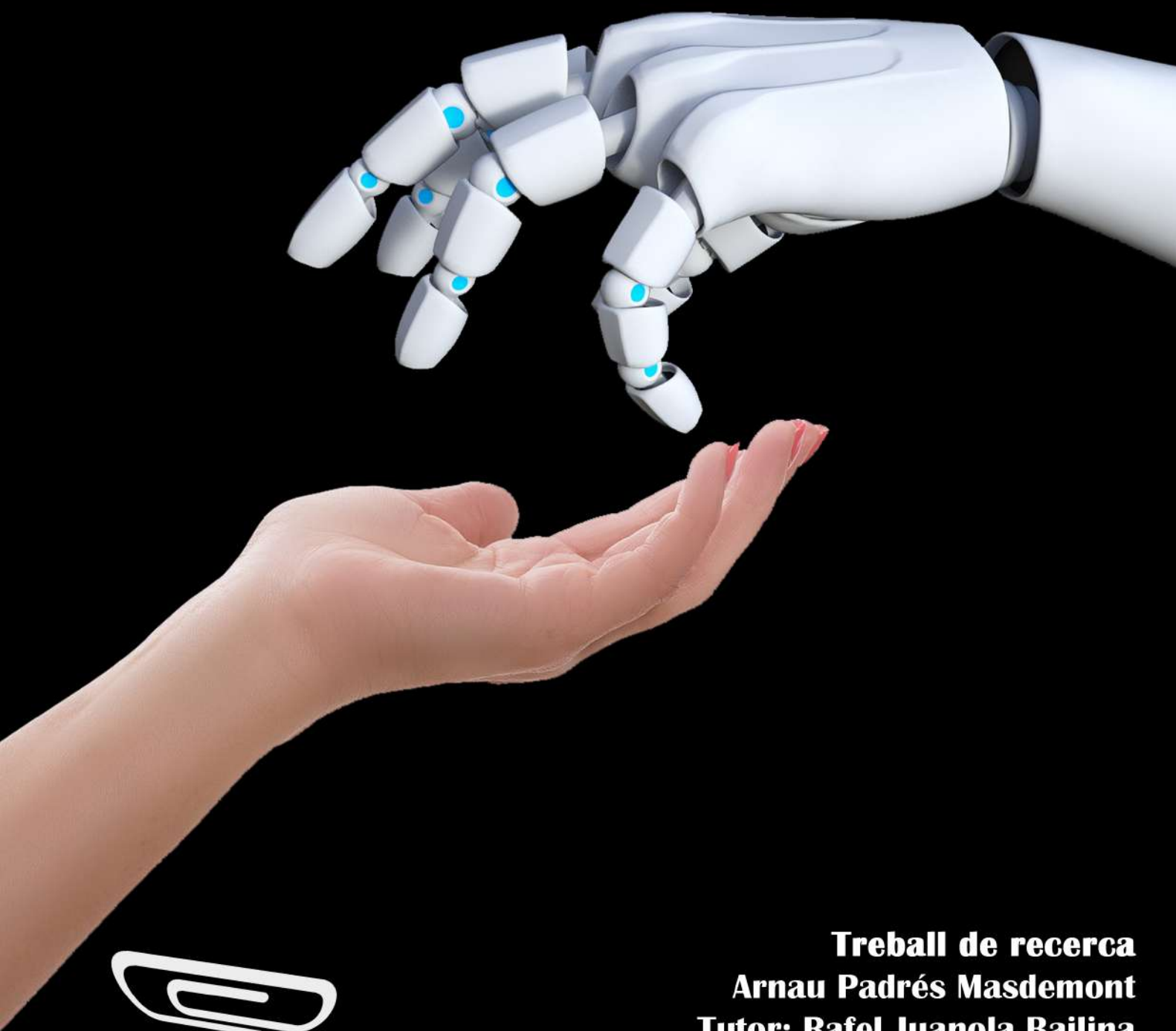


HUMANS I MÀQUINES

Una reflexió sobre la intel·ligència artificial



institut
Brugulat

Treball de recerca
Arnau Padrés Masdemont
Tutor: Rafel Juanola Bailina
02/10/2018

Síntesi. Intel·ligència artificial és, actualment, un oxímoron. Però podria deixar de ser-ho. En un món on les màquines encara no pensen, la tecnologia avança a un ritme sense precedents en el que sembla l'inici d'una gran revolució tecnològica. En aquest treball s'analitzen les possibilitats de futur d'aquesta tecnologia, que passen inevitablement per una comparació exhaustiva amb el cervell i la intel·ligència humana. Partint d'una recerca basada en lectures acadèmiques i divulgatives, converses informals, reflexions personals i un experiment, s'arriba a la conclusió que encara que un cervell i un ordinador tinguin estructures i funcionaments diferents, poden realitzar activitats similars; i que el fet que la tecnologia no pugui fer tot el que fa el cervell no suposa un límit per a les seves possibilitats.

Síntesis. Actualmente, inteligencia artificial es un oxímoron. Pero podría dejar de serlo. En un mundo donde las máquinas aún no piensan, la tecnología avanza a un ritmo sin precedentes en lo que parece ser el inicio de una gran revolución tecnológica. Este trabajo analiza las posibilidades de dicha tecnología, que pasan inevitablemente por una comparación exhaustiva con el cerebro y la inteligencia humana. Partiendo de una investigación basada en lecturas académicas y divulgativas, conversaciones informales, reflexiones personales y un experimento, llega a la conclusión que aunque un cerebro y un ordenador tengan estructuras y funcionamientos distintos, pueden realizar actividades similares; y que, si bien la tecnología aún no puede hacer todo lo que hace un cerebro, esto no supone un límite para sus posibilidades.

Abstract. Artificial intelligence is, nowadays, an oxymoron. This, though, might be coming to an end. In a world where machines still lack the ability to think, technology moves along at a blistering pace in what seems to be the beginning of a great technological revolution. This project analyses the future of this technology, which unavoidably leads to a comparison with the brain and human intelligence. Based on a research on academic and informative readings, informal conversations, personal reflections and an experiment, this paper concludes that even though a brain and a computer have different structures and ways of functioning, they can perform similar activities; and that the fact that technology cannot do everything a brain does, does not limit its possibilities.

Agraïments

Abans de començar, m'agradaria agrair la col·laboració a una sèrie de persones sense l'ajuda de les quals aquest treball no hauria estat possible:

A la meva família, per tot el suport que m'han donat durant aquests mesos i, en particular, a la meva mare, Isabel Masdemont, per llegir, corregir, millorar, criticar i ajudar-me a donar mil voltes al treball.

A la Sílvia Masaneda, pel seu assessorament en temes de psicologia, per la varietat de recursos que m'ha proporcionat i per estar sempre disposada a ajudar.

A l'Anna Padrès, per les seves reflexions sobre la consciència, pel seu assessorament en les traduccions i per les llargues estones de debat.

A en Martí Juanola, per les seves idees sobre la naturalesa del cervell, per la seva col·laboració en l'experiment i per explicar-me gairebé des de zero com funcionen els ordinadors.

A l'Adrià Massanet, per revisar tota la informació sobre els ordinadors.

A totes les persones que han participat d'alguna manera en l'experiment pràctic, per dedicar-me una estona del seu temps.

A tothom que ha llegit el treball, pels seus consells i les seves propostes.

I, especialment, a en Rafel Juanola, el tutor del treball, per saber sempre en què em podia ajudar, per l'orientació que m'ha donat i per la seva disposició al llarg d'aquests mesos, que ha sigut permanent i ininterrompuda.

Índex

Introducció	6
Objectius	7
Metodologia	7
1. La biologia del cervell	9
1.1. La revolució cognitiva	9
1.2. El cervell a grans trets	10
1.3. Parts del cervell.....	11
1.3.1. L'escorça cerebral.....	12
1.3.2. El cerebel	13
1.3.3. El bulb raquidi	13
1.4. Neurones: un món d'impulsos elèctrics	13
1.5. La plasticitat del cervell	14
2. La visió de la psicologia	15
2.1. Mètodes d'investigació	15
2.2. Funcions del cervell	16
2.2.1. Consciència.....	16
2.2.2. Atenció	16
2.2.3. Percepció	16
2.2.4. Memòria	17
2.2.5. Llenguatge	17
2.2.6. Emocions	18
2.2.7. Pensament.....	18
2.3. Relació entre la memòria i l'aprenentatge	18
2.3.1. Experiment pràctic.....	19
2.4. Situació de l'estudi del cervell.....	20
3. Computadores clàssiques.....	22
3.1. Algoritmes	22
3.1.1. L'origen dels algoritmes	22
3.1.2. El programa d'Ada Lovelace.....	23
3.1.3. La màquina de Turing.....	24
3.1.4. L'arquitectura de Von Neumann	24
3.2. Portes lògiques	25
3.3. El sistema binari.....	27
3.4. Programació	28

4. Cap a la intel·ligència artificial	29
4.1. El concepte d'intel·ligència	29
4.2. En què s'està treballant?	30
4.2.1. Xarxes neuronals	30
4.2.2. Ordinadors quàntics	31
4.3. Què ens depara el futur?	32
4.3.1. Segons la ciència-ficció	33
4.3.2. Segons la comunitat científica	34
5. Què diuen les proves?	36
5.1. El test de Turing	36
5.2. Programes que juguen	37
5.3. El misteri de la consciència	38
5.4. Els sentiments i les emocions	40
5.5. Un Univers d'algoritmes?	40
6. Humans i màquines	42
7. Conclusions	45
8. Bibliografia i webgrafia	47
Annexos	50

Introducció

Des de fa molts segles, la paraula intel·ligència i els seus derivats han estat reservats a activitats, processos i comportaments humans i, en alguns casos, animals. Però ja fa uns anys que s'ha començat a utilitzar per a descriure comportaments de robots i ordinadors. Parlem de televisors intel·ligents, *smartphones*, intel·ligència artificial i ciutats intel·ligents amb tota naturalitat, sense tenir en compte les implicacions de les nostres paraules. Però, fins a quin punt són precises aquestes afirmacions? Podem parlar de màquines intel·ligents? Per abordar aquestes qüestions parlarem del cervell, que és l'òrgan on rau la nostra intel·ligència, i dels ordinadors, que sembla que estan arrabassant l'exclusivitat d'aquesta capacitat al regne animal.

Per una banda, el cervell és, sens dubte, l'objecte més complex que coneixem. És l'òrgan que gestiona tota la informació i els moviments del nostre cos, i és el responsable que puguem pensar, reflexionar, relacionar-nos, experimentar sensacions, tenir sentiments i interpretar la realitat. D'alguna manera, és tot el que som.

Per l'altra banda, en la tecnologia es troben els objectes més complexos que hem creat. Tot i que no fa gaires dècades que existeixen, els ordinadors i els sistemes automàtics són part imprescindible de les vides dels humans del món occidental. Els trobem als nostres mòbils, els nostres televisors, les nostres neveres, els nostres microones, els nostres cotxes... La vida de la majoria de persones, sense tecnologia, seria radicalment diferent.

A priori, no sembla que la ment i els ordinadors tinguin gaire res en comú, però si els analitzem amb detall, veiem que estan intrínsecament relacionats. Hi ha qui argumenta que una de les finalitats del desenvolupament d'intel·ligència artificial és l'estudi del cervell però, encara que pugui ser així, aquesta no és la seva relació principal. Ja fa unes dècades que les màquines realitzen tasques que, abans que existissin, estaven dedicades exclusivament als humans. Primer, van començar fent activitats que requereixen esforç físic, com les feines mecàniques en cadenes de producció però, últimament, estem veient com la seva àrea d'acció està passant a les activitats cognitives que tradicionalment han estat competència exclusiva del cervell i la ment humana. Això planteja una sèrie de preguntes. Podem dir que els ordinadors són intel·ligents? El cervell és un ordinador? Hi ha ordinadors més potents que el cervell?

Durant els últims temps, els avenços en el camp tecnològic han estat enormes, i no seria d'estranyar que en els pròxims anys el progrés en aquest sentit fos igualment excepcional. El ritme amb què avança la tecnologia és vertiginós, fins al punt que no ens deixa temps per reflexionar-hi i sorgeixen preguntes sobre què significa la mateixa existència dels ordinadors. Els ordinadors pensen? Senten? Tenen ment?

Però aquestes preguntes no es poden respondre sense passar abans per un dels camps més profunds de la filosofia. Què és una ment? Fins a quin punt depèn de l'estructura a la qual està associada? Pot existir independentment? I, més important, és necessari que sigui biològica o pot estar feta de components electrònics?

Al llarg del treball s'intentarà respondre o, si més no, plantejar i estudiar aquestes preguntes. Per tal de marcar uns objectius clars, totes aquestes preguntes s'han sintetitzat en quatre grans objectius independents, que són els que s'abordaran en el treball.

Objectius

El treball s'inicia amb quatre objectius concrets:

- ✓ Aprendre, contrastar i explicar quin és el coneixement actual del cervell, quines són les àrees de coneixement que l'estudien i fins a quin punt podem afirmar que el coneixem.
- ✓ Analitzar quin és l'estat actual de la intel·ligència artificial, quines són les seves possibilitats en un futur i com es podrien desenvolupar.
- ✓ Comparar objectivament el funcionament i les utilitats d'un cervell humà i d'un ordinador, i determinar fins a quin punt i en quin sentit podem dir que s'assemblen.
- ✓ Determinar, a partir del coneixement actual sobre la matèria, si és possible crear una computadora que simuli, experimenti o substitueixi el que fa un cervell. En cas que no sigui possible, determinar a partir d'una estimació si es podria fer en el futur.

