundamentos de fisiología de la conducta. Pearson Educación.

Via	Neurotransmissor	Àrees implicades	Trastorn
Dopaminèrgica	dopamina	Sistema límbic Còrtex prefrontal Hipotàlem	Esquizofrènia TDAH Addiccions
Serotoninèrgica	serotonina	Còrtex prefrontal Sistema límbic Ganglis basals	Ansietat Alteracions del son
Colinèrgica	acetilcolina	Còrtex prefrontal	Disfuncions en la memòria
Noradrenèrgica	noradrenalina	Còrtex frontal Còrtex prefrontal Sistema límbic	Alteracions en la atenció TDAH Depressió

Taula 1. Classificació de les principals vies de neurotransmissió.⁷

Quan es produeix una comunicació sinàptica estable entre diferents neurones, aquestes s'uneixen formant una xarxa. En aquest cas, parlem de plasticitat neuronal, també anomenada neuroplasticitat, plasticitat neural o plasticitat sinàptica. Aquesta funcionalitat es manté durant tota la nostra vida, però podem distingir diverses etapes d'aprenentatge (Thompson, 2001). Per tal que una xarxa sigui estable, l'estímul que la genera ha de ser repetit en múltiples ocasions, a partir de l'estimulació externa del circuit. Per tant, com més extenses siguin les xarxes neuronals que sustenten un aprenentatge i aquestes estiguin distribuïdes per tot el cervell, aquest estarà més integrat i el podrem utilitzar d'una manera més eficient. I en el cas contrari, si focalitzem la nostra atenció en un sol punt, la nostra atenció serà molt més restringida, concentrant les nostres connexions neuronals (Bueno i Torrens, 2017).

Un factor important en la consolidació d'aprenentatges són les neurones mirall, un conjunt de neurones que s'activen en l'aprenentatge per observació (Rizzolatti G. , 1994). Aquestes neurones estan relacionades amb l'empatia, el llenguatge i la imitació, habilitats involucrades en el procés d'aprenentatge. Disseminades en diverses zones del cervell, s'han trobat evidències en el còrtex premotor, el còrtex somatosensorial primari i el còrtex parietal inferior. Les neurones mirall contribueixen a l'aprenentatge social, ja que permeten reproduir els moviments i expressions que veiem en els altres i reproduir mentalment els sentiments dels altres, fent que siguem capaços de sentir empatia. La imitació ens obre tot un ventall d'habilitats. Per exemple, en aprendre a tocar un instrument, s'estableixen connexions entre el còrtex visual, auditiu,

⁷ Institute of Medicine (US) Committee on Opportunities in Drug Abuse Research. Pathways of Addiction: Opportunities in Drug Abuse Research. Washington (DC): National Academies Press (US); 1996. 3, Neuroscience. Disponible a: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK232964/>
Tomkins, D. M., & Sellers, E. M. (2001). Addiction and the brain: the role of neurotransmitters in the cause and treatment of drug dependence. CMAJ : Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne, 164(6), 817–821.

frontal i motor. En veure tocar algú aquest instrument, automàticament s'activen les àrees necessàries per a aquesta acció (gràcies a les neurones mirall), de manera que tenim interioritzat l'aprenentatge (Hou, 2017). I les teràpies conductuals se centren en la creació de noves xarxes, generades a partir de la imitació de conductes socialment acceptades, debilitant les xarxes ja establertes de conductes disruptives. Mitjançant l'establiment d'aquestes noves xarxes, predominen a l'hora de reaccionar vers un estímul i ofereixen una resposta adequada (Rizzolatti G., 2007).

4.2. Com aprèn el cervell?

4.2.1. Les etapes de l'aprenentatge

Dins de l'aprenentatge, existeixen períodes crítics, anomenats *finestres d'oportunitat* pel *neurodesenvolupament*, que estableixen les etapes en les quals l'individu adquireix diversos coneixements i habilitats. Passats aquests períodes, les finestres es tanquen, i en ocasions és impossible adquirir aquesta habilitat (Rymer, 1999). Thompson (2001), va definir tres períodes crítics ben diferenciats: sensitiu (0 - 3 anys), llenguatge (4 - 11 anys) i cognició (adolescència).

El neurodesenvolupament segueix una línia seqüencial i les primeres finestres en tancar-se són aquelles que estan situades en les regions més profundes del cervell. Aquelles que es troben en la part més externa i les prolongacions axòniques de les quals són majors, són les últimes en finalitzar. Aquestes etapes, tot i estar ben definides, no estan limitades i depenen del desenvolupament evolutiu de cada individu (Mas Salguero, 2018).

En el període sensitiu, es desenvolupen les habilitats bàsiques o primàries, és a dir, aquelles que ens permeten passar de la dependència dels nostres progenitors a l'autonomia física. Caminar, observar, manipular i comunicar-nos són eines essencials per adaptar-nos al nostre entorn, aprendre i relacionar-nos.

En el període del llenguatge, aprenem la diferència entre parlar (per repetició) i elaborar expressions capaces de comunicar les nostres idees i pensaments. La fonètica adquirida durant el primer període serà essencial pel desenvolupament del llenguatge en aquesta etapa (Kuhl, 2000).

El tercer període, el cognitiu, permet establir les xarxes neuronals que han rebut major estímul extern. A més, es desenvolupen les funcions executives, un conjunt de processos cognitius que concentren diferents capacitats mentals, com ara la presa de decisions, la regulació de les emocions, l'avaluació de situacions i les possibles respostes a aquestes, la inhibició de la conducta, la planificació i l'execució de les tasques, la selecció d'objectius o l'organització de l'espai i el temps. Per tal que sigui possible aquesta gestió, el lòbul prefrontal, responsable de les funcions superiors, ha d'establir connexió amb els sistemes inferiors: el sistema límbic, el mesencèfal i el tronc encefàlic.

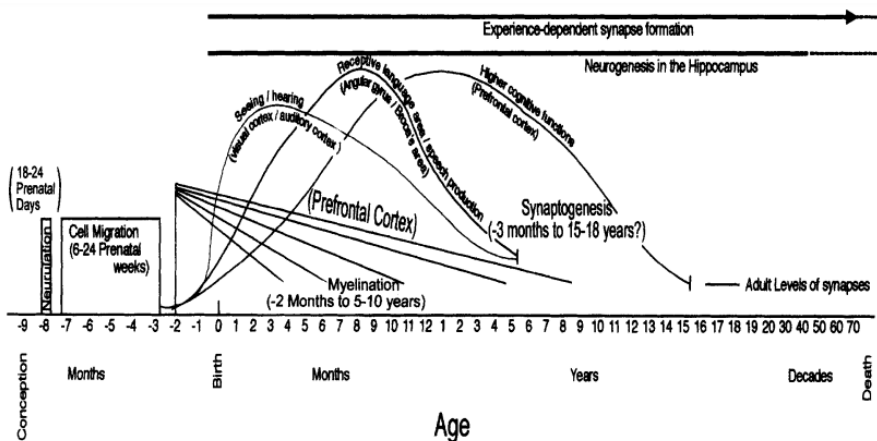


Figura 6. Estadis de neurogènesi⁸.

Els processos de control de la inhibició, la memòria de treball i la planificació ja comencen a organitzar-se en les primeres etapes i fins i tot hi ha autors que consideren convenient treballar-los en la infantesa (Portero, 2016), però és a partir de l'adolescència que s'estableixen xarxes neuronals entre més àrees funcionals, sorgint la necessitat d'organització dels processos. Així, les funcions executives (FE) adquireixen el rol de director d'orquestra, coordinant les respostes en rebre un estímul.

A l'hora d'avaluar el funcionament d'aquestes àrees i quines funcions estan implicades (Owen, 2005), de conèixer la relació que tenen les FE amb el rendiment acadèmic (Cutting, 2009), així com de disposar de les FE com a predictors dels resultats acadèmics (Nesbitt, 2015) (Korzeniowski, 2011) (Castillo-Parra, 2009), s'acostuma a realitzar als participants diversos tests cognitius, combinats moltes vegades combinats amb estudis neuroanatòmics (fMRI) (Cabeza, 2000). Els tests més habituals per a cada FE es recullen en la taula 2 i s'ha utilitzat una selecció en aquest treball a l'hora d'avaluar els resultats de les activitats dissenyades.

⁸ Thompson, R. A. (2001). Developmental science and the media: Early brain development. *American Psychologist*, 56(1), 5-15.

Components	Localització	Mètode d'avaluació	Funcions implicades
Memòria de treball	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Còrtex prefrontal dorsolateral (DLPFC) ▪ Còrtex frontal lateral ▪ Lòbul parietal inferior 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Paradigme cognitiu N-back i fMRI ▪ Self Ordered Pointing Test (SOPT) ▪ WAIS- III 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aprenentatge ▪ Comprensió ▪ Raonament
Control inhibitori	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Còrtex cingulat anterior ▪ Gir prefrontal inferior dret ▪ Àrea motora suplementària ▪ Nucli subtalàmic 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tasques "Go-no go" ▪ Eriksen Flanker Task ▪ Stroop Task ▪ Prova d'interferència ENFEN 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistència a la interferència ▪ Atenció selectiva ▪ Inhibició motora
Flexibilitat mental	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Còrtex prefrontal medial superior i inferior ▪ Còrtex orbitofrontal lateral ▪ Cos estriat 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wisconsin Card Sorting Test (WCST) ▪ Prova Senders ENFEN ▪ Test del Color ▪ Dimensional Change Card Sort (DCCS) ▪ Test de l'aprenentatge reversible 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Atenció sostinguda ▪ Atenció selectiva ▪ Memòria prospectiva
Autoregulació	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Còrtex prefrontal dorsolateral ▪ Àrea ventromedial ▪ Còrtex cingulat anterior ▪ Ínsula ▪ Amígdala ▪ Nucli estriat anterior 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Iowa Gambling Test ▪ Cambridge Gamble Task (CANTAB) ▪ Torre de Hanoi ▪ Torre de Londres ▪ Iowa Gambling Test 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Previsió ▪ Autoregulació ▪ Capacitat d'inhibició ▪ Planificació ▪ Memòria temporal

Taula 2. Característiques dels components de les funcions executives⁹.