Metodologia

La recerca d'informació per a aquest treball s'ha fet a partir de llibres, pàgines web i treballs acadèmics, que es troben indicats en la bibliografia i webgrafia. A més, s'han consultat i contrastat les parts teòriques amb dos especialistes en la matèria, la psicòloga Sílvia Masaneda i l'informàtic Adrià Massanet, i s'ha parlat amb diverses persones que han ofert visions diferents dels temes que aborda el treball. També s'ha conduït un experiment pràctic, que es troba en l'apartat 2.3.1, per tal d'estudiar amb més detall el comportament del cervell en l'àrea de l'aprenentatge.

Es tracta d'un treball multidisciplinari, ja que la complexitat dels temes que aborda fa que s'hagin d'estudiar des de diverses àrees de coneixement. En aquest cas, s'ha recorregut a la biologia, la psicologia, la història, la neurociència, la informàtica i la intel·ligència artificial per tal d'intentar donar resposta a les qüestions plantejades.

Pel que fa a l'estructura del treball, es divideix en sis parts. Les dues primeres, *1. La biologia del cervell* i *2. La visió de la psicologia*, estan dedicades a l'estudi estructural i funcional del cervell, des dels punts de vista de la biologia i la psicologia, respectivament.

La tercera part, 3. *Computadores clàssiques*, se centra a explicar el funcionament dels ordinadors que tenim avui dia, i la quarta, 4. *Cap a la intel·ligència artificial*, parla de les innovacions tecnològiques que hi està havent i quines són les possibilitats d'una futura intel·ligència artificial real. La cinquena, 5. *Què diuen les proves*, està dedicada a comparar el cervell i els ordinadors des del punt de vista dels resultats que donen, abordant temes filosòfics com les emocions i la consciència. Finalment, la sisena, 6. *Humans i màquines*, conté una comparació basada en el contingut de tots els altres apartats i en treu conclusions.

1. La biologia del cervell

En aquest apartat, analitzarem detalladament el cervell des del punt de vista de la biologia. Però, el cervell no sempre ha sigut igual estructuralment ni ha tingut les mateixes funcions, així que primer veurem com va esdevenir l'estructura que coneixem avui dia.

1.1. La revolució cognitiva

Fa uns 70.000 anys, la nostra espècie, l'*Homo sapiens*, vivia a la Terra amb una gran varietat d'éssers vius, entre els quals es trobaven altres espècies d'humans, com els neandertals. Aleshores, l'*Homo sapiens* tenia unes capacitats cognitives semblants a les de les altres espècies d'humans i no tenia cap avantatge evolutiu respecte la resta d'espècies, fet que el convertia en una espècie qualsevol.

Va ser en el període comprès entre fa 70.000 i 30.000 anys quan la nostra espècie va experimentar un canvi radical en l'estructura del cervell que va permetre l'aparició de noves maneres de pensar i comunicar-se. Tot i que les causes d'aquesta variació són encara majoritàriament incertes, la teoria més acceptada sosté que en el nostre ADN van tenir lloc una sèrie de canvis genètics accidentals i aleatoris que van alterar les connexions cerebrals dels individus. Aquesta mutació, que es va estendre fins a arribar a tots els individus de l'espècie ja que era clarament positiva per a la supervivència, es va acabar convertint en el pas evolutiu que va permetre el domini de la nostra espècie sobre totes les altres. Aquesta superioritat es deu al fet que les noves connexions cerebrals van permetre l'adquisició d'unes noves capacitats i el desenvolupament d'unes altres d'una manera que no tenia precedents. Actualment, aquesta transició entre un estat cerebral i l'altre es coneix com a revolució cognitiva (Harari, 2011).

Un dels canvis que va tenir més impacte va ser el que es va produir en el llenguatge. El llenguatge no ha sigut ni serà mai una competència exclusiva dels éssers humans. Actualment existeixen molts animals que es comuniquen entre ells de maneres molt diferents, i el mateix passava fa 70.000 anys. De fet, s'ha pogut observar que els sàpiens que vivien abans de la revolució cognitiva ja tenien un llenguatge consolidat, però aquest no tenia res a veure amb el que es va desenvolupar a partir de la revolució cognitiva.

El nou llenguatge era increïblement flexible, i permetia enllaçar sons diferents que combinats d'unes maneres específiques significaven conceptes diferents. Per tant, podíem rebre, comunicar i emmagatzemar una quantitat d'informació molt major que la resta d'organismes. Les conseqüències d'aquest canvi van ser enormes. Per exemple, amb el nou llenguatge va ser possible planificar i dur a terme accions més complexes en àmbits com la caça, de manera que aquesta va ser molt més efectiva. També va permetre la creació de grups més grans i cohesionats, ja que es podia retenir més informació relacionada amb les relacions socials i, per tant, mantenir contacte amb més individus. La

revolució cognitiva va iniciar, també, la capacitat humana d'inventar ficcions. Això es deu al fet que el nou llenguatge va permetre, gràcies a la seva complexitat, transmetre informació sobre coses que no existien en el món físic, com ara sobre entitats comercials o sobre els drets i els deures dels membres d'un grup (Harari, 2011).

La revolució cognitiva, en definitiva, va ser el pas evolutiu que va transformar el cervell humà en l'òrgan que coneixem actualment. Es considera que aquest canvi va marcar l'inici de la història ja que, a partir d'aquell moment, el comportament humà ja no es pot explicar únicament a partir de la biologia, sinó que és imprescindible recórrer al relat històric per entendre el desenvolupament de l'*Homo sapiens*.

Però el més sorprenent de tot és que, pel que sabem, les capacitats cognitives d'aquelles persones que vivien fa 30.000 anys (després de la revolució cognitiva) no eren en cap sentit inferiors a les que tenim actualment. Aquells humans, per tant, no tindrien cap problema per entendre l'economia del món occidental o les teories més complexes de la física actual. El coneixement de la realitat que tenim ara, doncs, és fruit de l'aportació de cada generació basada en el coneixement que la generació anterior els havia transmès. En altres paraules, el coneixement de la realitat que tenim ara no seria possible sense la transmissió d'informació entre generacions, la memòria i l'aprenentatge.

1.2. El cervell a grans trets

La configuració cerebral que va sorgir d'aquella revolució no es diferenciava en res, almenys a nivell macroscòpic, de la configuració anterior. Que sapiguem, les funcions que ja tenia el cervell en relació als altres òrgans del cos no va variar i tampoc ho van fer les seves característiques físiques.

Així doncs, el cervell humà és, i sempre ha sigut, l'òrgan central del sistema nerviós. Té una forma ovalada i es troba situat a la part superior del cap. Entre les seves funcions principals, que es desenvoluparan detalladament més endavant, trobem el control de les activitats corporals, el processament i la retenció de la informació que rep dels òrgans dels sentits i la presa de decisions.

Tot i que la variabilitat entre individus és molt alta, la mida del cervell oscil·la entre els 1.200 i el 1.400 centímetres cúbics i el seu pes acostuma a rondar el quilo i mig. Si comparem el pes del cervell amb el de tot el cos, només representa aproximadament entre un 2% i un 3% del total. No obstant, el cervell consumeix el 25% de l'oxigen que respirem i, per tant, gasta el 25% de l'energia total del cos. Aquesta dada és especialment rellevant si la comparem amb altres animals, ja que no hi ha cap altra espècie que inverteixi una quantitat tan gran d'energia en aquest òrgan. Però aquesta energia no es reparteix de forma equitativa a totes les parts de l'òrgan. L'anomenada substància grisa, que es troba a la part exterior del cervell, consumeix gairebé un 95% d'aquesta energia tot i ocupar menys

de la meitat del volum cerebral, mentre que la substància blanca, que es troba a la part interior de l'òrgan, només gasta un 5% de l'energia ocupant més de la meitat de l'espai (Bueno, 2016).

La diferència entre la substància grisa i la substància blanca resideix en la col·locació de les neurones, que són les cèl·lules bàsiques que formen el sistema nerviós¹. La substància grisa conté els cossos de les neurones mentre que la substància blanca conté les connexions que s'estableixen entre elles. Es calcula que hi ha unes 100.000 milions de neurones en un cervell humà. Cada una d'elles és alhora genèrica i única i, com a conjunt, s'adapten als canvis a través de la plasticitat de les connexions que s'estableixen entre elles². Aquesta capacitat d'adaptar-se a l'ambient i els seus canvis respon a l'objectiu final del cervell que, al cap i a la fi, és el de tots els òrgans del cos: la nostra supervivència. La creativitat, l'aprenentatge, l'empatia o les emocions no són més que estratègies de supervivència que radiquen en l'activitat cerebral (Bueno, 2016).

1.3. Parts del cervell

El cervell es divideix en diferents parts, ja que no totes les parts de l'òrgan treballen de la mateixa manera. Tot i que durant la història s'han acceptat divisions diferents, la visió moderna del cervell proposa una divisió basada en zones especialitzades en les diferents activitats mentals.

Determinar quines parts del cervell intervenen en cada activitat no és una tasca senzilla. Des dels inicis del segle XX s'han intentat diversos experiments per donar-hi resposta, però la majoria d'aquests experiments requerien de l'ús de tècniques potencialment perjudicials per al subjecte, com la ingestió de colorants o material radioactiu i, a més a més, no donaven bons resultats. No va ser fins l'any 1990 que es va començar a desenvolupar un mètode que canviaria per sempre la percepció del cervell i el seu estudi.

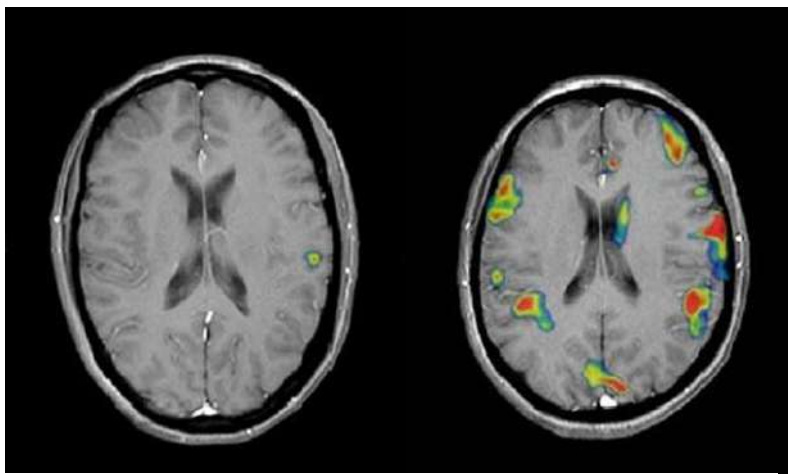


Figura 1. Ressonància magnètica funcional. Font: www.dicyt.com.

¹ El funcionament de les neurones s'explica de forma detallada en l'apartat 1.4.

² La plasticitat del cervell s'explica de forma detallada en l'apartat 1.5.

Aquest mètode, anomenat ressonància magnètica funcional, es basa en el fet que les zones actives en cada moment consumeixen molt més oxigen que la resta per tal de poder sostenir aquesta activitat. L'oxigen es transporta dins els glòbuls vermells unit a una proteïna, l'hemoglobina, l'estructura de la qual incorpora àtoms de ferro. A partir d'aquest principi, només cal detectar en quina zona del cervell hi ha més àtoms de ferro per saber quina zona està activa en cada moment. Per fer-ho, s'utilitza un aparell que permet, d'una forma completament no invasiva i des de l'exterior, detectar la quantitat d'àtoms de ferro en cada regió (Figura 1). D'aquesta manera només cal un subjecte humà i demanar-li que practiqui qualsevol activitat -des de córrer i jugar a cartes fins a recordar el passat o imaginar el futur- i estudiar com es comporta el seu cervell (Bueno, 2016).

Abans de començar a explicar les parts, cal deixar clar que tot i que, tal i com s'ha pogut comprovar, existeixen àrees especialitzades en les diferents activitats, aquestes no es poden entendre individualment. El cervell, tal com l'entendem avui dia, és indivisible i totes les parts, d'alguna manera, intervenen en tots els processos. Totes les parts estan connectades i entenem l'activitat cerebral com a les interaccions entre elles. Quan diem que una part està especialitzada és perquè predomina durant la realització d'una determinada activitat, però la seva interconnexió amb les altres parts és imprescindible. Les parts principals de l'encèfal³ són l'escorça cerebral, el cerebel i el bulb raquidi.

1.3.1. L'escorça cerebral

L'escorça cerebral, també anomenada cervell, és la part més gran de l'encèfal, i és on es duen a terme tots els processos cognitius i intel·lectuals (León-Carrión, 1995). L'escorça cerebral es divideix en l'hemisferi esquerre i l'hemisferi dret. És un mite bastant comú el que diu que l'hemisferi esquerre s'encarrega de les activitats més racionals i l'hemisferi dret de les activitats més emotives, però això no és cert; almenys no del tot. S'ha pogut observar que cada hemisferi és dominant en una sèrie d'activitats. El dret, per exemple, predomina en la percepció, la ubicació espacial i l'expressió no verbal, mentre que l'esquerre ho fa en el llenguatge i l'expressió verbal. Les persones que tenen l'hemisferi dret més desenvolupat tendeixen a ser més creatives i tenen la imaginació més desenvolupada, mentre que les que tenen l'hemisferi esquerre més dominant acostumen a destacar en les activitats més racionals com el raonament lògic (Bueno, 2016). Quant a les activitats motores, l'hemisferi esquerre s'encarrega de la part dreta del cos, i viceversa. Cada hemisferi es divideix en quatre lòbuls: el frontal, el parietal, el temporal i l'occipital. Cada un d'ells té unes funcions específiques, i, al mateix temps, es divideix en subdivisions més petites i més específiques.

³ Normalment, s'anomena encèfal a tot el conjunt de parts del sistema nerviós que es troben dins del crani, i es reserva la paraula cervell per referir-se únicament a l'escorça cerebral.

1.3.2. El cerebel

El cerebel se situa just sota l'escorça cerebral, a la part inferior del cervell. Les seves funcions són bàsicament motores. Juntament amb les àrees motores de l'escorça cerebral, coordina els moviments voluntaris del cos. És per això que quan es lesiona aquesta part, els moviments corporals passen de ser suaus i controlats a ser descoordinats i irregulars (Martin, 1998). També emet senyals inconscients que ajuden a mantenir l'equilibri i la postura.

1.3.3. El bulb raquidi

El bulb raquidi és la part superior de la medul·la espinal i es troba just davant del cerebel. La seva funció és connectar el cervell amb la medul·la espinal i regular els moviments inconscients del cos. Fins i tot quan hi ha una aturada total del cervell, el bulb raquidi pot continuar actiu per assegurar la respiració i els batecs del cor. En cas de lesió, causa la mort immediata.

L'encèfal també té altres regions més petites, però la seva repercussió en les activitats cognitives, que són les més rellevants per als objectius del treball, no és significativa.

1.4. Neurones: un món d'impulsos elèctrics

Tota l'activitat cerebral es basa en les connexions que s'estableixen entre les neurones i en les transmissions d'informació en forma d'impulsos elèctrics que es produeixen entre elles. Per entendre com es produeixen aquestes transmissions, primer cal conèixer la composició física d'una neurona.

Una neurona està formada per un cos cel·lular, on hi ha els orgànuls cel·lulars i el nucli de la cèl·lula amb el material genètic, i una sèrie de prolongacions de diferents mides que permeten que es connecti amb altres neurones (Figura 2). Hi ha dos tipus diferents de prolongacions: les dendrites -que formen un arbre de ramificacions i es troben enganxades al cos cel·lular- i l'axó -que és la prolongació més llarga i se situa al costat oposat de les dendrites. Les neurones es connecten entre si a través de la sinapsi, que és la unió entre l'axó d'una neurona amb una dendrita d'una altra. Aquesta unió, però, no és física, ja que

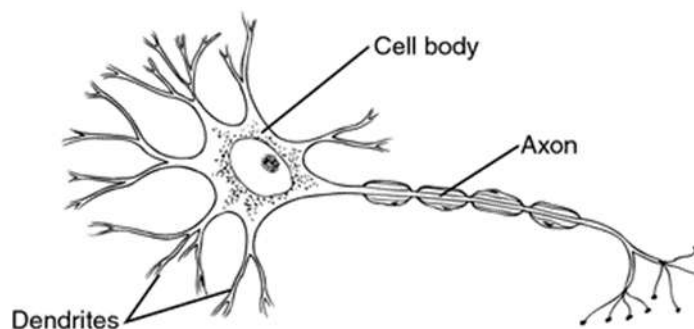


Figura 2. Esquema d'una neurona idealitzada. Font: www.studyblue.com.

les dues parts estan separades per l'anomenat espai sinàptic que distancia l'axó i la dendrita uns 30 nanòmetres.

El fet que una cèl·lula tingui moltes dendrites permet que aquesta pugui estar connectada amb molts axons, formant així la xarxa neuronal. Cada un dels 100.000 milions de neurones que formen un cervell humà està connectat de mitjana amb 1.000 neurones diferents, tot i que s'estima que pot arribar a establir connexions amb 10.000 neurones. A través d'aquests enllaços passen constantment impulsos nerviosos de naturalesa elèctrica, que sempre van des de l'axó cap a la dendrita. Aquests impulsos, però, són molt més complicats que els corrents elèctrics que viatgen pels cables que nosaltres construïm. Mentre que uns es basen en el moviment dels electrons a través d'un material conductor, el moviment dels altres resideix en la transmissió de càrrega entre ions de sodi, potassi i clor, fet que en complica molt el funcionament (Penrose, 1989).

La quantitat i la diversitat d'informació que es gestiona a través d'aquest sistema és impressionant. Es calcula que, en termes informàtics, s'administren uns 2.500 terabytes d'informació i, encara que l'activitat cerebral no es basi en la capacitat d'emmagatzemar informació sinó en la seva capacitat d'adaptació i el seu dinamisme, no deixa de ser una dada sorprenent (Bueno, 2016). Si intentem analitzar l'activitat del cervell segons els esdeveniments puntuals que creen els seus impulsos i les seves conseqüències directes, ens adonem que la nostra vida mental és extraordinàriament complexa i està plena de paradoxes, i que encara no s'ha assolit el coneixement suficient per entendre-la⁴.

1.5. La plasticitat del cervell

Seria injust, però, considerar el cervell simplement com a una col·lecció fixa de neurones, ja que les connexions entre les neurones, com s'ha comentat en l'apartat 1.2, canvien constantment. No és que canviï el posicionament en l'espai de les neurones, els axons o les dendrites, sinó que són les unions sinàptiques entre les diferents parts les que varien. L'estreta separació que uneix els axons i les dendrites, sota certes condicions, es pot contraure i trencar-se. De la mateixa manera, els axons també poden allargar les seves prolongacions i crear nous contactes amb altres neurones. Aquests canvis, que són constants en el temps, no són una complicació accidental sinó que constitueixen una característica essencial del funcionament del cervell.

Aquesta capacitat de canvi, a més de ser útil en la recuperació de lesions tant anatòmiques com funcionals, respon a la necessitat de l'home d'adaptar-se a la diversitat i als canvis de l'entorn. A més, és la base de la primera gran diferència fonamental entre la ment humana i la intel·ligència artificial: **la plasticitat**. Com veurem més endavant, els ordinadors en cap cas tenen aquesta propietat.

⁴ En l'apartat 2.4. es fa una reflexió més completa sobre l'estat actual del coneixement del cervell.

2. La visió de la psicologia

L'enorme complexitat estructural del cervell provoca que s'hagi hagut d'estudiar des de diverses àrees. Fins i tot s'han creat noves àrees d'estudi per poder-lo analitzar. La biologia, en aquest cas, no ens permet ni de bon tros conèixer el funcionament del cervell, fet que ha propiciat la creació d'una altra ciència, la psicologia, que estudia la ment relacionant les seves funcions amb la conducta humana. Aquest apartat està dedicat a l'estudi del cervell des del punt de vista psicològic. Indirectament, també hi ha altres disciplines que estudien el comportament humà i, conseqüentment, la ment humana com, per exemple, la filosofia o la història; però el seu enfocament no és rellevant per a aquest treball.

Concretament, l'àrea de la psicologia que s'encarrega del cervell és la neuropsicologia, que estudia les funcions mentals i la seva relació amb la conducta i l'aprenentatge. Estudia, també, com les lesions en les estructures del sistema nerviós, sobretot a l'encèfal, repercuteixen en els processos cognitius, psicològics i emocionals del comportament humà. Però la neuropsicologia no analitza físicament el cervell. Així doncs, com el pot estudiar?

2.1. Mètodes d'investigació

Els principals mètodes emprats en la investigació psicològica són tres: l'experimentació, la correlació i l'observació.

El mètode més utilitzat és l'experimentació, que pretén establir relacions causals entre variables. Normalment, s'estudia la relació entre una variable dependent i una variable independent. Per exemple, si es vol determinar si hi ha una relació entre el consum de cafeïna i la capacitat memorística, s'escolliran persones que hagin consumit diferents quantitats de cafeïna, que seria la variable independent, i s'estudiarà la seva relació amb la memòria, que seria la variable dependent. Es considera que l'experimentació necessita que es manipulin les variables, que en l'exemple seria el consum de cafeïna.

La correlació, en canvi, no manipula les variables directament, sinó que ho fa a través d'un procés de selecció. D'aquesta manera, es disposa de diferents valors de la variable, que es poden comparar amb els resultats de la variable dependent. Un exemple d'un estudi per correlació seria la relació entre les notes de l'institut i les notes de la universitat. S'agafarien, per separat, alumnes que haguessin tingut notes altes, mitjanes i baixes en l'institut, i es compararien les notes amb les de la universitat (Universidad de Jaén, 2010).

L'observació (o descripció) és la tècnica més antiga de totes, i es continua utilitzant en l'actualitat. Consisteix a anotar successos sense cap tipus de manipulació de variables, simplement descriure'ls tal com són. A partir d'aquest principi, es poden establir relacions causals igual que en l'experimentació, però amb una eficàcia considerablement menor.

2.2. Funcions del cervell

Segons la psicologia, el cervell presenta set funcions pràctiques⁵.

2.2.1. Consciència

En termes psicològics, es defineix la consciència com el coneixement que un té d'ell mateix i de l'entorn que l'envolta. Inclou també la experimentació de qualsevol sensació, emoció o experiència subjectiva. Tot i que és molt difícil definir-la i estudiar-la, totes les persones en plenes facultats sabem què és perquè en tenim una i perquè és la que domina la nostra vida. Es pot considerar que la consciència és l'única funció cognitiva del cervell i que totes les altres en són característiques o subdivisions.

En l'apartat 5.3. *El misteri de la consciència*, es continua parlant de la consciència i del misteri que encara suposa per a la ciència de l'actualitat.

2.2.2. Atenció

L'atenció és la funció que permet que un estímul captat pels sentits es situï en el focus de la consciència, de manera que rep una consideració superior a la de la resta d'estímuls. Actua com a filtre d'estímuls, donant prioritat als que són més rellevants i concentrant-se en aquests. Si no poguéssim estar atents, la nostra ment es perdria en un immens mar d'estímuls, els nostres sentits es desbordarien i la informació no es podria processar. L'atenció, per tant, fa possibles altres funcions cerebrals, com la percepció i la memòria, que, si no poguéssim estar atents, no serien possibles. En la majoria dels casos, actua de forma inconscient.

És un procés coordinat per diferents àrees cerebrals. Hi actuen parts dels lòbuls frontals, els lòbuls parietals, els lòbuls temporals i el tronc cerebral⁶ (Gutiérrez-Soriano *et al.*, 2017).

2.2.3. Percepció

La percepció és el procés que ens permet reconèixer i identificar patrons en els estímuls que rebem dels sentits i, d'aquesta manera, interpretar la realitat i interactuar-hi. Ens permet, també, donar significat a aquests estímuls i interactuar amb el món que ens envolta (Gutiérrez-Soriano *et al.*, 2017). El procés de la percepció genera en la nostra ment la consciència dels objectes captats pels sentits i, per tant, és la base de l'aprenentatge. La percepció funciona de la següent manera. Els estímuls nerviosos viatgen dels sentits a l'escorça cerebral, on hi ha diferents zones que interpreten la informació. Les zones que s'encarreguen de la percepció de la visió, per exemple, es

⁵ Aquesta classificació pot variar segons la font que es consulti.

⁶ El tronc cerebral està format pel bulb raquidi i altres regions menors.

troben a l'escorça visual primària⁷ i les de l'audició, als lòbuls temporals (Gutiérrez-Soriano *et al.*, 2017).

Així, la interiorització d'un estímul en el cervell es du a terme en dues fases: la identificació, que es fa a partir de l'atenció, i la interpretació, que es fa a partir de la percepció.

2.2.4. Memòria

La memòria és la capacitat de retenir informació durant un cert període de temps. La informació es rep a partir d'estímuls percebuts pels sentits, i es considera que es troba en la memòria quan l'individu pot recordar l'estímul i aquest ja no és present.

Segons la durada, hi ha tres tipus de memòria: la memòria immediata, la memòria a curt termini i la memòria a llarg termini. La memòria immediata dura escassament una fracció de segon i és simplement una lleugera prolongació de l'estímul. La memòria a curt termini (o memòria de treball) dura entre 15 i 30 segons, i emmagatzema només una petita part dels estímuls sensorials, destriada per l'atenció. Finalment, la memòria a llarg termini pot durar dies, mesos i, fins i tot, anys.

La memòria se sustenta en diferents grups de neurones, com el lòbul temporal, el lòbul occipital i l'hipocamp⁸, que és el centre gestor de la memòria. Els nervis transporten els estímuls nerviosos a l'hipocamp, que els distribueix per diverses zones especialitzades en aquesta funció. Quan els estímuls es troben a l'hipocamp, considerem que és memòria a curt termini i quan ja estan distribuïts pel cervell, considerem que és memòria a llarg termini.

2.2.5. Llenguatge

El llenguatge humà és un sistema flexible de símbols que ens permet comunicar les nostres idees, pensaments i sentiments. A diferència dels llenguatges animals, el llenguatge humà permet intercanviar informació no només sobre objectes i esdeveniments, sinó també sobre sentiments i idees abstractes (Morris *et al.*, 2005). La funció del llenguatge està relacionada amb altres funcions mentals. De la mateixa manera que la memòria té un paper important en la creació de llenguatge, aquest és fonamental per entendre altres funcions cerebrals, com la consciència i el pensament.

Es calculen que en el món es parlen uns 6.000 idiomes diferents (Duh, 2014). Tot i aquesta gran diversitat, la gran majoria de llengües es basen en el mateix sistema estructural. Es basen en unitats bàsiques i universals de so anomenats fonemes⁹, que s'agrupen per formar morfemes i paraules, als quals s'assignen significats. Els morfemes són les unitats

⁷ L'escorça visual primària és una regió del lòbul occipital.