⁹ Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, R136-R140. doi:10.1016/j.cub.2009.12.014
Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 16(1), 143–149. doi:10.3758/bf03203267 . *Perception & Psychophysics*, 16, No.1, 143-149. doi:10.3758/BF03203267.
Zelazo, P. D., Anderson, J. E., Richler, J., Wallner-Allen, K., Beaumont, J. L., & Weintraub, S. (2013). NIH toolbox cognition battery (CB): Measuring executive function. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 78(4), 16–33. doi:doi.org/10.1111/mono.12032

4.2.2. El cervell de l'adolescent.

Al final de la adolescència, el cervell humà assoleix la seva grandària d'adult, aproximadament 1.400 grams (unes quatre vegades el pes del cervell d'un nouat). Aquesta prolongació del procés de maduració, que permet l'aprenentatge social, es coneix com neotènia (Carlson, 2010).

Així, ens trobem que l'alumnat d'estudis post-obligatoris es troba immers en l'etapa de l'adolescència (Yurgelun-Todd, 2007). Dins del seu cervell es produeix el fenomen de *pruning* o poda sinàptica, un procés que implica que el gruix de l'escorça cerebral disminueixi en volum i augmenti el gruix de la substància blanca, l'àrea on es troben les connexions de les diferents estructures cerebrals. Les connexions neuronals estables es mantenen, mentre que les connexions febles s'eliminen. Aquesta poda sinàptica no elimina els cossos neuronals, només les connexions innecessàries, augmentant l'efectivitat de les xarxes neuronals (Spear L. P., 2013).

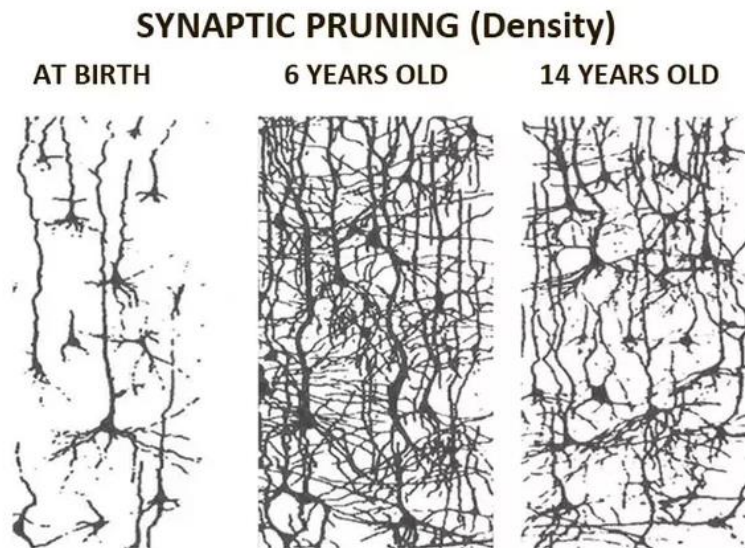


Figura 7. Densitat sinàptica.¹⁰

No obstant, el cervell no només sofreix canvis durant aquesta fase a causa de l'optimització sinàptica. Les hormones sexuals augmenten la seva activitat en aquesta etapa, exercint un paper important en el desenvolupament sexual de l'adolescent, a més d'influir en la seva maduració cerebral. L'hipocamp i l'amígdala cerebral, consoliden la memòria individual i l'afectivitat. El sistema límbic, responsable de la gestió de les emocions i les recompenses, es veu també alterat. A més, en trobar-nos davant d'un còrtex prefrontal encara immadur, la reacció d'un adolescent pot ser extrema i incontrolada enfront d'un estímul extern, ja que és incapaç d'inhibir aquesta impulsivitat.

¹⁰ Shore, R. (2003). Rethinking the Brain: New Insights into Early Development. Families & Work Inst; Revised edition.

L'amígdala cerebral, responsable de la formació i emmagatzematge de records associats a esdeveniments emocionals, assumeix un rol principal en aquesta etapa. L'atenció és molt volàtil: passats 15 minuts, un adolescent perd la motivació i necessita un nou estímul (Jensen, 1998). I, en moltes ocasions, l'atenció és dirigida per les emocions (a través del sistema límbic), en comptes de ser gestionada pel còrtex prefrontal, encara immadur. Si tenim en compte que un circuit neuronal es consolida davant la repetició d'un estímul extern, i l'amígdala cerebral intervé en l'elaboració de records produïts per un manifest emocional, cobra sentit llavors que els conceptes que vulguem transmetre continguin un component que estableixi una relació emocional positiva i capti la seva atenció de forma sostinguda, de manera que aquest produeixi el record i l'emmagatzemi en la memòria de l'adolescent (Bueno i Torrens, 2017) (Mora, 2017).

El desenvolupament social és un pilar fonamental en aquesta fase. L'acceptació del seu entorn, entre els seus iguals, és un estímul positiu, i si aquesta situació, condició o estímul produeix gratificació, l'amígdala cerebral activarà la neurotransmissió de dopamina, el neurotransmissor implicat en el control neural del reforç, augmentant la seva sensació de plaer. Un abús en el consum de substàncies genera un alliberament de dopamina molt més intens que el que es provoca per reforços naturals, com ara el menjar, l'aigua o les relacions sexuals (Nestler, 2001). És per això que, durant aquesta etapa, molts adolescents duen a terme activitats que per a la societat actual puguin semblar perilloses o que manquin de sentit, però per al púber, qualsevol acció que fomenti aquesta sensació de plaer (participar en una baralla, consumir drogues o cometre actes delictius), serà motiu suficient per a continuar realitzant-la, la qual cosa reforçarà la xarxa neuronal associada a aquesta conducta (Spear L. , 2013). No només és preocupant la normalització d'aquest tipus de conductes, sinó que un excés en el consum de drogues, com les amfetamines i la cocaïna, en augmentar aquestes els nivells de dopamina, poden ocasionar episodis de psicosis i altres trastorns mentals (Venton, 2006).

“Aleshores constatem que el procés s'inicia des de dins del nen i es realitza a través de l'experiència amb les coses que l'envolten, sobretot a través de les relacions humanes.” (L'Ecuyer, 2012). El desig, l'emoció, la motivació, són el motor de l'aprenentatge, no la conseqüència d'un estímul extern (Siegel, 2001). Quan aquest es posa en marxa, quan s'encén la flama, les nostres accions van dirigides en assolir el nostre objecte de desig. I si l'estímul és prou fort, s'incrementa el nostre interès, tancant el cercle (Marina, 2013).

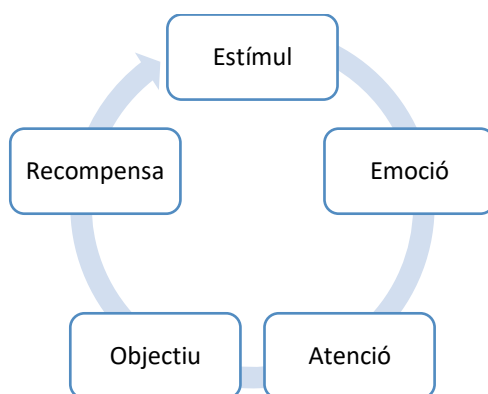


Figura 8. Etapes de la motivació.

Per tant, és necessari oferir estímuls a l'aula que permetin que l'alumnat activin aquest circuit.

S'ha parlat dels canvis físics i neurofisiològics que es pateixen durant l'adolescència, però hi ha altres factors que influeixen en els seus aprenentatges. En aquesta etapa també el somni pateix alteracions. És durant el procés del somni quan es consolida tot allò que s'ha après durant el dia. I és per això, que després d'una nit en la qual s'han dormit les hores suficients, ens despertem més actius, contents i amb les funcions cerebrals treballant de manera òptima. En canvi, després d'una nit de somni breu, podem despertar-nos amb la sensació de tenir el cervell col·lapsat, ja que ens costa accedir i processar informació recent. En el cas d'un adult en occident, aquest té un ritme circadià, que completa un cicle de vigília-somni cada vint-i-quatre hores, dividit en un cicle de somni de vuit hores i setze hores de vigília. En canvi, en un adolescent, el cicle (que ja s'havia estabilitzat en la infància), canvia, tant el seu patró com el seu horari d'inici, de manera que comença la somnolència passada la mitjanit i finalitza el seu cicle de somni passat el migdia. Si a aquest fet afegim l'elevat consum de consum de videojocs i accés a contingut mitjançant els dispositius mòbils, trobem que els adolescents no descansen les hores necessàries (Twenge, 2017). Aquest canvi en el seu ritme circadià i en els seus hàbits afecten al seu rendiment escolar, degut a que els horaris lectius actuals estan dissenyats per a iniciar-se a primera hora del matí, al començament de la jornada laboral, per la qual cosa inicien les classes amb somni i a mig matí molts es troben mancats d'energia (Zheng, 2019).

Relacionat amb el ritme circadià, l'exposició a la llum, l'activitat física i l'alimentació són factors a tenir en compte durant l'estat de vigília. En la pubertat, l'augment de talla que pateix l'adolescent és del 20% del total que tindrà durant l'edat adulta. Aquest fet requereix una ingesta important de proteïnes i hidrats de carboni, però cal anar amb compte, ja que una falta de control en la dieta pot desenvolupar alts nivells d'obesitat durant l'adolescència (Moreno, 2010).

Actualment, diverses escoles i centres d'innovació, com ara Tknika¹¹ al País Basc, estan modificant l'organització i distribució de les seves aules, substituint el mobiliari estàtic per taules modulables i amb rodes, els ordinadors de sobretaula per ordinadors portàtils i aprofitant la llum natural a les aules. Això permet la distribució dels grups de manera dinàmica, creant diferents espais d'aprenentatge. Aquest model d'aprenentatge permeten que els alumnes siguin més actius, a més d'impactar de manera positiva en la seva salut (Kariippanon, 2019).



Figura 9. Models d'aprenentatge actiu.¹²

¹¹ Tknika, centre impulsat per la Viceconselleria de Formació Professional del Departament d'Educació del Govern Basc. Consulta: 10 de juny de 2019. Disponible a: <https://tknika.eus/>

¹² Steelcase. Aprenentatge actiu. Consulta: 10 de juny de 2019. Disponible a: <https://www.steelcase.com/research/articles/topics/active-learning/lessons-learned/>

4.3. Els neuromites i l'ensenyament

Els processos cognitius tenen un fonament neurofisiològic. És en aquest sentit que la neurociència pretén aportar els resultats de les seves investigacions al cap de l'ensenyament, ja que entenem com aprenem, no només podem millorar la capacitat dels nostres alumnes, sinó ajudar aquests alumnes que tenen algun trastorn que els incapacita per a aprendre o els suposa un obstacle. En alguns casos, la transmissió d'aquestes evidències científiques no s'ha realitzat de forma adequada, fent que les conclusions es treguin de context o que no siguin ben interpretades (Pasquinelli, 2012), donant pas a allò que anomenem neuromites: idees vagament basades en fets científics, que s'han implantat en alguns casos com un fet irrefutable i que tenen efectes adversos dins la pràctica educativa (Dekker, 2012).

Alguns dels neuromites més estesos actualment són:

1. Tenim intel·ligències múltiples? Tenint en compte que el cervell funciona de manera integrada i que les xarxes es connecten i desconnecten en funció de l'estímul rebut, no té gaire sentit la classificació proposada pel psicòleg Howard Garner ni hi ha estudis científics que ho confirmen (Bueno i Torrens, 2017).
2. Només utilitzem el 10% del nostre cervell. El cervell manté sempre una activitat mínima, en totes les seves àrees, alerta per reaccionar àgilment vers un estímul (està en mode automàtic). I en el cas de trobar-se davant un problema, intervenen totes les àrees necessàries per resoldre'l (Forés, 2015).
3. Els alumnes aprenen millor si utilitzem el seu estil d'aprenentatge per defecte (VAK). Aquesta metodologia produeix un desequilibri en el desenvolupament de l'alumne, ja que no els permeten conèixer altres tipus d'estímuls ni desenvolupar altres models d'aprenentatge. Tampoc s'han trobat evidències científiques que sostinguin aquesta classificació (Mora, 2017).
4. Tots tenim un hemisferi dominant. Aquesta afirmació no és ben bé així. Si bé és cert a que cadascun dels hemisferis sigui responsable d'un tipus concret de procés, en totes les activitats mentals hi intervenen tots dos hemisferis (Forés, 2015).
5. Neurosexisme: els cervells masculins i femenins són diferents i les habilitats de cada sexe no són les mateixes. Tot i tenir evidències respecte les diferències a nivell biològic, no s'ha avaluat amb profunditat si existeix una correlació entre aquestes i el context social (Elliot, 2019).

És curiós com aquests mites (i molts d'altres) estan fermament estesos dins la comunitat educativa, fins i tot dins la comunitat científica (taula 3).

Mite (% teachers of believe)	UK	Netherland	Turkey	Greece	China
We only use 10% of our brain	48	46	50	45	59
Individuals learn better using preferred learning style(e.g. VAK)	93	96	97	97	97
Co-ordination exercises improve left/right brain integration	88	82	72	56	84
Hemispheric dominance (left/right) helps explain individual differences	91	86	79	71	71
Children are less attentive after sugary drinks and snacks	57	55	44	48	62
Drinking less than 6-8 glasses of water shrinks the brain	29	16	25	12	5
Learning problems linked to brain differences cannot be remediated by education	16	19	22	29	50

Taula 3. Prevalença dels mites en l'educació. Conceptes erronis entre els docents¹³.

Segons Mora, existeixen actualment 50 neuromites, i aquest nombre va en augment amb cada nou descobriment sobre el funcionament del cervell (Mora, 2017). Malauradament, el desconeixement científic pot afectar els aprenentatges i l'evolució dels nostres alumnes, ja sigui mitjançant la implantació de noves metodologies d'aprenentatge sense rigor científic o a través de l'aplicació incorrecta dels possibles nous coneixements.

¹³ Dekker, S., Lee, N., Howard-Jones, P., & Jolles, J. (2012). Neuromyths in Education: Prevalence and Predictors of Misconceptions among Teachers. *Frontiers in Psychology*, 3, 429. doi:10.3389/fpsyg.2012.00429

4.4. Neurociència aplicada al Disseny de l'Aprenentatge

"Most (almost 90 per cent) of teachers think that a knowledge of the brain is important, or very important, in the design of educational programmes."

Howard-Jones et al. 2007

La neuroeducació és una disciplina recent. Segons Mora, l'objectiu de la qual és l'extracció dels coneixements que aporta la neurociència cognitiva en conjunció amb la psicologia i la pedagogia i portar aquests coneixements a les aules (Mora, 2017).

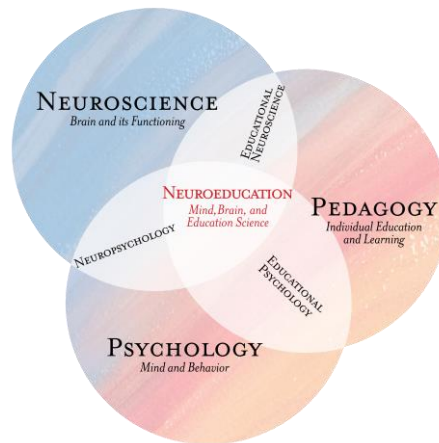


Figura 10. Principis bàsics de la neuroeducació¹⁴

Actualment existeixen diverses metodologies que treballen diferents funcions cognitives. En aquest treball, s'han analitzat aquelles que tenen una base, que treballen els aprenentatges de manera més globalitzada i que segueixen el DUA¹⁵ i el DECRET 150/2017, de 17 d'octubre, de l'atenció educativa a l'alumnat en el marc d'un sistema educatiu inclusiu¹⁶, ja que com s'ha vist en els apartats anteriors, l'ús d'aprenentatges cooperatius aporta flexibilitat a la representació dels continguts, diversitat en la interacció entre els alumnes i el professor i aporta significat a l'aprenentatge.

¹⁴ Interpretació de la neuroeducació com un camp interdisciplinari. Tokuhamo-Espinosa, T. (2011). Why mind, brain, and education science is the "new" brain-based education. New Horizons in Education.

¹⁵ Informació extreta del document "Pautas sobre el Disseny Universal per a l'Aprenentatge (DUA)" Sobre aquest document: Traducció al català, Versió 2.0 Mariona Dalmau Montalà, Ingrid Sala Bars i Montserrat Llinares Fité Facultat de Psicologia, Ciències de l'Educació i l'Esport Blanquerna Universitat Ramon Llull Barcelona, Novembre de 2015.

¹⁶ DECRET 150/2017, de 17 d'octubre, de l'atenció educativa a l'alumnat en el marc d'un sistema educatiu inclusiu. . Consulta: 10 de juny de 2019. Disponible a: <https://portaldogc.gencat.cat/utillsEADOP/PDF/7477/1639866.pdf>

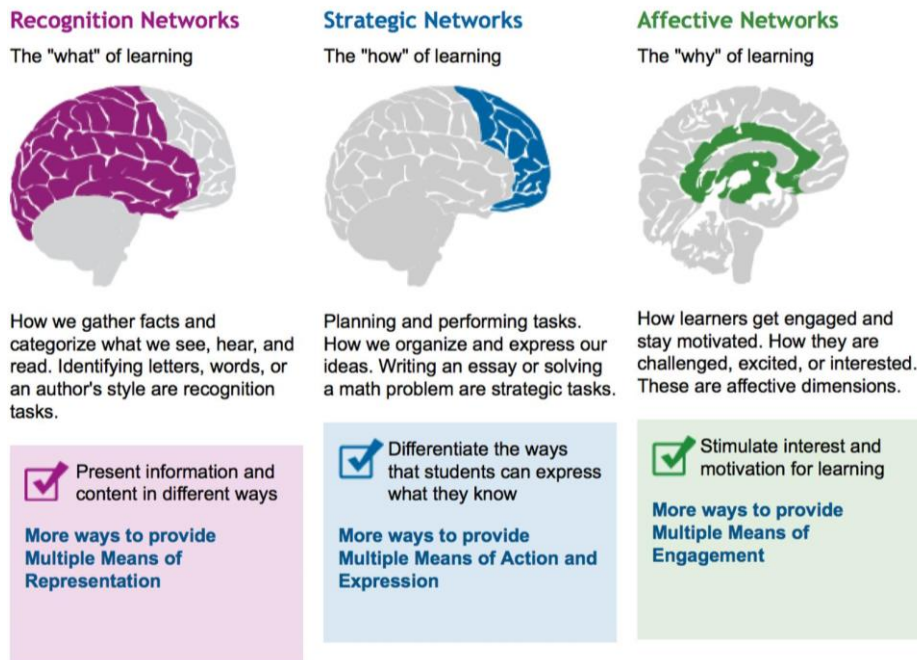


Figura 11. Pautes del Disseny Universal de l'Aprenentatge (DUA)¹⁷.

4.4.1. La taxonomia de Bloom i el model SAMR

La taxonomia de Bloom és un dels sistemes de qualificació de les habilitats més coneguts i utilitzats en la pedagogia. Va ser formulat el 1956 pel pedagog Benjamin Bloom. En 2001, aquesta taxonomia va ser reformulada per Anderson i Krathwohl deixebles de Bloom, en el que es coneix com taxonomia de Bloom revisada (Tutkun, 2012).