⁸ L'hipocamp és una regió del lòbul temporal.

⁹ El nombre de fonemes varia segons la llengua. En castellà, per exemple, hi ha 22 fonemes, en anglès, 45.

bàsiques de comunicació, que s'agrupen per formar frases i textos més complexos. Quan una persona vol comunicar una idea, comença amb un pensament, seguidament escull les paraules i frases que expressen la idea i, finalment, produeix els sons que componen aquestes paraules i frases (Chomsky, 1986).

2.2.6. Emocions

Les emocions són reaccions subjectives que tenen lloc en la consciència i provoquen una resposta psicològica positiva o negativa. Universalment, es descriuen sis tipus d'emocions diferents: alegria, tristesa, ira, aversió, por i sorpresa (Smith, 2008), que són vitals per a la supervivència i la reproducció de tots els mamífers, inclosos els humans. Però no està gaire clar si són les pròpies emocions les que vetllen per la supervivència de l'individu. Hi ha teories que afirmen que el que vetlla per la nostra supervivència és un sistema complex d'impulsos elèctrics que tenen lloc en el cervell, i que les emocions només en són un efecte secundari (Harari, 2016).

En l'apartat 5.4. *Els sentiments i les emocions*, se segueix parlant de les emocions i del seu possible caràcter algorítmic¹⁰.

2.2.7. Pensament

El pensament, com a funció mental, fa referència a la capacitat del cervell de formar idees i relacionar-les. Inclou el raonament lògic i la presa de decisions (Eguliuz *et al.*, 2013). També ens permet crear representacions mentals, que són el fonament del pensament abstracte. El pensament inclou la participació d'altres funcions mentals com la percepció, l'atenció, la memòria i el llenguatge, sense les quals un pensament complex no seria possible. Els processos que fan possible el pensament es troben sobretot en el còrtex prefrontal¹¹ (Gutiérrez-Soriano *et al.*, 2017).

2.3. Relació entre la memòria i l'aprenentatge

L'aprenentatge és l'adquisició de coneixements i destreses, mentre que la memòria és la retenció d'aquesta informació (Lieberman, 2012). La memòria, com hem vist, es considera una funció mental, però l'aprenentatge no. Això és degut al fet que, mentre la memòria és un fet bastant concret amb el qual es poden identificar unes determinades estructures cerebrals, l'aprenentatge és el propi canvi de totes les estructures cerebrals. En conseqüència, assignar alguna part del cervell a l'aprenentatge és impossible i, per tant, no es considera una funció (Gutiérrez-Soriano *et al.*, 2017).

Tanmateix, els dos processos sovint s'utilitzen conjuntament. Per exemple, per determinar l'aprenentatge d'una persona, en els centres educatius, s'utilitzen proves que

¹⁰ La definició del terme algorisme es troba en l'apartat 3.1.

¹¹ El còrtex prefrontal és la part més frontal del lòbul frontal.

valoren sobretot si l'alumne recorda la informació, o sigui, si la reté en la memòria. Però, realment, la memòria i l'aprenentatge estan biològicament relacionats?

2.3.1. Experiment pràctic

Per tal de conèixer millor la seva relació, s'ha portat a terme un experiment pràctic dins l'àmbit de la neuropsicologia. L'objectiu de l'experiment és determinar si existeix una relació directa entre la memòria de treball d'un individu amb la seva capacitat d'aprenentatge, que s'ha mesurat segons els seus resultats acadèmics. La memòria s'ha determinat segons uns testos de memòria de treball de l'escala d'intel·ligència de WISC-V.

a) Procediment

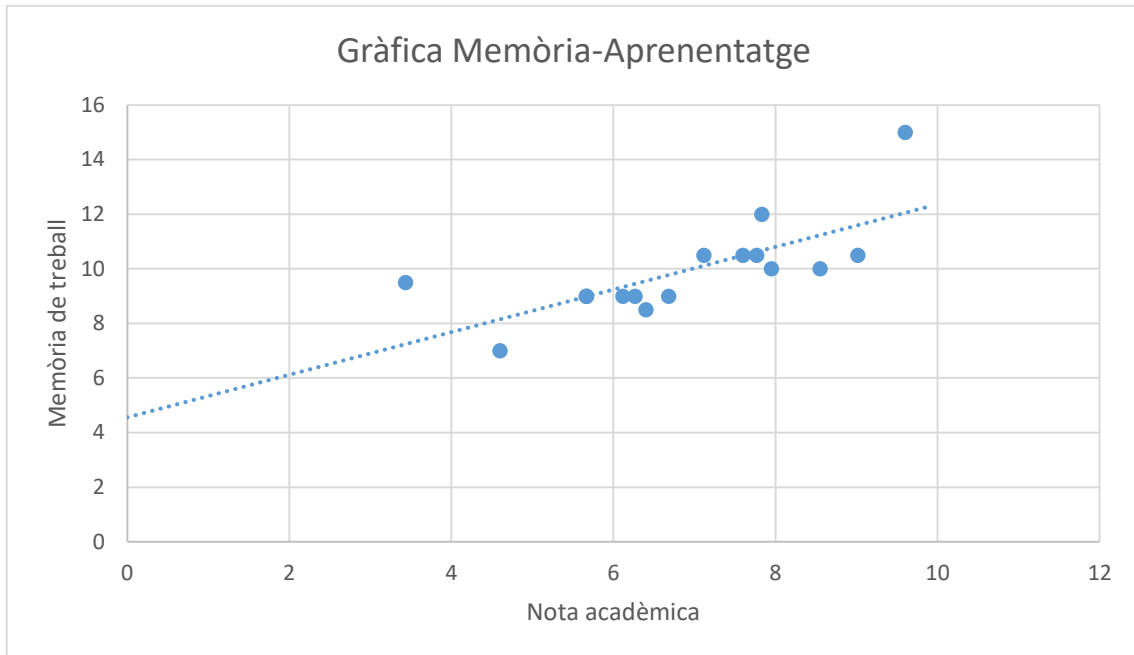
L'experiment es basa en el mètode de la correlació. La mostra està formada per 17 alumnes de primer de batxillerat de l'Institut Josep Brugulat del curs 2017-2018. Les proves de memòria de treball eren dues: una de memòria auditiva (*Dígitos*, de WISC-V), que consistia a recordar i manipular seqüències de números, i una de memòria visual (*Span de dibuixos*, de WISC-V), que consistia a identificar d'una llista un determinat nombre d'imatges prèviament memoritzades. El mètode de puntuació que s'ha utilitzat és l'establert per WISC-V per a alumnes des de 16 anys i 8 mesos a 16 anys i 11 mesos¹², que dona una puntuació en cada prova d'entre 1 i 19, on un 10 correspon a la mitjana de la població. La qualificació general de memòria de treball d'una persona s'ha fet a partir de la mitjana aritmètica de les dues proves. Les proves s'han realitzat individualment entre els dies 23 de maig i 17 de juny de 2018. Pel que fa als resultats acadèmics, s'ha utilitzat la mitjana de les notes de matemàtiques i anglès dels tres trimestres de primer de batxillerat.

b) Resultats

Els resultats de l'experiment han estat positius (Gràfica 1). En la gràfica, es pot veure com, en la majoria dels casos, una bona puntuació en memòria de treball implica uns resultats acadèmics alts. Es veu com la majoria d'estudiants que han obtingut una puntuació menor a 10 en el test de memòria i, per tant, la seva memòria es troba per sota de la mitjana, tenen una nota acadèmica inferior a 7. Per contra, els estudiants amb una puntuació de memòria superior a 10, tendeixen a obtenir una nota acadèmica que va del 7 al 10¹³. Així doncs, podem afirmar que existeix una connexió directa entre la memòria i l'aprenentatge.

¹² S'ha escollit un únic barem sense separar els alumnes per franges de 3 mesos, com proposa WISC-V, perquè és el mateix sistema que s'utilitza per a les avaluacions acadèmiques.

¹³ Per veure els resultats complets, veure Annex I.



Gràfica 1. Relació entre el resultat en les proves de memòria de treball i els resultats acadèmics dels subjectes.

L'experiment posa en evidència la segona gran diferència fonamental entre la ment i els ordinadors: **la unitat**. La ment només es pot entendre com a una unitat, i així ho demostra el fet que dues facetes diferents, com són la memòria i l'aprenentatge, estiguin intrínsecament relacionades. En el cas de les màquines, com veurem en els següents apartats, tenen un apartat específic que s'encarrega de la memòria i només alguns ordinadors incorporen un apartat separat que els permet aprendre. Un ordinador és un conjunt de components que executen funcions diferents, mentre que el cervell només es pot entendre com a una unitat.

Aquesta diferència té conseqüències directes com, per exemple, el fet que una lesió a una part de la ment sovint sigui irreparable mentre que, si s'espantla una peça d'un ordinador, només cal reemplaçar-la per una d'igual i l'ordinador com a conjunt pot tornar a funcionar perfectament.

2.4. Situació de l'estudi del cervell

Per ser francs, malgrat tot el que s'ha explicat fins ara i tenint en compte que només és una explicació a grans trets del que se sap, la ciència sap poca cosa del cervell, la ment i la consciència. No és que no en sapiguem res. De fet, en sabem moltes coses. Sabem quina és la unitat bàsica que constitueix el cervell, la neurona, i sabem perfectament com funciona i com es relaciona amb les altres neurones. Mitjançant ressonàncies magnètiques funcionals, també s'han pogut identificar correlacions i fins i tot vincles causals entre corrents elèctrics del cervell i diverses experiències subjectives. Podem saber també, només observant el cervell, si una persona està desperta, somniant, conscient, enfadada o

enamorada. Fins i tot, es poden induir alguns d'aquests estats estimulants elèctricament les neurones adjacents (Harari, 2016).

Però com el moviment de càrregues d'un lloc a l'altre es tradueix en un sentiment, una imatge o una consciència, no en tenim ni idea i, més important, no sabem quin podria ser el benefici evolutiu d'aquest fenomen. Ningú sap com ni per què una diversitat de reaccions bioquímiques i corrents elèctrics al cervell creen l'experiència subjectiva del dolor, la ràbia o l'amor; ni de com el moviment d'impulsos elèctrics pot arribar a crear la consciència. Simplement, ni ho sabem, ni tenim el coneixement científic suficient a les nostres mans per poder-ho esbrinar. Podria ser que ni tan sols coneguéssim les lleis físiques que ho permeten.

Des del punt de vista científic, s'explica que el cervell és un sistema molt complex. Encara que l'enviament i la recepció de cada senyal elèctric sigui un fenomen bioquímic simple i que podem entendre, és la interacció entre tots aquests milers de milions de senyals elèctrics que crea les experiències subjectives i la consciència (Harari, 2016). Aquesta explicació, tanmateix, es limita a indicar que és un sistema molt complicat, i que no sabem com un tipus de fenomen (impulsos elèctrics) en crea un altre de molt diferent (experiències subjectives). Sense cap mena de dubte, estem encara molt lluny de desxifrar el misteri del cervell i la ment.

3. Computadores clàssiques

Durant el transcurs de la història hi ha hagut milers d'invents que es poden considerar que han substituït parcialment funcions del cervell. El paper, sense anar més lluny, és un mètode eficient per emmagatzemar informació i, per tant, podríem dir que substitueix la memòria.

Ningú té cap dubte, però, que en les últimes dècades els avenços en aquest sentit han estat excepcionals i, indiscutiblement, han vingut de la mà de la tecnologia. Els ordinadors ja poden realitzar tasques que fins ara havien estat reservades exclusivament al pensament humà i al cervell, amb una velocitat i precisió molt superiors. Tanmateix, el sistema que utilitzen és completament diferent al del cervell i el mateix passa amb la seva estructura. Com veurem en aquest apartat, tot el seu funcionament es basa en el principi dels algoritmes.

3.1. Algoritmes

La base de tots els ordinadors creats per l'ésser humà són els algoritmes. Un algorisme, per definició, és un conjunt de regles per a resoldre un problema en un nombre finit de passos (DIEC2). Es parteix d'un valor inicial, denominat entrada¹⁴, al qual s'aplica l'algorisme, o sigui, el conjunt de passos marcats per unes regles fixades. Un cop acabat el procés, en resulta un altre valor, anomenat sortida¹⁵. Aquesta idea, que pot semblar molt simple, ha donat peu no només a la informàtica moderna sinó també a desenes de debats filosòfics sobre el seu nivell de presència en la realitat. Però la idea de l'algorisme no va aparèixer amb els ordinadors, sinó que ja existia des de molt abans.

3.1.1. L'origen dels algoritmes

La idea de l'algorisme va sorgir inicialment en el camp de les matemàtiques. El terme *algorisme* prové del nom del científic persa *Al-Khowârizm*, que va ser un dels matemàtics més influents del segle IX. No obstant això, es coneixen algoritmes molt anteriors a la seva obra.

Un dels més famosos, per exemple, és l'algorisme d'Euclides, que data de l'antiga Grècia. La seva funció és determinar quin és el màxim comú divisor de dos nombres. L'entrada de l'algorisme, per tant, seran els dos nombres i la sortida serà el seu màxim comú divisor. L'algorisme funciona de la següent manera: es parteix dels dos nombres de l'entrada que, en primer lloc, es divideixen entre ells (el més gran pel més petit). Seguidament, es pren el residu de la divisió i el divisor, i es divideix de nou el més gran pel més petit seguint el mateix procediment. Es repeteix el procés tantes vegades com faci falta, i s'acaba quan el

¹⁴ En llenguatge informàtic, s'anomena *input*, que és la traducció de entrada a l'anglès.