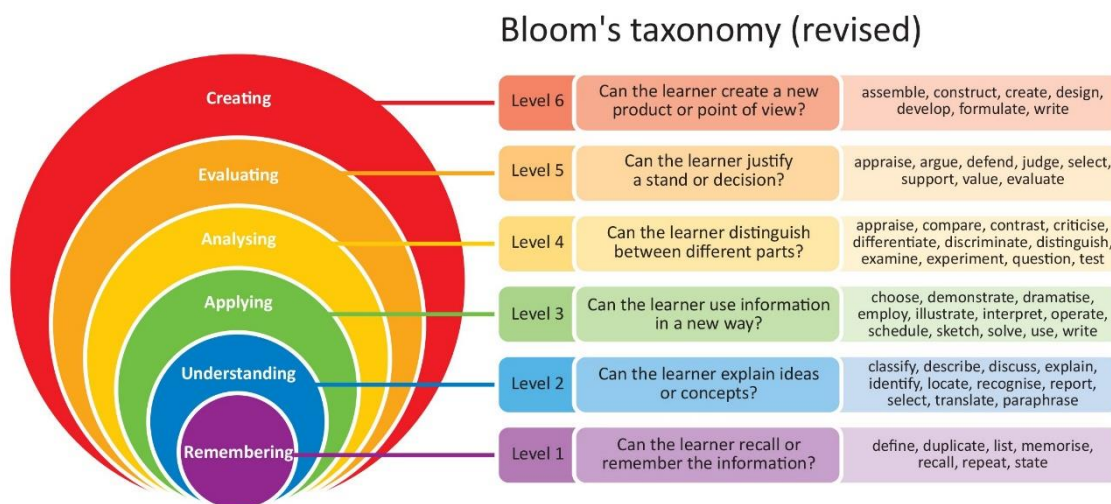


Figura 12. Taxonomia de Bloom.

¹⁷ Pautes del Disseny Universal de l'Aprenentatge (DUA). Crèdit d'imatge: Cast.org. Consulta: 10 de juny de 2019. Disponible a: <http://www.cast.org/>

En aquest sistema podem veure les habilitats que utilitzen els alumnes, definides com a verbs, i accions que estan relacionades amb cadascun dels nivells. Aquesta taxonomia es divideix en dos nivells:

- Les habilitats **LOTS (Lower Order Thinking Skills)**, que corresponen amb les habilitats d'ordre inferior, que serien les habilitats més fàcils i assolibles per un nombre major de persones.
- Les habilitats **HOTS (Higher Order Thinking Skills)**, que corresponen amb les habilitats d'ordre superior, i que serien les habilitats més difícils i assolibles pel menor nombre de persones.

És habitual relacionar la taxonomia de Bloom amb els verbs que defineixen les activitats dissenyades, de manera que aquesta relació ens pot ajudar molt en el disseny de les nostres activitats. Segons l'objectiu de la nostra activitat i de com estigui plantejada, estarem treballant una o diverses habilitats de la taxonomia. És important tenir en compte aquest fet a l'hora de dissenyar les nostres activitats d'aula.

El model SAMR es un marc teòric que ens pot guiar a l'hora d'incloure les TIC (Tecnologies de la Informació i la Comunicació) i el Pla TAC¹⁸ a l'aula. SAMR és un acrònim de Substitució, Augment, Modificació i Redefinició, que justament defineixen els quatre nivells del model separats en dues capes, la de millora i la de transformació.

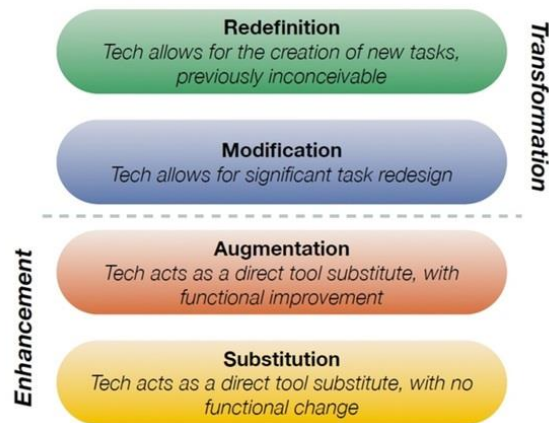


Figura 13. Model SAMR¹⁹.

¹⁸ Documents per a l'organització i la gestió dels centres. Tecnologies per a l'aprenentatge i el coneixement. Consulta: 10 de juny de 2019. Disponible a:

http://educacio.gencat.cat/documents/IPCNormativa/DOIGC/PEC_Tecnologies_aprenentatge.pdf

¹⁹ Model SAMR. Crèdit d'imatge: Dr. Ruben Puentedura, Ph.D. Consulta: 10 de juny de 2019. Disponible a: <https://www.schrockguide.net/samr.html>

Capa de **Millora**:

- **Substitució**: en aquest nivell, la tecnologia s'insereix a l'aula com a element substitutori d'un preexistent. Un exemple seria la introducció d'un processador de textos substituint el paper a l'aula.
- **Augment**: la tecnologia s'introdueix a l'aula i presenta alguna millora respecte als recursos preexistents. Per exemple, la introducció de la recerca d'informació utilitzant algun motor de cerca a internet.

Capa de **Transformació**:

- **Modificació**: amb la introducció a les TIC a l'aula, s'aconsegueix un canvi metodològic i una redefinició de les tasques. Per exemple, la realització d'un vídeo per part dels alumnes per explicar alguna de les parts d'un treball realitzat, i la recepció de les impressions (feedbacks) dels seus companys a través dels comentaris en un bloc o diari d'aprenentatge.
- **Redefinició**: s'inclouen les TIC a l'aula de manera que s'aconsegueixen ambients d'aprenentatge i activitats impensables amb les eines tradicionals. Un exemple d'aquest nivell, seria la introducció de la Realitat Virtual a l'aula de manera que s'interactua amb el producte.

D'aquesta manera, les habilitats definides dins la Taxonomia de Bloom es relacionen amb el model SAMR per a l'aprenentatge mitjançant les tecnologies (figura 13).

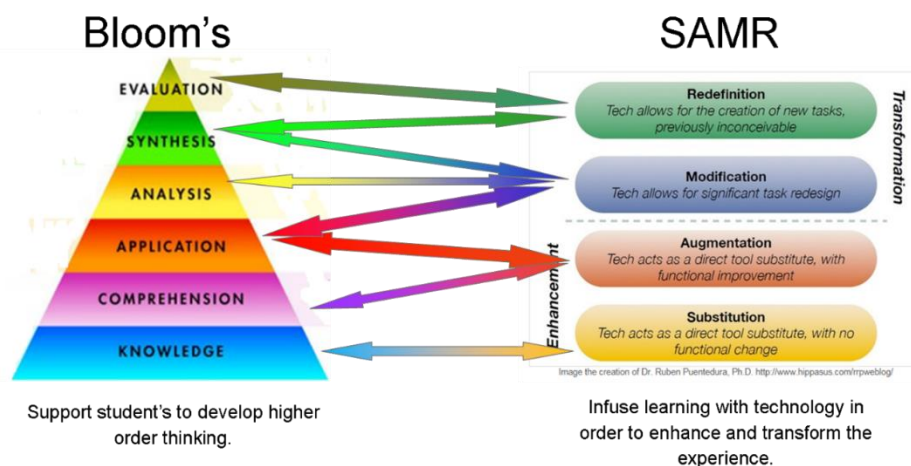


Figura 14. Model SAMR alineat amb la Taxonomia de Bloom²⁰.

²⁰ Diagrama de relació entre la Taxonomia de Bloom i el model SAMR. Consulta: 10 de juny de 2019. Disponible a: <http://sakasamas0267898.blogspot.com/2015/03/relationships-between-blooms-samr.html>

4.4.2. L'ús de videojocs com a eina d'aprenentatge

La sobreestimulació a la que viuen sotmesos els adolescents ha substituït el seu motor i són incapaços de sentir admiració, motivació o de deixar volar la seva imaginació per ells mateixos. Viuen a la cerca de qualsevol cosa que els tregui de la seva apatia, però aquest estímul ha de ser ràpid, ja que sinó, tornen a perdre l'interès. Molts han oblidat la veritable essència del joc, l'instrument d'aprenentatge en les primeres etapes del nen. Un cop s'ha obtingut el coneixement a través del descobriment, es pot adquirir l'aprenentatge per disciplina (L'Ecuyer, 2012).

Tenint en compte que els aprenentatges transversals, aquells que estableixen relació entre diferents xarxes neuronals, tenen més impacte en el cervell que no aquells que són més concrets (Bueno i Torrens, 2017) i que l'atenció selectiva és un mecanisme del cervell que permet seleccionar la informació sensorial que més interès tingui per aconseguir els nostres objectius, intencions i accions, té sentit dissenyar activitats que permetin als alumnes focalitzar la seva atenció en els conceptes a aprendre, inhibint el seu impuls a realitzar qualsevol altra activitat que desvii la seva atenció i que es consolidin en la seva memòria gràcies a l'estímul emocional positiu. D'aquesta manera, es treballaran les funcions executives a través de la motivació.

En aquesta direcció s'han realitzat diversos estudis i activitats, enfocades a la millora de les funcions executives (associades a les habilitats HOTS), a través dels videojocs (Homer B.D., 2017) (Mayer, 2019). L'ús dels videojocs com a eina ha estat estudiat en profunditat, a causa de la creixent preocupació de la seva relació amb l'increment de conductes agressives en nens i adolescents (Stanmore, 2017). I si bé s'ha demostrat que amb l'ús habitual de videojocs del mercat actual (Call of Duty, World of Warcraft,...) milloren les funcions inhibidores, d'estratègia i de memòria de treball, l'objectiu principal d'aquests videojocs no és l'entrenament de les FE, i ens trobem que aquest benefici és secundari a la motivació de les principals empreses de videojocs (Schenk, 2017).

Amb motiu de realitzar aquests estudis, s'han desenvolupat diferents videojocs, en col·laboració amb el laboratori CREATE²¹, de la New York University. Aquests videojocs contenen diferents personatges (extraterrestres i animals marins) amb els quals els participants han d'interactuar (alimentar-los o rescatar-los). En cada inici de nivell, es mostren unes instruccions bàsiques la principal missió de les quals és millorar la memòria de treball i el control de l'impuls (gestió de la inhibició) (Homer, 2019).

²¹ CREATE. Laboratori de la NYU especialitzat en el desenvolupament de videojocs per a l'aprenentatge. Consulta: 10 de juny de 2019. Disponible a: <http://create.nyu.edu/dream/#/user/login>

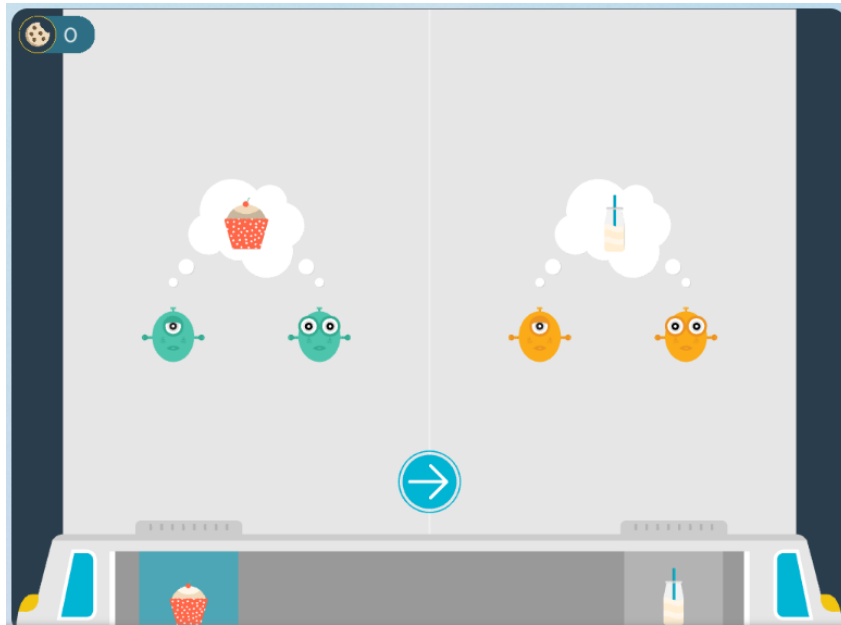


Figura 15. Captura de pantalla de les instruccions en cada inici del videojoc All you can E.T.(AYCET) per als participants.

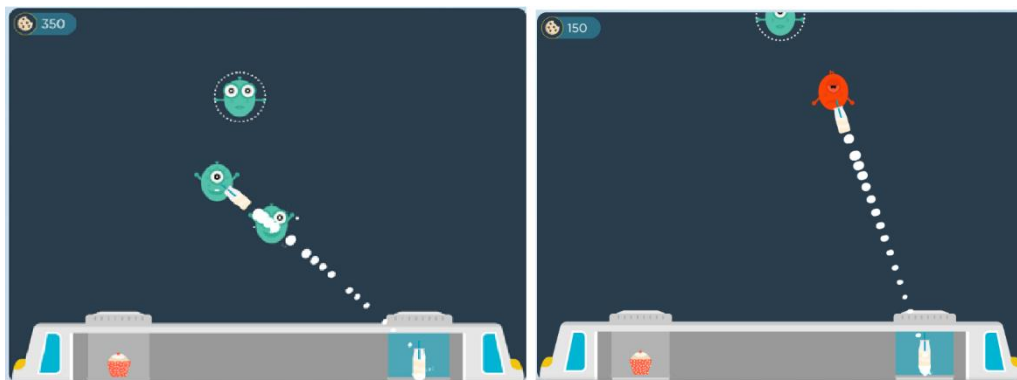


Figura 16. Captura de pantalla del videojoc All you can E.T. (AYCET): reforç positiu en encertar (figura de l'esquerra) i reforç negatiu en fallar (figura de la dreta).

Els estudis realitzats indiquen que les funcions executives (FE) que treballen aquests videojocs milloren significativament en els participants, alumnes de primària i secundària (Homer B.D., 2017). Així, cal analitzar si els resultats es reproduïxen en participants d'edat corresponent a l'alumnat d'aquest treball.

4.4.3. El pensament computacional

El pensament computacional (Computational Thinking, CT) és un procés mental que permet abstraure problemes i, seguint una seqüenciació lògica, dissenyar solucions que es poden automatitzar. Aquesta capacitat permet entendre un problema plantejat, dividir-lo en problemes més senzills i, a través de la resolució d'aquests, obtenir el resultat final. La introducció del pensament computacional a les aules pot influir positivament en la comprensió dels conceptes introduïts (Yadav, 2014).

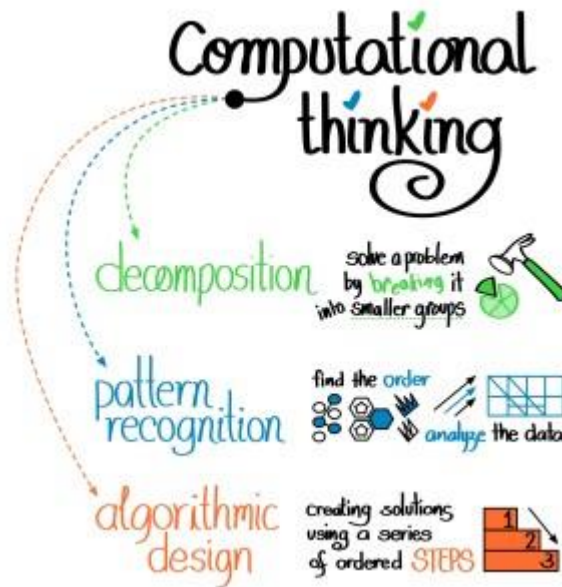


Figura 17. Fases del pensament computacional (CT)²².

El pensament computacional permet la resolució de problemes de diverses disciplines, ja que s'estandarditza la metodologia i desenvolupa el pensament crític. Les tecnologies educatives que s'utilitzen pel desenvolupament del pensament computacional en etapes primerenques són principalment els sets de robòtica comercials (LEGO WeDo® i LEGO MindStorms®)²³ i l'entorn de programació per blocs, com Scratch²⁴, dissenyat pel MIT Media Lab. En el cas d'ensenyaments post-obligatoris, l'alumnat requereix la introducció d'aquestes habilitats mitjançant activitats més motivadores segons la seva edat (Ching, 2018).

²² Etapes del pensament computacional (CT). Ohio Department of Education. Consulta: 10 de juny de 2019. Disponible a: <https://education.ohio.gov/Media/Extra-Credit-Blog/ODE-Blog-Posts-by-Category?tagid=160>

²³ Programa LEGO® for Education. Consulta: 10 de juny de 2019. Disponible a: <https://education.lego.com/en-us>

²⁴ Llenguatge de programació visual basat en blocs. Consulta: 10 de juny de 2019. Disponible a: <https://scratch.mit.edu/>

5. Metodologia i desenvolupament del treball

L'objectiu de l'estudi consistia en comprovar si les activitats d'ensenyament-aprenentatge basades en l'estimulació de les emocions (segons els principis de la neurociència) podrien millorar el rendiment acadèmic dels alumnes, a més de reduir l'absentisme a l'aula i l'abandonament del cicle formatiu.

En disposar d'una mostra petita ($N < 50$), cal considerar aquest estudi com una prova pilot, a replicar en altres centres. Tots els càlculs i tests estadístics que formen part d'aquest estudi han estat realitzats amb el programa RStudio v.1.2.

5.1. Participants

40 alumnes de primer curs del cicle formatiu de grau mig (CFGM) de Sistemes Microinformàtics i Xarxes (SMX) d'un centre d'alta complexitat de titularitat pública de Barcelona van participar en aquest estudi. El total de participants ($N=40$) es va distribuir en tres grups (taula 4), amb una mitjana d'edat de 16.64 anys i $SD=1.44$. Només 3 alumnes eren noies (7.5%), enfront els 37 nois que assistien al curs (92.5%).

	Grup A	Grup B	Grup C
16 anys < alumnes < 18 anys	10	13	7
18 anys <= alumnes < 20 anys	2	2	4
20 anys < alumnes < 25 anys	1	0	1
Total	13	15	12

Taula 4. Distribució dels grups i els alumnes per grup.

5.2. Materials

Les activitats van ser dissenyades i aplicades dins la unitat formativa UF2 - Sistemes operatius lliures en xarxa, del mòdul MP04 - Sistemes Operatius en xarxa, de 36 hores de durada. En total, es van realitzar 18 sessions, durant 4 setmanes i 2 dies (2 hores per sessió).

Per tal d'avaluar els resultats, es va planificar aplicar diverses activitats segons el grup:

- Grup A (activitats HOT/LOT amb videojoc): 13 alumnes (12 alumnes i 1 alumna).
- Grup B (activitats HOT/LOT sense videojoc): 15 alumnes (14 alumnes i 1 alumna).
- Grup C (Grup control): 12 alumnes (11 alumnes i 1 alumna).

5.3. Mètodes

5.3.1. Funcions executives

A l'hora de determinar l'evolució de les funcions executives, els participants van realitzar dos tests que avaluen diferents processos cognitius: el test Eriksen Flanker i el test Dimensional Change Card Sort (DCCS). Aquests tests es van dur a terme abans d'iniciar la primera activitat de la primera sessió i en finalitzar el bloc d'activitats, i el van realitzar tots els participants del grup A i del grup B.

El test Eriksen Flanker (Eriksen, 1974) (Stins, 2008), conegut com la tasca Flanker; un conjunt de proves que avalua la capacitat de suprimir respostes o escollir respostes davant estímuls irrelevantes, és a dir, es va mesurar el control de la inhibició. Per realitzar la seva avaluació, es va utilitzar la versió online desenvolupada per PsyToolkit²⁵.

El test Dimensional Change Card Sort (DCCS) (Zelazo, 2013) (Ezekiel, 2013) mostra als participants dos estímuls a cada costat de la pantalla i aquests han de seleccionar aquell que coincideixi amb l'estímul presentat a la meitat de la pantalla, segons la regla indicada. Aquest test va servir per avaluar la memòria de treball, l'autoregulació i la inhibició dels participants. En aquest cas, es va dur a terme el test mitjançant una versió online desenvolupada per a aquest estudi.