¹⁵ En llenguatge informàtic, s'anomena *output*, que és la traducció de sortida a l'anglès.

3.1.3. La màquina de Turing

L'any 1936, Alan Turing (Figura 4) va proposar matemàticament un model de màquina capaç de dur a terme un procediment de càlcul a través d'un algoritme, al qual va anomenar màquina analítica. Cal destacar que ell no va construir la màquina físicament, sinó que va plantejar la màquina com una idea i va descriure què seria capaç de fer.



Figura 4. Alan Turing. Font: nytimes.com.

La seva idea es basava en un dispositiu que es mou per una cinta de longitud infinita, i és capaç de llegir, escriure i esborrar símbols sobre ella. La cinta es divideix en caselles juxtaposades al llarg de la cinta, que poden contenir o bé 0 o bé 1. A més, la màquina respon a un conjunt finit d'estats interns que determinen, juntament el valor de les caselles, quina acció realitzarà la màquina. Les instruccions, que serien els algoritmes, indiquen quin ha de ser el moviment de la màquina en cada una de les combinacions dels factors anteriors. Un exemple d'instrucció seria: si el dispositiu es troba sobre un 0 i l'estat intern és el número 23, el dispositiu es mourà una casella a l'esquerra i passarà a l'estat número 8.

Així doncs, l'entrada de l'algoritme consisteix en un seguit de 0 i 1 escrits a la cinta i un estat intern inicial. Després que el dispositiu executi tot el procés i arribi a un estat intern determinat, la instrucció del qual consisteix en finalitzar l'operació, resultarà un altre seguit de 0 i 1 que serà la sortida de l'algoritme.

Malgrat la simplicitat del seu funcionament, la lògica de qualsevol algoritme es pot adaptar perquè una màquina de Turing el pugui dur a terme. Es pot utilitzar per realitzar qualsevol operació matemàtica, i qualsevol procediment que pugui executar un ordinador es pot reduir al format de la màquina de Turing.

3.1.4. L'arquitectura de Von Neumann

La màquina de Turing, però, no era realitzable ja que, per començar, partia d'una cinta infinita. John Von Neumann, considerat per molts com un dels científics més importants del segle XX, va definir un ordinador que seguia el model referencial de la màquina de Turing però que, a més, era factible. El model incloïa una unitat de control, un mecanisme d'entrada i un mecanisme de sortida de dades, una unitat de processament (a través d'algoritmes) i una unitat de memòria per guardar instruccions i informació. L'analogia d'aquestes dues últimes parts amb les de la màquina de Turing és clara: la unitat de

memòria correspon a la cinta infinita i la unitat de processament correspon al dispositiu mòbil. Pel que fa als mecanismes d'entrada i sortida i a la unitat de control, es podria dir que les seves funcions, en el cas de la màquina de Turing, estaven implícites en la cinta.

La totalitat de sistemes informàtics actuals segueixen al peu de la lletra l'arquitectura de Von Neumann. Si bé és cert que cada vegada són més potents i eficaços, el seu funcionament segueix estrictament lligat a les idees de Turing i Von Neumann qui, per aquest motiu, estan considerats els pares de la informàtica tal i com la coneixem avui dia.

3.2. Portes lògiques

La base de la computació són els algorismes, però aquests només són una idea abstracta. Un algorisme no existeix per si mateix, sinó que necessita una entitat que el dugui a terme. D'una manera similar, les invencions de Turing i Von Neumann només eren conceptes, i els seus inventors no les van construir mai. Per portar aquestes idees a la realitat, es fa a través de l'electricitat, o sigui, el moviment de càrregues elèctriques. Més concretament, utilitzem circuits controlats per uns dispositius anomenats transistors. Podríem dir que la manera com els algorismes i l'arquitectura de Von Neumann es tradueixen a la informàtica i al món físic és a través de seqüències de transistors.

Un transistor és un component electrònic molt simple que consta de tres terminals: un emissor, que emet càrrega elèctrica; un col·lector, que en rep, i una base, que serveix per regular el corrent entre el col·lector i l'emissor. L'emissor només emetrà la càrrega que rebí del col·lector si la base també està alimentada amb corrent. D'aquesta manera, a partir d'un o d'una sèrie de transistors es pot regular i controlar el corrent elèctric que passa per un circuit.

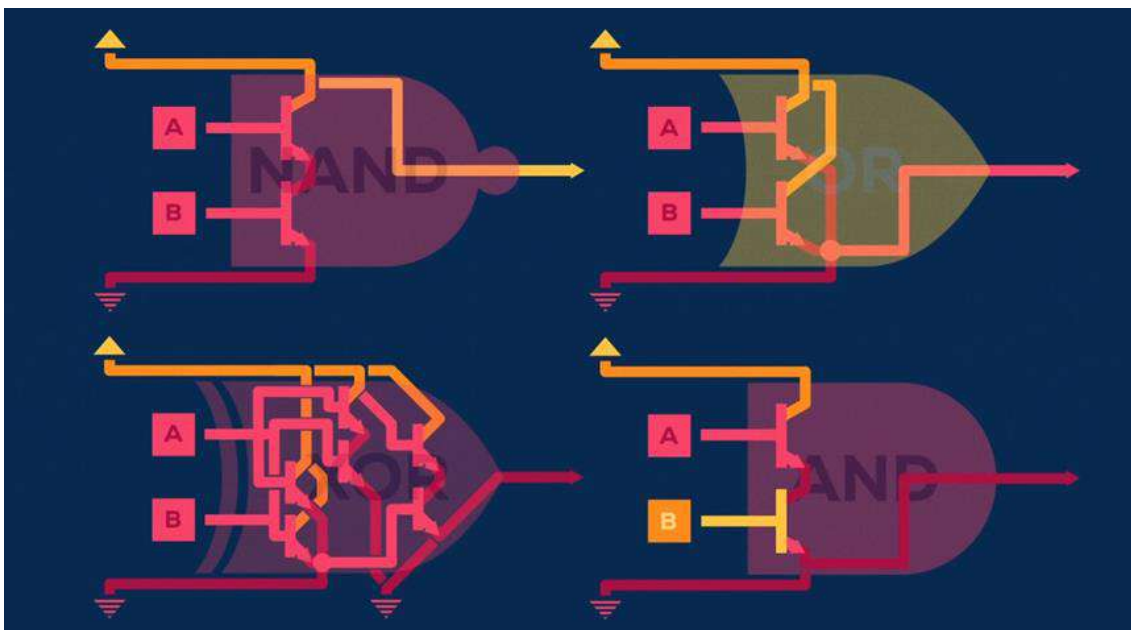


Figura 5. Esquema que mostra com una sèrie de transistors pot formar una porta lògica OR, XOR, AND i NAND, que és una combinació de AND i NOT. Font: kurzgesagt.org.

La combinació d'una manera determinada d'una sèrie de transistors pot formar portes lògiques (Figura 5), que són uns dispositius que, segons la informació que reben a través d'una o dues entrades, generen una sortida. Una entrada o una sortida només pot estar de dues maneres, activada (amb corrent) o desactivada (sense corrent). Cada porta lògica determinarà si la seva sortida emet o no corrent segons el corrent que rebí per les entrades i la regla que ha de seguir.

Segons la regla que segueixen, es diferencien quatre tipus de portes lògiques:

- **Porta AND.** Funciona amb dues entrades. Només s'activa la sortida si ambdues entrades estan activades.
- **Porta OR.** Funciona amb dues entrades. S'activa la sortida si almenys una de les dues està activada.
- **Porta XOR.** Funciona amb dues entrades. S'activa només si una de les dues està activada (si les dues estan activades no s'activarà)
- **Porta NOT.** Funciona únicament amb una entrada i es limita a canviar el senyal d'activat a desactivat i de desactivat a activat.

Aquests quatre tipus de portes lògiques, combinats entre ells, poden formar totes les combinacions de modificació de corrent possibles (Figura 6). En aquests sistemes, la seqüència de portes lògiques en si correspon a l'algoritme. L'entrada de l'algoritme, o sigui, el valor inicial, és una seqüència d'activacions i no activacions que, després de passar per la seqüència de portes lògiques, es converteix en una altra seqüència d'activacions i no activacions, que és la sortida. Com que a través de portes lògiques es poden formar totes les modificacions de corrent possibles, sempre es podrà crear un

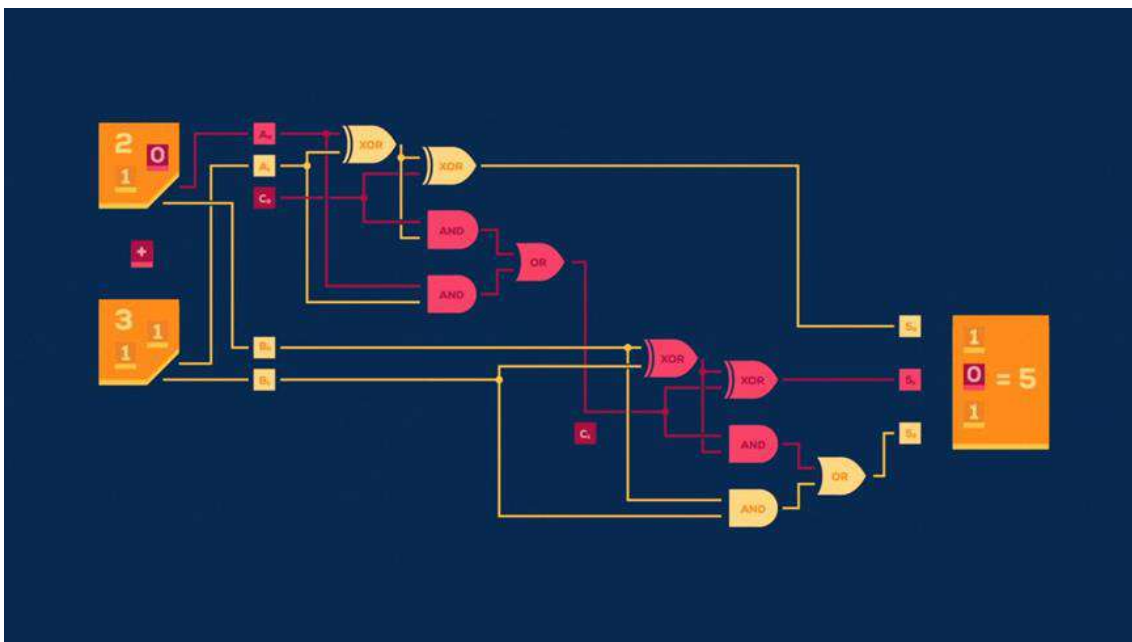


Figura 6. Exemple de combinació de portes lògiques que executa un algoritme. En aquest cas, realitza una suma en binari. Font: kurzgesagt.org.

algoritme que pugui executar qualsevol operació, sempre que l'entrada i la sortida estiguin formades per seqüències d'activacions i no activacions.

3.3. El sistema binari

Per tal de poder emmagatzemar i enviar la informació que tracten les portes lògiques, s'utilitza un codi, que permet escriure les seqüències d'activacions i no activacions en una altra forma de representació, en aquest cas números. Atès que les portes lògiques treballen amb dos nivells de voltatge (activat i desactivat), el sistema que s'utilitza per codificar la informació està basat en només dos símbols, el 0 i l'1, que segueixen un sistema de numeració de base 2, també anomenat binari. D'aquesta manera, en comptes de descriure l'entrada com una seqüència d'activacions i no activacions, la podem transcriure a una seqüència d'1 (activacions) i 0 (no activacions). Fent el procés a la inversa, aquest sistema també ens permet que l'entrada i la sortida de la seqüència de portes lògiques siguin números (en binari) i que, per tant, l'algoritme executi operacions matemàtiques.

Aquesta informació s'emmagatzema en unitats d'informació, que poden contenir o bé un 0 o bé un 1. Al llarg del temps s'han utilitzat molts sistemes per emmagatzemar les unitats, des de targetes amb forats a condensadors elèctrics, però els dos que s'utilitzen més actualment són la memòria flash, que es basa en una matriu de cèl·lules de memòria, i els discs durs, que es basen en la magnetització direccional. Per mesurar la memòria que té un aparell, es fa a través d'unes unitats anomenades bytes. Un byte equival a 8 unitats d'informació, que s'anomenen bits¹⁶. Per mesurar grans quantitats de memòria, es fa a partir dels seus múltiples, que són el kilobyte (1000 bytes), el megabyte (1000 kilobytes), el gigabyte (1000 megabytes) i el terabyte (1000 gigabytes). Per fer-nos una idea de la capacitat dels dispositius de memòria actuals, un USB emmagatzema de mitjana uns 16 gigabytes, que equivalen aproximadament a cent quaranta mil milions d'unitats d'informació.

A més de poder emmagatzemar la informació que manipulen les portes lògiques, aquest sistema també permet emmagatzemar altres tipus d'informació. Les imatges, per exemple, s'emmagatzemen segons el color de cada píxel. Cada color es pot representar com un determinat valor de vermell, un determinat valor de verd i un determinat valor de blau; així que només cal escriure els tres valors en binari i ja tenim el color d'un píxel¹⁷ que, juntament amb molts altres píxels, formen una imatge. Per minimitzar l'espai, s'utilitzen tècniques per comprimir la imatge. D'una manera similar s'emmagatzemen vídeos, cançons i documents de text.

¹⁶ Un bit és o bé un 0 o bé un 1.

¹⁷ Un píxel està format per tres LED, una de vermella, una de verda i una de blava, que s'encenen amb més o menys intensitat per formar tots els colors.