5.3.2. Disseny de les activitats

La programació de les diferents sessions es va dissenyar seguint les conclusions obtingudes amb l'estudi dels apartats anteriors. A l'hora de fomentar la motivació i mantenir l'atenció de l'alumnat, la fórmula aplicada va ser la següent:

Motivació = desig + incentius + facilitadors de la tasca²⁶

Respecte la temporització de les activitats, es va definir una durada de 15 minuts com a màxim (cada activitat d'ensenyament-aprenentatge), començant per activitats senzilles que suposin un repte als alumnes, fàcilment assequible (LOT), i augmentant progressivament la dificultat d'aquests reptes, a través d'activitats més complexes (HOT). Segons la progressió dels alumnes, les activitats a treballar durant la sessió se seleccionaven del banc d'activitats desenvolupat. L'avaluació de les activitats es va realitzar mitjançant diferents instruments d'avaluació (rúbrica, graella d'observació,...) Aquest disseny es va aplicar durant totes sessions del grup A i del grup B (Annex 1 i Annex 2), excepte en 4 sessions del grup A, que durant 20 minuts van realitzar una activitat amb un videojoc (AYCET).

²⁵ PsyToolkit. Consulta: 10 de juny de 2019. Disponible a: https://www.psychtoolkit.org/experiment-library/flanker.html#_run_the_demo

²⁶ Fórmula extreta del llibre: Marina, J. (2013). Els secrets de la motivació. Empresas filosóficas, S.L.

Tipus d'activitat	Durada	Nivell de complexitat	Com	Recursos
Warmer activity	10 min	LOT	Qüestionari de repàs de conceptes.	Socrative
Understanding	10 min	LOT	Conceptes teòrics.	Genially
Match	10 min	LOT	Classificació de termes.	Quizlet
Cinefòrum	15 min	HOT	Anàlisi de fragments de pel·lícules relacionades amb les TIC.	Edpuzzle
Missió I	10 min	LOT	Repte individual de curta durada.	Classcraft
Missió II	15 min	HOT	Repte individual de durada intermitja.	Classcraft
Missió III	15 min	HOT	Repte en grup de durada intermitja.	Classcraft

Taula 5. Mostra del banc d'activitats utilitzades durant les sessions.

Per tal d'augmentar la motivació dels participants a l'hora de treballar durant les activitats, els continguts teòrics i pràctics es van presentar mitjançant diferents eines interactives (Genially, Socrative), i es va treballar amb la plataforma Classcraft²⁷, una plataforma de gamificació online, que permet a través de diferents missions en grup o de manera individual, dissenyar diferents activitats i obtenir punts d'experiència (figura 17).

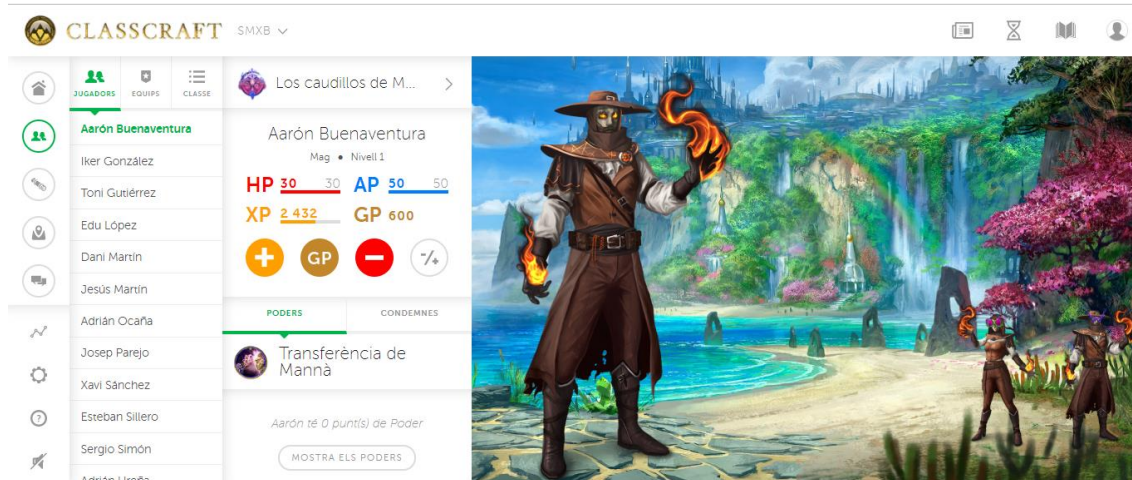


Figura 18. Captura de l'eina utilitzada durant la intervenció a l'aula.

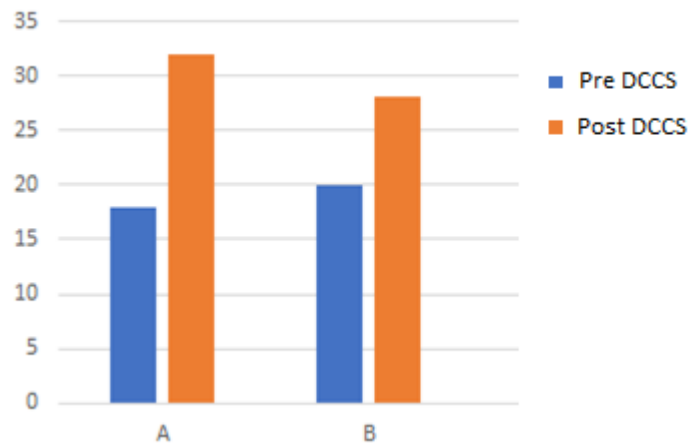
²⁷ Classcraft. Plataforma de gamificació online. Consulta: 10 de juny de 2019. Disponible a: www.classcraft.com

5.3.3. All You Can E.T. (AYCET)

Durant l'estudi, només els alumnes del grup A va accedir a la plataforma CREATE per a jugar al videojoc AYCET. L'activitat es va realitzar en 4 sessions (1 sessió setmanal) on els participants van jugar durant 20 minuts, seguint les regles indicades a la pantalla. Els resultats de cada participant es van anotar en un full de càlcul de Google Drive, on s'enregistraven les puntuacions finals i el nivell assolit en finalitzar la sessió.

6. Avaluació dels resultats obtinguts

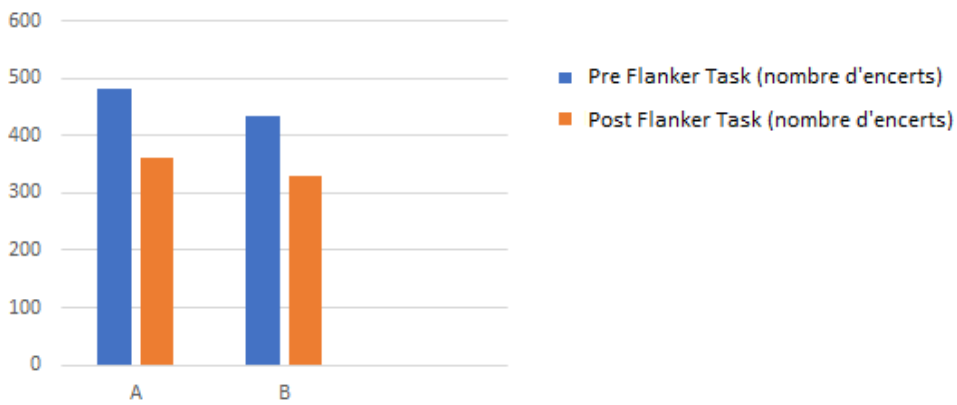
A l'hora de determinar si va haver una millora general en les funcions executives, mesurant els canvis entre pre i post DCCS. Els resultats van indicar que hi va haver una millora significativa en els participants dels grups A i B, amb una puntuació mitjana DCCS post-test ($M = 1.929$, $SD = 0.9$), sent significativament superior a la puntuació mitjana DCCS pre-test ($M = 1.357$, $SD = 0.559$).



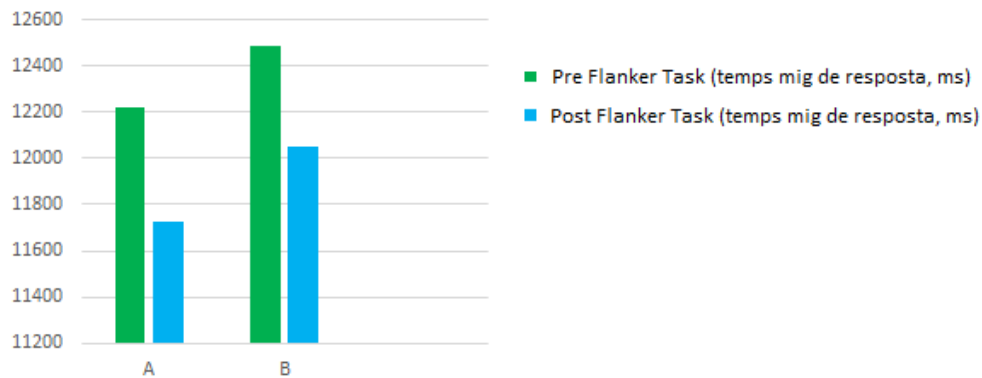
Gràfic 2. Resultats del guany Pre-Post test en DCCS mitjà segons el grups A i B.

Analitzant la gràfica anterior, es va poder confirmar que el guany de les funcions executives avaluades mitjançant el test DCCS va ser significativament superior en ambdós grups, especialment en el grup A.

Respecte la tasca Flanker, es va observar que el nombre d'encerts van ser significativament superiors en finalitzar l'estudi ($M = 32.64$, $SD = 11.6$) respecte la primera sessió ($M = 24.7$, $SD = 11.06$) (gràfica 3) i que el temps mig de resposta va disminuir en els dos grups (gràfica 4), encara que els resultats dels alumnes del grup A van ser millors que els dels alumnes del grup B.