3.4. Programació

Una seqüència suficientment complicada de portes lògiques et permet executar algoritmes diferents i, fins i tot, crear algoritmes a partir de la combinació d'unes regles fixes. L'acció de combinar aquestes regles fixes per a elaborar algoritmes més complexos s'anomena programar, i els nous algoritmes creats a partir de les regles fixes s'anomenen programes. Quan es programa, es podria dir que la informació que es dona a la seqüència de portes lògiques a partir del codi binari no és una entrada que genera una sortida, sinó que és un conjunt d'instruccions que indiquen una manera determinada d'executar una sèrie d'algoritmes ja establerts.

Els programes, però, no s'escriuen a partir d'1 i 0. S'escriuen a través de llenguatges de programació -com C++, Java o Delphi- que, a través d'uns programes anomenats compiladors, es tradueixen a binari per tal que la seqüència de portes lògiques pugui captar la informació¹⁸. Els programes en binari, a la pràctica, provoquen que certs transistors s'obrin o es tanquin, fet que acaba connectant els circuits correctes per a executar la instrucció.

Els llenguatges de programació treballen, com hem dit, a partir de la combinació d'unes regles fixes, que són com unes estructures de control. Una de les estructures de control més bàsiques, per exemple, és l'*if*¹⁹, que executarà una determinada funció si es compleix una determinada condició. També hi ha el *while*²⁰, que executarà una determinada funció mentre se segueixi complint una determinada condició, o el *for*²¹, que executarà una determinada funció un determinat nombre de vegades. La programació es considera l'últim nivell de la informàtica. A partir d'aquesta, els informàtics programen els ordinadors i creen tots els programes que coneixem, que poden anar des d'editors de textos fins a jocs d'ordinador, passant per cercadors i sistemes que, vulgarment, anomenem intel·ligents.

El funcionament dels ordinadors posa en evidència la tercera gran diferència fonamental entre la ment humana i la intel·ligència artificial: **els límits**. Mentre que la composició de la ment humana permet una certa capacitat d'adaptació, segurament gràcies a la seva plasticitat, els ordinadors en cap cas poden realitzar cap tasca que no sigui la que mana el seu rígid sistema d'algoritmes. Podríem dir que els límits de la ment humana estan marcats pels sentits i que pot ser flexible dins d'aquests, mentre que els límits dels ordinadors estan marcats per la persona que els ha programat.

¹⁸ També hi ha llenguatges, com HTML o JavaScript, que no es compilen, sinó que s'executen directament.

¹⁹ En anglès, significa si (condicional).

²⁰ En anglès, significa mentre.

²¹ En anglès, significa per a.

4. Cap a la intel·ligència artificial

Podríem dir que estem en el camí cap a la intel·ligència artificial real. Malgrat tot el que hem assolit, que es resumeix en l'apartat 3, encara no hem sigut capaços de crear una màquina intel·ligent. No sabem si serà possible crear-ne una en el futur o no, però el cas és que estem en procés de, almenys, descobrir-ho. Aquest capítol està dedicat a analitzar en quin punt d'aquest camí estem i quines són les possibles expectatives futures. Però per poder estudiar aquests punts, primer cal entendre què és una intel·ligència.

4.1. El concepte d'intel·ligència

La definició del concepte d'intel·ligència sempre ha estat un tema de debat. No hi ha una definició acordada sobre què és la intel·ligència ni tampoc hi ha un consens sobre què constitueix una intel·ligència. Les idees dels experts poden arribar a ser molt diferents i, fins i tot, contradictòries. Per tal de poder tractar el tema, es parteix de la premissa que una persona humana posseeix una intel·ligència, que s'utilitza com a referent. Sovint també s'ha atorgat aquest terme a altres espècies d'animals i, fins i tot, a algunes màquines, tot i que la seva existència en aquests cossos no és tan trivial.

Abans de poder determinar on podem trobar una intel·ligència, cal que la definim. La paraula intel·ligència prové del mot llatí *intelligens*, que significa “que entén” (Pigem, 2016). La majoria de diccionaris, tot i que utilitzen fórmules diferents per a descriure el terme, també remarquen que la capacitat d'entendre és indispensable perquè existeixi una intel·ligència. A diferència de la capacitat d'aprendre, que es pot atorgar, fins i tot, a ordinadors, el fet d'entendre requereix necessàriament d'una consciència que, pel que sabem, els ordinadors no posseeixen. Per tant, tot i que actualment ja s'utilitza el terme “intel·ligència artificial” per a descriure el comportament d'algunes màquines, el cert és que aquestes en cap cas es poden qualificar d'intel·ligents.

Marvin Minsky, filòsof i expert en intel·ligència artificial, descrivia la intel·ligència artificial com a la realització de sistemes informàtics amb un comportament que qualificaríem d'intel·ligent en un ésser humà. O sigui, no són intel·ligents sinó que simulen un comportament intel·ligent.

Les màquines no pensen, només calculen. Poden calcular prodigiosament aplicant simplement regles mecàniques i poden arribar a aparentar ser intel·ligents, però això no és veritable intel·ligència. No hi ha intel·ligència en un ordinador ni en una calculadora, sinó en els qui els han programat perquè executin unes determinades funcions. Intel·ligència artificial és, actualment, un oxímoron. L'única intel·ligència que coneixem és natural (Pigem, 2016).

4.2. En què s'està treballant?

Les innovacions més modernes en el camp de la tecnologia intenten fugir de la rigidesa que comporta una seqüència de portes lògiques que executa un algoritme. L'exemple més clar d'aquest objectiu són les xarxes neuronals.

4.2.1. Xarxes neuronals

Una xarxa neuronal, com indica el seu nom, és un sistema computacional l'estructura del qual imita la de les neurones del cervell. Està constituïda per un conjunt de processadors interconnectats entre si que realitzen una transferència mútua d'informació, anomenada activació. Cada processador rep una sèrie d'activacions i, a partir d'aquestes, en genera unes altres que transmet a uns altres processadors. Per analogia amb l'estructura del cervell, s'anomenen sinapsis a les interconnexions entre processadors, neurones als processadors i xarxa neuronal a la xarxa completa de processadors.

Cal remarcar, però, que les similituds amb el cervell humà són només relatives a l'estructura de les xarxes, i no al funcionament. De fet, imitar el funcionament del cervell és, actualment, impossible, ja que ni tan sols sabem com funciona. Aquests suposats models no reproduïxen res real en el cervell humà, sinó que es tracta d'uns sistemes que mostren en alguns casos un comportament similar al del cervell humà. De nou, no és un sistema intel·ligent sinó que simula un comportament intel·ligent.

Havent deixat això clar, podem començar a conèixer com funcionen. La idea de fons d'aquests sistemes és que no se'ls dona inicialment un algoritme determinat, sinó que el sistema, en l'anomenada fase d'aprenentatge, genera el seu propi algoritme. Per tal que creï l'algoritme, durant la fase d'aprenentatge se li mostren un seguit d'entrades juntament amb les sortides que es desitja que generi per a cada valor, de manera que la xarxa, a través del seu algoritme d'aprenentatge, ajusta els paràmetres interns i ponderacions que determinen la dinàmica de l'algoritme per tal de donar una sortida al màxim d'ajustada en cada cas. En altres paraules, l'algoritme inicial, a partir d'exemples d'entrades i sortides, genera l'algoritme definitiu.

A diferència dels ordinadors clàssics, els models amb xarxes neuronals permeten explorar simultàniament diverses hipòtesis, per la qual cosa s'acostumen a distingir de la informàtica clàssica. Es diu que no es programa una xarxa neuronal, sinó que "s'ensenya". S'utilitzen, sobretot, en sistemes classificadors, per reconèixer si un estímul determinat pertany o no a una classe determinada, ja que són especialment eficients a l'hora de reconèixer formes, símbols i, fins i tot, paraules parlades. El traductor de Google, per exemple, es basa en una gran xarxa neuronal.

Vegem un cas, per exemple, d'una xarxa neuronal que apliqui el diagnòstic d'imatges mèdiques. En la fase d'aprenentatge, el sistema rep imatges de teixits sans i teixits

cancerígens, així com les seves respectives classificacions. Si l'aprenentatge és adequat, una vegada conclòs, els sistema serà capaç de rebre imatges de teixits no classificats i classificar-los segons si són sans o cancerígens amb un grau d'encert elevat (Viquipèdia, 2017).

Hi ha xarxes neuronals que, fins i tot, s'estan allunyant de la nostra capacitat de comprensió. Nosaltres creem els algorismes d'ensenyament que creen l'algorisme definitiu, però no sempre entenem l'algorisme definitiu. Està començant a passar com en el cervell: de la mateixa manera que entenem les interaccions simples entre neurones però no entenem el cervell en si, podem entendre grups petits d'estructures de control que formen l'algorisme definitiu però no entendre l'algorisme definitiu en si. Això passa, per exemple, amb el famós algorisme de Youtube²², que està format a partir de xarxes neuronals. Ningú sap realment com funciona, però és molt bo fent la seva feina (CGP Grey, 2017).

Tot i que les xarxes neuronals ja s'utilitzen àmpliament en molts àmbits, encara estan en procés de desenvolupament. En els últims anys s'han invertit grans quantitats de diners en el seu perfeccionament, ja que és un camp que ofereix unes grans perspectives de futur, i empreses com Google, Facebook o Amazon hi dediquen gran part de les seves investigacions.

Podríem dir que les xarxes neuronals modifiquen lleugerament la diferència dels límits que s'exposen en el tercer apartat, on s'explicava que els límits d'un conjunt d'algorismes són fixos i limitats pels algorismes mateixos. Tot i que el seu funcionament continua restringit a un conjunt d'algorismes, en aquest cas d'aprenentatge, una mateixa xarxa pot aprendre a traduir qualsevol llengua a qualsevol altra o pot aprendre a jugar a qualsevol joc d'una consola determinada. D'aquesta manera, els límits del sistema ja no són els propis algorismes que marca el programador, sinó tota la seva àrea d'influència (que seria la consola o els idiomes). Indubtablement, les xarxes neuronals lideren el camí cap a la intel·ligència artificial.

4.2.2. Ordinadors quàntics

Una altra tecnologia que està en procés de desenvolupament i que ens podria acostar a la intel·ligència artificial real és la dels ordinadors quàntics. Un ordinador quàntic, bàsicament, és un ordinador que utilitza fenòmens de la mecànica quàntica per funcionar. Aquests ordinadors s'estan començant a construir perquè els ordinadors clàssics s'estan apropant als seus límits de potència.

Des dels inicis de la computació, la potència dels nostres ordinadors ha anat augmentant a mesura que els transistors que els formaven s'han anat construint cada vegada més

²² L'algorisme de Youtube és l'encarregat de recomanar vídeos als usuaris segons les seves visualitzacions.

petits, fins al punt que, actualment, un transistor mesura aproximadament 14nm (Kurzgesagt, 2015). Com més petits són els transistors, menys àtoms es necessiten per fer-ne un i més probable és que els electrons es moguin de maneres no desitjades, a través d'un túnel quàntic²³. Ens estem apropant a una barrera física real per als nostres ordinadors, marcada per les propietats quàntiques dels elements.

Tanmateix, en comptes de considerar que les propietats quàntiques una barrera per l'avenç tecnològic, podem aprofitar-les, que és exactament el que fan els ordinadors quàntics. Els ordinadors clàssics, com hem vist, treballen amb bits, que són la seva unitat d'informació més bàsica. Els ordinadors quàntics, en canvi, treballen amb qubits que, físicament, poden ser o bé l'spin d'un electró²⁴ o un fotó²⁵. Un qubit, a diferència d'un bit, pot ser una determinada proporció de 0 i una determinada proporció d'1 a la vegada, utilitzant la propietat quàntica de la superposició²⁶. D'aquesta manera, els ordinadors quàntics poden realitzar una gran quantitat d'operacions en paral·lel (Kurzgesagt, 2015).

Una altra propietat quàntica que utilitzen els ordinadors quàntics és l'entrellaçament²⁷. Si dos qubits estan entrellaçats, reaccionaran de manera immediata a canvis que es produeixin a l'altre qubit, independentment de la distància que els separi. D'aquesta manera, analitzant només un dels qubits se'n poden deduir les propietats de l'altre (Kurzgesagt, 2015). Utilitzant adequadament aquestes propietats, es poden crear ordinadors exponencialment més potents que els clàssics. Tot i que no és probable que tots els ordinadors del futur siguin quàntics, els ordinadors quàntics superen els clàssics en funcions específiques, com ara la cerca en una base de dades, la seguretat informàtica i les simulacions. Per això, és molt probable que tots els ordinadors amb aquestes finalitats acabin sent quàntics. El que està clar és que els ordinadors quàntics trenquen les barreres físiques que presenten els ordinadors clàssics, i albiren un futur tan prometedor com incert.

4.3. Què ens depara el futur?

El futur de la intel·ligència artificial marcarà de forma determinant el desenvolupament de la nostra espècie durant els pròxims segles. Així doncs, no és d'estranyar que desperti un gran interès en la societat. Actualment, el debat se centra en si és o no és possible una intel·ligència artificial real i en si hi podrà haver robots que tinguin característiques humanes com les emocions i la consciència. Per a abordar aquestes qüestions ens

²³ Un túnel quàntic és un efecte de la mecànica quàntica que permet una partícula travessar una barrera.

²⁴ L'spin és el moviment angular d'una partícula. En el cas de l'electró, pot ser +1/2 o -1/2.

²⁵ Un fotó és un quàntum d'energia d'una radiació electromagnètica.

²⁶ La superposició és una propietat quàntica que té lloc quan un objecte té al mateix temps dos o més valor d'una quantitat observable.