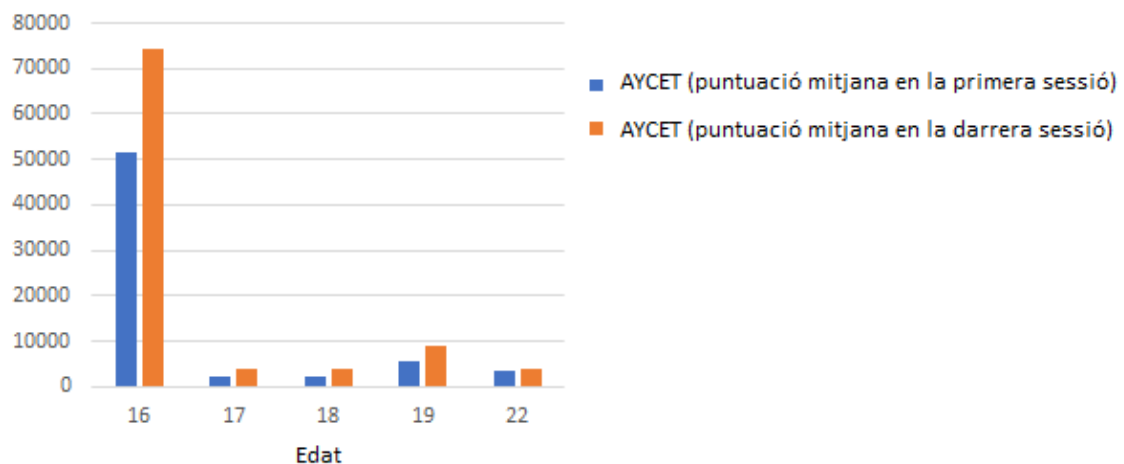


Gràfic 3. Nombre d'encerts segons el grup.



Gràfic 4. Temps mig de resposta segons el grup.

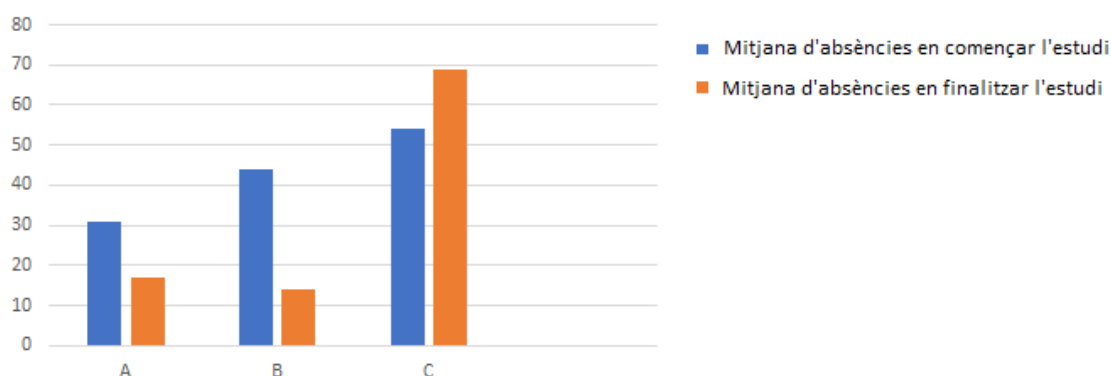
A l'hora d'avaluar la millora de les funcions executives a través del videojoc AY CET, al qual només van jugar els alumnes del grup A, es va observar que els alumnes havien obtingut millors puntuacions en la darrera sessió ($M = 3385.71$, $SD = 635.06$), respecte la sessió inicial ($M = 2328.57$, $SD = 1079.38$). Aquest augment va ser molt superior en els alumnes de 16 anys (adolescents) i es va reduir progressivament segons les seves edats s'acostaven a l'edat adulta (grup 5).



Gràfic 5. Puntuacions mitjanes segons l'edat dels participants.

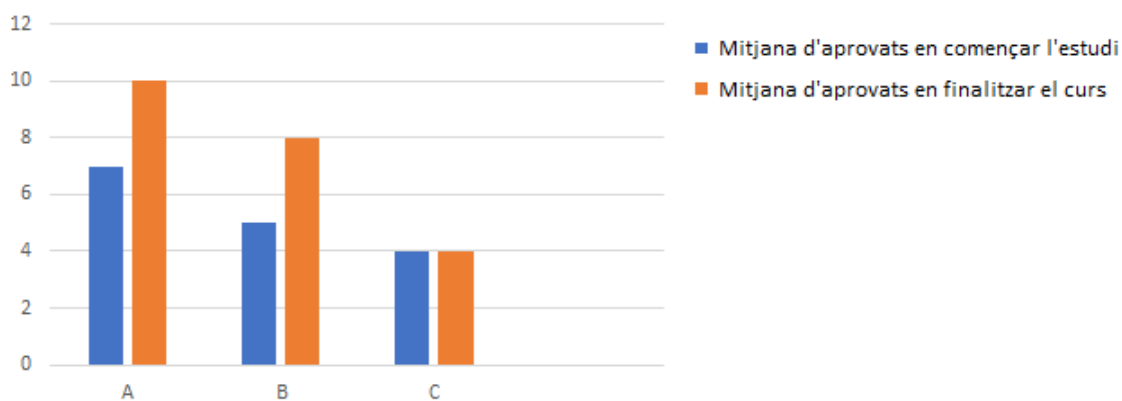
En la darrera sessió, els participants dels grups A i B van contestar un petit qüestionari (Annex 3). Del total de respostes, un 88.7% dels participants va considerar que les activitats havien estat més interessants i motivadores, un 74.6% va considerar que havia millorat gràcies a aquesta metodologia i un 91.2% va considerar que la proposta d'activitats havia estat molt interessant. Els participants del grup A, a més, van indicar les seves impressions sobre el videojoc AY CET. Un 68.7% va indicar que s'havien divertit bastant amb el videojoc i només un 11.3% va indicar que s'havia divertit molt durant aquesta activitat. Un 75.4% va indicar, com a opinió particular, que el videojoc tenia un disseny molt infantil i que el sistema de recompenses no era gaire motivador (en comparació amb altres videojocs i amb la plataforma Classcraft).

Un cop finalitzat aquest estudi, es van revisar les faltes d'assistència de l'alumnat dels tres grups. En el grup C (grup control), van abandonar el curs 2 alumnes durant aquest estudi i les faltes d'assistència van augmentar (37%). En els grups A i B, en canvi, no hi va haver cap abandonament i les absències es van reduir significativament, mantenint les taxes en un 15% (grup A) i un 12% (grup B).



Gràfic 6. Mitjana d'absències dels participants durant l'estudi.

En finalitzar les sessions, 18 alumnes havien aprovat la unitat formativa (un 64.3% del grup), entre el grup A i el grup B, augmentant un 16% el nombre d'alumnes d'aprovats. En el grup C (control), el percentatge d'aprovats no va variar durant l'estudi.



Gràfic 7. Mitjana d'aprovats durant l'estudi.

7. Conclusions i treball futur

La neuroeducació és una nova perspectiva de l'ensenyament basada en la neurociència. La neuroeducació no és una disciplina que pretengui relegar a segon lloc la psicologia i la pedagogia, sinó que desxifra com funciona el cervell i integra els coneixements amb les altres disciplines, confirmant les seves teories a partir d'evidències científiques (Mora, 2017).

El present estudi analitza les principals teories actuals de la neuroeducació i aplica aquestes de manera pràctica, mitjançant diferents activitats que estimulin les seves emocions i avaluant els seus resultats en l'alumnat d'un cicle formatiu de la família professional d'informàtica i comunicacions.

A partir dels resultats obtinguts en aquest treball, es pot concloure que el disseny d'activitats que fomentin l'emoció i la motivació redueixen l'absentisme i milloren el rendiment acadèmic, ja que la motivació estableix un compromís i un vincle sòlid entre l'alumne i el docent (Marina, 2013). Aquesta motivació ha millorat significativament el clima a l'aula. Les dades obtingudes a partir dels tests que avaluen les funcions executives indiquen que les activitats dissenyades han ajudat a madurar als alumnes dels dos grups, especialment als alumnes del grup A.

Els videojocs i les activitats de gamificació són una eina que permet al professor establir una connexió amb els alumnes, ja que a través del joc es poden treballar els coneixements de manera lúdica. Seria interessant, tenint en compte les opinions dels participants, dissenyar aquestes experiències a partir de les seves preferències (ambientació, personatges, recompenses,...) per tal de no perdre la seva atenció.

Tot i que els resultats han estat positius, tant a nivell teòric com a l'aula, aquest és un estudi pilot, ja que la mostra de participants és petita i força homogènia. Un criteri a tenir en compte és la diversitat, les necessitats educatives i la seva relació amb els resultats acadèmics i l'absentisme, factors que no s'han tingut en compte en aquest treball.

Un altre factor que no s'ha pogut avaluar en aquest estudi és el gènere de l'alumnat, degut al baix percentatge de participants del gènere femení. Aquest seria un estudi força extens, ja que a més dels resultats acadèmics actuals, caldria analitzar si existeix correlació i causalitat amb el seu entorn social i els seus aprenentatges en etapes anteriors (Elliot, 2019). L'anàlisi de l'arquitectura (la disposició de l'aula), l'alimentació i l'activitat física són altres agents implicats en l'aprenentatge i trobo interessant analitzar la seva relació amb la motivació.

Com a projecte futur, l'objectiu és realitzar aquest estudi en altres centres, de titularitat pública concertada i privada, per tal d'ampliar la mostra, validar els resultats obtinguts en aquest treball i proposar-lo com a metodologia educativa. Actualment, és fàcil trobar molta literatura relacionada amb els aprenentatges en etapes primerenques i d'ensenyament obligatori, però he trobat a faltar investigació en els ensenyaments post-obligatoris.

8. Agraïments

En aquest treball vull agrair l'ajuda dels meus companys i companyes, que durant tota la meua vida laboral han estat els meus professors i m'han ajudat a trobar la motivació.

En segon lloc, m'agradaria donar les gràcies a la meua tutora en aquest TFM, la Gemma Garcia, per ajudar-me amb els seus consells en aquest treball i per mostrar-me el camí de l'ensenyament.

També vull agrair la confiança que el centre on he pogut realitzar aquest estudi, ja que m'han permès treballar de manera totalment autònoma i han cregut en aquest projecte.

I, finalment, vull donar les gràcies a la meua família. Ells van donar-me les eines per saber encendre el meu motor i han estat la meua motivació en el meu procés d'aprenentatge.

9. Referències

- Bacci, A. V. (1999). The role of glial cells in synaptic function. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 354(1381), 403–409. doi:10.1098/rstb.1999.0393
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, R136-R140. doi:10.1016/j.cub.2009.12.014
- Bhagat, Y. (2017). Diffusion Tensor Imaging of the Human Brain. *Thesis for: PhD Biomedical Engineering*.
- Bueno i Torrens, D. (2017). *Neurociència per educadors*. Associació de Mestres Rosa Sensat.
- Cabeza, R. &. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *J Cogn Neurosci.*, 12(1):1-47.
- Carlson, N. (2010). *Fundamentos de fisiología de la conducta*. Pearson Educación.
- Castillo-Parra, G. G. (2009). Relaciones entre las Funciones Cognitivas y el nivel de Rendimiento Académico en niños. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 9. 41-54.
- Ching, Y.-H. H.-C. (2018). Developing Computational Thinking with Educational Technologies. *TechTrends*. doi:10.1007/s11528-018-0292-7
- Cutting, L. M. (2009). Effects of fluency, oral language, and executive function on reading comprehension performance. *Annals of dyslexia*, 59. 34-54. doi:10.1007/s11881-009-0022-0
- Dekker, S. L.-J. (2012). Neuromyths in Education: Prevalence and Predictors of Misconceptions among Teachers. *Frontiers in Psychology*, 3, 429. doi:10.3389/fpsyg.2012.00429
- Diamond, M. C. (1985). On the brain of a scientist: Albert Einstein. *Experimental Neurology*, 88, Issue 1, 198-204. doi:10.1016/0014-4886(85)90123-2
- Elliot, L. (2019). Bad science and the unisex brain. *Nature*, 566, 453–454.
- Eriksen, B. A. (1974). Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 16(1), 143–149. doi:10.3758/bf03203267 . *Perception & Psychophysics*, 16, No.1, 143-149. doi:10.3758/BF03203267
- Ezekiel, F. B. (2013). Dimensional Change Card Sort performance associated with age-related differences in functional connectivity of lateral prefrontal cortex. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 5, 40-50. doi:10.1016/j.dcn.2012.12.001
- Fields, R. D. (2008). White matter in learning, cognition and psychiatric disorders. *Trends in neurosciences*, 31(7), 361–370.

- Forés, A. G. (2015). *Neuromitos en la educación*. Plataforma Editorial.
- Gold, M. S., Blum, K., Oscar-Berman, M., & Braverman, E. R. (2014). Low dopamine function in attention deficit/hyperactivity disorder: should genotyping signify early diagnosis in children? *Postgraduate medicine*, 126(1), 153–177. doi:10.3810/pgm.2014.01.2735
- Harris, M. A. (2017). Stress in childhood, adolescence and early adulthood, and cortisol levels in older age. *Stress*, 20(2): 140–148. doi:10.1080/10253890.2017.1289168
- Homer B.D., P. J. (2017). Improving high school students' executive functions through digital game play. *Computers & Education*, Volume 49, Pages 20-32,. doi:10.1016/j.compedu.2017.09.011
- Homer, B. D. (2019). Activating adolescents' "hot" executive functions in a digital game to train cognitive skills: The effects of age and prior abilities. *49(20)*.
- Hou, J. R.-K. (2017). Mirror neuron activation of musicians and non-musicians in response to motion captured piano performances. *Brain and cognition*, 115. 47-55. doi:10.1016/j.bandc.2017.04.001
- Jensen, E. (1998). Teaching with the brain in mind. *Association for Supervision and Curriculum Development*.
- Johnson, A. (2019). Cognitive–affective strategies and cortisol stress reactivity in children and adolescents: Normative development and effects of early life stress. *Developmental Psychobiology*. doi:doi.org/10.1002/dev.21849
- Kaller, M. S.-D.-B.-B. (2017). Myelin plasticity and behaviour-connecting the dots. *Current opinion in neurobiology*, 47, 86–92.
- Kariippanon, K. E. (2019). Flexible learning spaces reduce sedentary time in adolescents. *Journal of Science and Medicine in Sport*. doi:10.1016/j.jsams.2019.02.007
- Korzeniowski, C. G. (2011). Desarrollo evolutivo del funcionamiento ejecutivo y su relación con el aprendizaje escolar. *Revista de Psicología*, 7(13).
- Koss, W. A. (2012). Effects of ethanol during adolescence on the number of neurons and glia in the medial prefrontal cortex and basolateral amygdala of adult male and female rats. *Brain research*, 1466, 24–32. doi:10.1016/j.brainres.2012.05.023
- Kuhl, P. (2000). A new view of language acquisition. *Proceedings of the National Academy of Science*, 97, 11850-11857.
- L'Ecuyer, C. (2012). *Educar en l'admiració*. Plataforma Editorial.
- López, D. (2013). La Experiencia de diseñar una asignatura sin exámenes. A: *JENUJ. "Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática. (19es: 2013: Castelló de la Plana)*. Castelló de la Plana: Universitat Jaume I. Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals.

- Marina, J. (2013). *Els secrets de la motivació*. Empreses filosóficas, S.L.
- Mas Salguero, M. J. (2018). *La aventura de tu cerebro*.
- Mayer, R. P. (2019). Young adults learning executive function skills by playing focused. *Cognitive Development*, Volume 49, 43-50. doi:10.1016/j.cogdev.2018.11.002
- Mora, F. (2017). *Neuroeducación: Solo se puede aprender aquello que se ama*. Alianza Ensayo.
- Moreno, L. R.-L. (2010). Trends of dietary habits in adolescents. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(2), 106-12. doi:10.1080/10408390903467480
- Nesbitt, K. F. (2015). Executive Function Skills and Academic Achievement Gains in Prekindergarten: Contributions of Learning-Related Behaviors. *Developmental Psychology*, 51(7). doi:10.1037/dev0000021
- Nestler, E. J. (2001). Molecular basis of long-term plasticity underlying addiction. *Nature Reviews Neuroscience*, 2, 119–128. doi:10.1038/35053570
- Netolicka, J., & Simonova, I. (2017). SAMR Model and Bloom's Digital Taxonomy Applied in Blended Learning/Teaching of General English and ESP. *International Symposium on Educational Technology (ISET) ISET Educational Technology (ISET), 2017 International Symposium on*.
- Owen, A. M. (2005). N-back working memory paradigm: a meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Hum Brain Mapp*, 25(1):46-59.
- Pasquinelli, E. (2012). Neuromyths: Why Do They Exist and Persist? *Mind, Brain, and Education*, v6 n2 p89-96. doi:10.1111/j.1751-228X.2012.01141.x
- Portero, M. &. (2016). *Neuroeducació: aportacions de la neurociència*. Revista Catalana de Pedagogia. doi:10.2436/20.3007.01.85
- Rizzolatti, G. (1994). Nonconscious motor images. *Behavioral and Brain Sciences*, 17(2), 220-220. doi:10.1017/S0140525X00034257
- Rizzolatti, G. (2007). Neuronas espejo y autismo. *Investigación y ciencia*.
- Rymer, R. (1999). *Genie: a Scientific Tragedy*. Harper Paperbacks.
- Schenk, S. L. (2017). Games people play: How video games improve probabilistic learning. *Behavioural Brain Research*, Volume 335, 208-214. doi:doi.org/10.1016/j.bbr.2017.08.027
- Shore, R. (2003). *Rethinking the Brain: New Insights into Early Development*. Families & Work Inst; Revised edition.
- Siegel, J. D. (2001). Toward an interpersonal neurobiology of the developing mind: attachment relationships, "mindsight," and neural integration. *Infant Mental Health Journal*, 22 (1-2), 67-94.

- Spear, L. (2013). Adolescent Neurodevelopment. *J Adolesc Health*, 52(2 0 2): S7–13. doi:10.1016/j.jadohealth.2012.05.006
- Spear, L. P. (2013). Adolescent neurodevelopment. *The Journal of adolescent health : official publication of the Society for Adolescent Medicine*, 52(2 Suppl 2), S7–S13. doi:10.1016/j.jadohealth.2012.05.006
- Stanmore, E. S. (2017). The effect of active video games on cognitive functioning in clinical and non-clinical populations: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 78:34-43. doi:10.1016/j.neubiorev.2017.04.011
- Stins, J. F. (2008). Conditional accuracy in response interference tasks: Evidence from the Eriksen flanker task and the spatial conflict task. *Advances in cognitive psychology*, 3(3), 409–417. doi:10.2478/v10053-008-0005-4
- Thompson, R. A. (2001). Developmental science and the media: Early brain development. *American Psychologist*, 56(1), 5-15.
- Tokuhama-Espinosa, T. (2011). Why mind, brain, and education science is the “new” brain-based education. *New Horizons in Education*.
- Tutkun, O. G. (2012). Bloom’s Revized Taxonomy and Critics on It. *TOJCE: The Online Journal of Counselling and Education*, 1, Issue 3.
- Twenge, J. M. (2017). Decreases in self-reported sleep duration among U.S. adolescents 2009–2015 and association with new media screen time. *Sleep Medicine*, 39, 47-53. doi:10.1016/j.sleep.2017.08.013
- Venton, B. J. (2006). Cocaine Increases Dopamine Release by Mobilization of a Synapsin-Dependent Reserve Pool. *The Journal of Neuroscience*, 26 (12) 3206-3209. doi:10.1523/JNEUROSCI.4901-04.2006
- Wolff, M. &. (2019). The Cognitive Thalamus as a Gateway to Mental Representations. *Journal of Neuroscience*, 39, 3-14. doi:10.1523/JNEUROSCI.0479-18.2018
- Yadav, A. M. (2014). Computational Thinking in Elementary and Secondary Teacher Education. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 14. doi:10.1145/2576872
- Yurgelun-Todd, D. (2007). Emotional and cognitive changes during adolescence. *Current Opinion in Neurobiology*, 17, 251–257.
- Zelazo, P. D.-A. (2013). NIH toolbox cognition battery (CB): Measuring executive function. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 78(4), 16–33. doi:doi.org/10.1111/mono.12032
- Zheng, J. S. (2019). Multiplexing of Theta and Alpha Rhythms in the Amygdala-Hippocampal Circuit Supports Pattern Separation of Emotional Information. *Neuron*.