²⁷ L'entrellaçament és una propietat quàntica segons la qual dues partícules separades estan relacionades.

centrarem principalment en la visió que en té la comunitat científica, però abans analitzarem què hi té a dir la ciència-ficció.

4.3.1. Segons la ciència-ficció

A priori, analitzar la ciència-ficció per a fer prediccions científiques pot semblar una pèrdua de temps, però no és així. Tots els invents i les idees humanes provenen de la nostra imaginació, que és en gran part col·lectiva de tots els humans i, al mateix temps, és la que dona peu a la ciència-ficció. No és casualitat, doncs, que els creadors de pel·lícules com *Back to the future* ja imaginessin alguns avenços tecnològics que han tingut lloc els últims anys.

La pel·lícula *Blade Runner* (1982), per exemple, planteja una realitat on la intel·ligència artificial ja existeix. Es tracta d'éssers dissenyats genèticament, anomenats replicants, que s'assemblen tant als humans que no es poden diferenciar a simple vista. Per diferenciar-los, es fa servir un test anomenat test de Voight-Kampff, l'objectiu del qual és molt semblant al del test de Turing²⁸. El protagonista de la pel·lícula es dedica, precisament, a identificar els replicants i eliminar-los.

El llibre *Jo, robot* (1980), d'Isaac Asimov, també parla d'un món amb intel·ligència artificial, però és especialment interessant perquè relata la manera com s'hi ha arribat. L'autor planteja que els humans van crear una màquina anomenada cervell positrònic que era relativament simple però que era capaç de crear una versió millorada d'ella mateixa que, al mateix temps, podia crear una altra versió millorada d'ella, i així successivament. D'aquesta manera, van aconseguir crear un cervell positrònic superior a la intel·ligència humana capaç de fer viatges interestel·lars a través de distorsions espacials, entre altres capacitats.

La sèrie *Black Mirror* (2011) planteja en cada episodi un escenari futur on la tecnologia té un impacte diferent en la vida de les persones (Figura 7). L'episodi *Metalhead*, per exemple, explica com uns robots en forma de gossos, probablement conscients, acaben amb l'espècie humana. L'episodi *Black Museum* parla de les conseqüències que pot tenir un ordinador capaç d'emmagatzemar consciències amb les quals es pot interactuar des del món real. D'una manera similar, *San Junipero* planteja un ordinador semblant que et



Figura 7. Cartell de Black Mirror. Font: serielizados.com.

²⁸ El test de Turing es presenta i s'explica detalladament en l'apartat 5.1.

permet continuar la teva vida en una realitat virtual un cop el teu cos ha mort en el món real.

4.3.2. Segons la comunitat científica

En la comunitat científica, com en la ciència-ficció, el debat se centra en la possibilitat d'una hipotètica intel·ligència artificial real que, si s'aconseguís, podria conduir a una superintel·ligència²⁹. Actualment, es diferencien tres posicionaments diferents respecte a aquest tema.

El primer posicionament afirma que una intel·ligència purament artificial és possible, i que només és qüestió de temps que s'aconsegueixi. La idea d'una futura intel·ligència artificial real parteix indispensablement de la premissa que tots i cadascun dels aspectes de l'aprenentatge o de qualsevol característica de la intel·ligència es pot descriure, en principi, de manera tan precisa que es pot fer una màquina que el simuli (McCarthy *et al.*, 1955). O sigui, que tots els processos que intervenen en una intel·ligència es poden descriure a través d'algoritmes.

Una idea de com podria arribar aquesta hipotètica intel·ligència artificial és a partir d'una successió de xarxes neuronals. L'objectiu seria crear una xarxa neuronal que tingués la capacitat de crear xarxes neuronals més "intel·ligents", que alhora pogués crear xarxes neuronals encara superiors, i així successivament. Aquesta idea, de fet, és semblant a la que planteja el llibre *Jo, Robot*. També s'han proposat altres idees, com ara crear un sistema que reproduïxi realment el cervell humà, però cap, ni tan sols la de les xarxes neuronals, sembla probable a curt termini.

Suposem, només com a hipòtesi, que una intel·ligència artificial és possible. Aleshores, dues preguntes sorgeixen immediatament: quan passarà i quin en seria l'impacte. Pel que fa a quan podria arribar, és molt difícil de predir. En un estudi de 2014, on es preguntava a 170 experts en processos cognitius sobre la possibilitat d'una hipotètica superintel·ligència, la meitat dels que creien que era possible va afirmar que es desenvoluparà una intel·ligència artificial real abans del 2050, i 9 de cada 10 del mateix grup van afirmar que passarà abans del 2075. Tot i això, més d'un 40% dels enquestats creien que una màquina mai no seria capaç de simular totes les capacitats de la ment humana (Müller *et al.*, 2014). Les conseqüències d'aquesta intel·ligència serien, per sobre de tot, incertes, i dependrien de la nostra capacitat de controlar-la. Com va dir Stephen Hawking (2013), "Success in creating AI would be the biggest event in human history. Unfortunately, it might also be the last, unless we learn how to avoid the risks"³⁰.

²⁹ Una superintel·ligència és qualsevol intel·lecte que supera el rendiment cognitiu dels humans en tots els dominis d'interès (Bostrom, 2014).

³⁰ En català: "La creació d'intel·ligència artificial seria l'esdeveniment més gran de la història de la humanitat. Malauradament, també podria ser l'últim, si no aprenem a evitar-ne els riscos".

El segon posicionament defensa que la consciència i la intel·ligència són conceptes independents i que, de fet, amb la revolució tecnològica, la intel·ligència s'està escindint de la consciència. Aquesta postura parteix clarament d'una interpretació diferent del terme intel·ligència de la que es fa en aquest treball, segons la qual una consciència no és indispensable perquè hi hagi intel·ligència.

Un dels defensors d'aquest posicionament és l'antropòleg Yuval Noah Harari qui, en el llibre *Homo Deus* (2014), proposa un futur on els algoritmes, que ell considera intel·ligents, dominen les nostres vides, ens coneixen perfectament i prenen les nostres decisions millor que nosaltres mateixos. En aquesta realitat, la política, les nostres relacions i la nostra vida quotidiana en general quedarien dominats per algoritmes, diu, "no conscients però molt intel·ligents".

El tercer posicionament s'oposa frontalment a la possibilitat que puguin existir algoritmes i, per tant, màquines intel·ligents. Defensa que ni una intel·ligència ni una consciència poden sorgir de la matèria inorgànica, ja que són i seran sempre una competència exclusiva dels humans, els animals i, en general, organismes de matèria orgànica.

Un dels defensors d'aquest posicionament és el físic matemàtic Roger Penrose qui, en el llibre *The emperor's new mind* (1989), raona extensament per què creu que la intel·ligència artificial real no és possible. Defensa que hi ha d'haver alguna cosa essencial en la intel·ligència que no es pot aconseguir a partir de cap sistema purament computacional. Per a ell, la consciència és un fenomen de tal importància que és impossible que sigui resultat simplement d'una computació complicada.

5. Què diuen les proves?

Els primers quatre apartats del treball s'han dedicat, principalment, a la descripció de la ment humana i dels ordinadors segons les seves propietats físiques i s'han relacionat segons les seves característiques funcionals. Aquest, en canvi, està dedicat a comparar-los segons els resultats que donen els dos tipus de processos.

5.1. El test de Turing

El mètode més conegut, utilitzat i explicat al llarg de la història per diferenciar màquines de persones humanes, és el test de Turing, que va proposar Alan Turing l'any 1950 en l'article *Computing machinery and intelligence*. Turing pretenia donar una resposta a la pregunta “Poden pensar les màquines?”, i proposava que si una màquina aconseguia superar satisfactòriament el test, aleshores es podria considerar intel·ligent.

El test de Turing es realitza de la següent manera. Una persona, l'avaluadora, planteja preguntes a dos subjectes, un humà i un ordinador dissenyat per generar respostes anàlogues a les dels humans. La persona avaluadora no es comunica directament amb els subjectes, sinó que ho fa a través d'una interfície (per exemple, amb respostes escrites) que evita que la persona i l'ordinador es puguin diferenciar només per com transmeten la resposta. Un cop acabada la conversa, si la persona avaluadora no és capaç de distingir la màquina de la persona o considera que la màquina és la persona, es considera que la màquina supera el test de Turing i, per tant, es considera intel·ligent.

En el mateix article, Alan Turing va predir que, l'any 2000, ja hi hauria ordinadors suficientment avançats per ferien la prova de manera que un interrogador no tindria més del 70% de possibilitats d'efectuar la identificació correcta al cap de cinc minuts. En aquesta predicció, Turing, evidentment, s'equivocava. Fins al 2018, cap programador ha aconseguit superar satisfactòriament la prova. Només se'n té documentat un cas, el 2014, quan un algoritme que simulava un adolescent de 13 anys va aconseguir enganyar part d'un jurat d'humans (Ángel, 2014).

En l'actualitat, tot i que no en les mateixes condicions que va proposar Turing, el test es continua utilitzant, sobretot en la informàtica. Sovint, quan volem crear un usuari en una pàgina web o participar en una enquesta, la pàgina ens fa escriure un conjunt de caràcters que es mostren en una imatge distorsionada. Es tracta de la prova Captcha³¹, que serveix per a evitar que robots automatitzats puguin utilitzar certs serveis en línia. Recentment s'ha incorporat una nova extensió de la prova, el reCaptcha, que utilitza tècniques diferents per a arribar al mateix objectiu.

³¹ Acrònim de Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart.

5.2. Programes que juguen

Com hem vist amb el test de Turing, els ordinadors estan molt lluny de simular completament els resultats que donen els nostres complexos processos cerebrals. Si comparem un ordinador i un cervell de manera general, no s'assemblen en res ni quant a la seva estructura, com hem vist en els primers quatre apartats, ni quant als resultats que donen com a conjunt, com demostra el test de Turing. Tot i així, els ordinadors ja realitzen una gran quantitat d'activitats que abans eren exclusives dels humans, sovint amb una velocitat i precisió molt superiors.

Es tracta sobretot de competències específiques, com identificar sons, llegir els llistats, resoldre reptes de lògica, llegir, solucionar un cub de Rubik, analitzar i identificar patrons, traduir entre diversos idiomes i, en general, administrar grans quantitats d'informació. Aquesta llista, que podria ser molt més llarga, creix amb una rapidesa sorprenent. Ja s'hi estan començant a afegir habilitats com la comunicació, i és molt possible que en un futur proper hi hàgim de comptar la presa de decisions importants (Harari, 2016).

Vegem com funcionen els ordinadors quan, per exemple, s'enfronten a humans en jocs d'habilitat i lògica. Al cap i a la fi, un joc consisteix en el seguiment d'unes normes fixes per tal d'arribar a un objectiu, de manera que un sistema d'algoritmes s'hi adapta perfectament. El funcionament d'un programa que juga a un joc pot ser de moltes maneres, així que, en aquest apartat n'analitzarem tres: l'*SG5*, el *Deep Blue* i l'*AlphaGo*.

Comencem analitzant l'*SG5*³², un programa més aviat simple en C++ que juga al Sushi Go. L'objectiu del Sushi Go és, en tres rondes, fer el màxim de punts mitjançant combinacions de cartes que s'escullen simultàniament³³. El programa, bàsicament, calcula totes les possibilitats. En cada ronda, considera totes les opcions que es poden derivar de cada una de les cartes que veu, calcula quina és la puntuació mitjana que podrà obtenir escollint cada una de les cartes i tria la que li dona la mitjana més alta. Amb aquest funcionament, aconsegueix vèncer els oponents humans un 45% de les partides (Juanola, 2018).

Però no només poden jugar a jocs relativament senzills, com el Sushi Go. També juguen a escacs³⁴. L'any 1997, un ordinador anomenat *Deep Blue* va guanyar en una partida d'escacs el millor jugador humà, Gari Kasparov. Aquella gesta va ser notícia en tots els diaris i va provocar un gran enrenou en la societat, ja que els escacs es consideren un joc "intel·ligent" i una màquina havia vençut el millor dels humans. El programa que contenia el *Deep Blue*, però, era molt diferent que el que hem vist anteriorment que jugava al Sushi

³² En l'Annex II hi ha el programa i les instruccions per utilitzar-lo.

³³ Per veure les normes completes, veure <https://bit.ly/2Dhot0S>.

³⁴ Els escacs estan considerats el segon joc de dos jugadors més complicat del món, després del Go. Les normes del joc són senzilles, però saber-hi jugar bé és molt complicat.

Go, ja que aplicar la mateixa lògica als escacs seria impossible. Es calcula que, aproximadament, es poden jugar 10^{120} partides diferents d'escacs, així que una màquina que calculés una partida per micro-segon tardaria més de 10^{90} anys a calcular el primer moviment! (Shannon, 1950).

El funcionament de *Deep Blue* era semblant al de les xarxes neuronals, tot i que no està considerat com a tal. Abans de jugar, se li mostraven milers de partides entre experts que, durant la partida, utilitzava per escollir el “millor” moviment. En el seu torn, *Deep Blue*, després d'analitzar l'estat de la partida i la posició de les peces, determinava un seguit de possibles moviments, dels quals en triava un basant-se en accions similars de les partides que havia observat.

El 2015, 18 anys després de la derrota de Gari Kasparov, un algoritme, contra tot pronòstic, va aconseguir vèncer el millor jugador del món de Go, el joc més complicat del món. Es tracta del programa *AlphaGo*, que va guanyar el millor jugador del món del moment, Fan Hui, en la totalitat de les 5 partides que van jugar (Silver *et al.*, 2016). La gran diferència entre *AlphaGo* i *Deep Blue* és que *Deep Blue* va ser creat per jugadors professionals d'escacs, mentre que *AlphaGo* va ser producte purament de xarxes neuronals, sense que els investigadors tinguessin assessorament de professionals del Go.

Així doncs, després de desxifrar el joc més complicat del món, ja podem dir que els ordinadors no tenen rival humà en els jocs de lògica. Una nova gran gesta per a la intel·ligència artificial que ens fa reflexionar i preguntar-nos quin pot ser el final, si en té, de la tecnologia que estem creant.

5.3. El misteri de la consciència

La consciència, com s'ha anat explicant al llarg del treball, és un dels grans misteris de la humanitat. No sabem què la forma, on es troba ni quin objectiu evolutiu té. Estem convençuts que tots els humans tenim consciència, però no en traguem conclusions precipitades. Si bé és cert que no tenim cap indicatiu que ens indiqui que cap màquina pugui tenir consciència pròpia, tampoc en tenim cap que ens indiqui que els humans en puguin tenir, que no sigui la nostra paraula. No coneixem una part del cervell que puguem dir que és la que forma la consciència ni sabem a partir de quin tipus de processos es crea, o sigui que ens hem de fiar de nosaltres mateixos per poder dir que existeix.

De fet, ja fa milers d'anys que els filòsofs es van adonar que no hi ha manera de demostrar de forma concloent que ningú fora d'un mateix té ment. En el cas de les persones que ens envolten, tan sols donem per fet que tenen consciència, ja que no ho podem saber del cert. Pel que sabem, la consciència d'un mateix podria ser l'única de tot l'Univers, i la resta de cossos només robots mecànics o producte d'una simulació (Harari, 2016).

La consciència, sigui com sigui i la tingui qui la tingui, és un fenomen de vital importància. És el que ens permet conèixer l'Univers, estudiar-lo i entendre què hi passa. És el que ens permet tenir coneixement de la nostra pròpia existència, així com de tot el que ens envolta. Hi ha qui, fins i tot, planteja que un Univers governat per unes lleis que no permeten l'existència de consciències no existeix, ja que només és el fenomen de la consciència que pot fer que es conegui la pròpia existència de l'Univers (Penrose, 1989).

No sabem com sorgeix la consciència. Sabem que durant el procés evolutiu hi ha hagut alguna mutació que ens va fer passar d'organismes no conscients a animals conscients³⁵, però no se sap ni quan ni com. Hi ha moltes teories que pretenen explicar com es forma una consciència, que van des de teories que diuen que un sistema suficientment complex desenvolupa una consciència de manera natural fins a teories que afirmen que només és un efecte secundari d'una sèrie de processos complexos (Harari, 2016). Cap d'aquestes teories, però, té cap base científica i es basen simplement en especulacions.

Pel que fa a on trobem consciències, sí que en sabem alguna cosa. Negligint la possibilitat que l'única consciència que existís fos la pròpia, és evident que tots els humans en plenes facultats som conscients. Però no som els únics. Segons la *Declaració de Cambridge sobre la consciència* (2012) -redactada per neurocientífics de renom mundial i Stephen Hawking, entre altres- les dades que tenim indiquen que hi ha molts animals no humans que posseeixen consciència, fet que significa que, remetent-nos a la definició d'intel·ligència de l'apartat 4.1, també són intel·ligents. La declaració conclou:

“Convergent evidence indicates that non-human animals have the neuroanatomical, neurochemical, and neurophysiological substrates of conscious states along with the capacity to exhibit intentional behaviors. Consequently, the weight of evidence indicates that humans are not unique in possessing the neurological substrates that generate consciousness. Non-human animals, including all mammals and birds, and many other creatures, including octopuses, also possess these neurological substrates”³⁶.

Pel que fa a les màquines i els ordinadors, sembla força clar que no en tenen.

Però seria un error assumir que només existeixen consciències iguals o semblants a la nostra. Es creu que, de la mateixa manera que els espectres de llum i so són molt més grans del que els humans podem percebre, l'espectre dels estats mentals conscients és

³⁵ Hi ha neuròlegs, com António Damásio, que afirmen que tots els organismes són conscients. Seguint el seu raonament, aquesta mutació no s'hauria produït mai.

³⁶ En català: "Hi ha proves convergents que indiquen que alguns animals no humans tenen els substrats neuroatòmics, neuroquímics i neurofisiològics dels estats conscients juntament amb la capacitat d'exhibir comportaments intencionals. Per tant, hi ha indicis rellevants que indiquen que els humans no som els únics que posseïm els substrats neurològics que generen la consciència. Hi ha animals no humans, inclosos tots els mamífers i les aus, i moltes altres criatures, inclosos els pops, que també posseeixen aquests substrats neurològics."

molt més gran del que un humà és conscient (Harari, 2016). També, dins la mateixa espècie humana hi deu haver estats conscients diferents ja que les experiències, per exemple, d'un mestre budista, d'un occidental ric o d'un aborigen aïllat a l'Amazònia no s'assemblen absolutament en res. I el mateix passa amb la resta d'animals. Els sàpiens no dominem el món perquè gaudim d'estats conscients superiors ni perquè experimentem emocions més profundes que els altres animals³⁷, així que qualsevol animal conscient podria estar experimentant ara mateix estats de plaer inimaginables per a nosaltres.

5.4. Els sentiments i les emocions

Dins les consciències es desenvolupen diferents estats anímics, que anomenem sentiments i emocions. Assumint que els ordinadors no tenen consciència, tampoc poden experimentar emocions però, si analitzem objectivament el seu comportament, poden tenir una conducta que s'hi assembla. Es pot argumentar que, quan un dispositiu té poca bateria, és com quan un humà té gana. Ambdós disminueixen el seu rendiment i la seva velocitat, i necessiten energia per tal de poder tornar a funcionar correctament (Penrose, 1989). No obstant això, encara que els resultats siguin similars sembla clar que una màquina no experimenta cap sensació.

Potser, però, en comptes de buscar facetes de les màquines que s'assemblin a les emocions, hauríem d'estudiar si les emocions s'assemblen al funcionament de les màquines. Hi ha una teoria, bastant estesa en la comunitat científica, que afirma que els sentiments són, al cap i a la fi, algorismes. Segons aquesta teoria, quan prenem una decisió, simplement fem un càlcul de probabilitats que, a la pràctica, són les emocions. El resultat de l'algoritme surt també com una sensació (Harari, 2016). Posem per cas, per exemple, una persona que ha d'agafar un tren que està a punt de sortir de l'estació. En el moment d'entrar a l'estació, ha de decidir si córrer per intentar pujar al tren a temps, arriscant-se a prendre mal, o esperar el següent tren, arriscant-se a arribar tard a la feina. Per decidir, experimentarà una tempesta de sensacions i emocions que són, per analogia, el procés de càlcul de l'algoritme i rebrà la resposta com una sensació, que serà una pujada d'ànim si la decisió és córrer o un sentiment de por si la decisió és esperar.

5.5. Un Univers d'algorismes?

I si no només fossin les emocions, que es regissin per algorismes, sinó absolutament tots els processos de l'Univers, inclosos els del cervell? Tot aquest treball està dedicat a intentar esbrinar fins a quin punt les màquines s'assemblen al cervell humà però, potser, la pregunta que ens hauríem d'estar fent és la inversa: fins a quin punt el funcionament de la nostra ment s'assembla al dels ordinadors?

³⁷ Els sàpiens, de fet, dominem el món gràcies a la nostra capacitat d'organització i cooperació, que deriven del nostre llenguatge complex.

Certament, que tota la ment es pugui explicar només amb algoritmes és una possibilitat. A vegades, tendim a pensar que el cervell té alguna cosa més, alguna cosa que el fa especial, però si bé és atrevit dir que tot el que passa al cervell es basa en algoritmes, potser encara ho és més afirmar que hi ha alguna cosa que encara no coneixem que controla la nostra ment. Actualment, la ciència es decanta a favor dels algoritmes, però encara és molt aviat per arribar a conclusions.

Capacitats com la creativitat, la iniciativa o l'art en general són certament difícils d'explicar només amb algoritmes. Quan escrivim poesia, no podem argumentar que un algoritme ens ha indicat que escrivem una paraula perquè hi queda bé o perquè dona sentit a una figura retòrica. Simplement diem que d'alguna manera ens ha passat pel cap o que hem tingut una intuïció momentània, però en cap cas pensem que ha sigut un algoritme en forma d'impuls.

Respondre aquesta gran qüestió és vital per aclarir el futur i les limitacions que tindrà la tecnologia dels ordinadors i els algoritmes. Per poder saber si una màquina mai podrà substituir o simular totalment el comportament d'un cervell, primer cal respondre la pregunta: és la ment simplement un conjunt d'algoritmes complexos o hi ha alguna cosa més? I la ciència, com hem vist, encara no està preparada.

6. Humans i màquines

Al llarg dels capítols anteriors, hem vist com funcionen estructuralment i funcionalment els cervells, hem estudiat com s'han creat al llarg dels anys els ordinadors i hem analitzat una sèrie de proves i aspectes per comparar les capacitats cognitives dels humans i les màquines. De tota la informació que hem recollit, en podem treure una conclusió: el cervell i els ordinadors són estructuralment i funcionament diferents però poden donar resultats similars.

L'estructura és clarament diferent. La manera com estan fets físicament els ordinadors, compostos sobretot de silici, no té res a veure amb l'estructura que presenten les xarxes cerebrals, fetes de carboni. Els primers són matèria inorgànica i els segons, matèria orgànica. Pel que fa al funcionament, també són diferents, i ho hem vist a partir de les tres grans diferències fonamentals que s'han presentat al llarg dels apartats: **la plasticitat**, **la unitat** i **els límits**. Mentre que el cervell funciona com una unitat completa i té una certa plasticitat dins dels amplis límits que delimiten els sentits, els ordinadors són un conjunt de parts amb funcions diferents que s'emmarquen en la rigidesa que comporta un sistema d'algoritmes i, en cap cas, presenten plasticitat interna. Les tres diferències en el funcionament són, de fet, conseqüència directa de les diferències en les estructures. Les xarxes neuronals són plàstiques gràcies a la seva naturalesa viva, composta de cèl·lules; els límits del cervell estan marcats la plasticitat dins dels sentits i la unitat característica del cervell respon a la seva naturalesa d'òrgan que és part d'un ésser viu.

Els resultats que donen, però, poden ser similars. El sol fet que s'hagin hagut de crear tests al respecte, com el test de Turing, ja ho demostra. Ara bé, cal matisar aquesta afirmació. De moment, els ordinadors són capaços de realitzar moltes funcions que fins fa poc eren competència exclusiva del cervell, però encara no han aconseguit simular-lo totalment. Poden jugar, conduir, comunicar-se, aprendre, recordar, orientar-se, sumar i interpretar, entre molts altres. Però no poden acollir una consciència ni entendre raonaments, i tot indica que estan molt lluny de poder imitar un cervell en la seva totalitat. No podem fer que un ordinador creï una consciència perquè ni tan sols entenem com el cervell la crea! Però, potser, els ordinadors no necessiten una consciència per fer tot el que fem els humans.

Encara que un ordinador no pugui acollir una ment humana, la majoria de capacitats humanes són irrellevants per fer la majoria de feines modernes, així que, perquè les màquines facin fora els humans del mercat laboral, només necessiten superar-nos en les capacitats limitades que requereix una professió determinada. De la mateixa manera que robots i impressores 3D ja substitueixen els humans en la majoria de treballs manuals, ordinadors amb algoritmes complexos faran el mateix amb altres professionals. No cal que siguin perfectes, només ho han de fer millor que nosaltres.

De fet, ja fa temps que passa. Els corredors de borsa, per exemple, estan desapareixent. Actualment, la majoria d'accions es gestionen amb algorismes informàtics que poden processar més dades en un segon que un humà en un any. Els metges poden estar seguint el mateix camí. La seva tasca és diagnosticar i proposar el millor tractament, i en l'apartat 4.2.1 hem vist que les xarxes neuronals ja són capaces de realitzar aquestes funcions, així que només és qüestió de temps que superin els metges humans. En un experiment recent, un ordinador va ser capaç de diagnosticar correctament el 90% dels càncers de pulmó, mentre que els metges humans només van tenir un encert del 50% (Steadman, 2013). De fet, les tomografies computeritzades i les mamografies ja es revisen amb algorismes especialitzats, que ofereixen als metges una segona opinió i a vegades detecten tumors que els metges han passat per alt (Tzezana, 2011). I el mateix pot passar amb els professors. Empreses com Mindojo ja estan desenvolupant i provant algorismes interactius que, a més d'impartir matèries, són capaços d'estudiar els alumnes i ensenyar-los de la manera que més s'adigui a la seva personalitat (Harari, 2016). Evidentment, no tots els metges i els professors desapareixeran, però el nombre d'efectius humans en aquests sistemes podria disminuir significativament.

El 2013, un estudi conduït a la universitat d'Oxford que tenia com a objectiu estudiar la probabilitat que diferents professions fossin superades per algorismes abans del 2033 no va fer més que reforçar aquestes expectatives. Segons els resultats que es van obtenir, hi ha un 99% de possibilitats que els teleoperadors i els agents d'assegurances perdin la feina abans del 2033, un 98% que els passi als àrbitres de futbol, un 97% als caixers, un 96% als xefs, un 94% als cambrers, un 92% als farmacèutics, un 89% als forners, un 84% als guàrdies de seguretat, i així successivament. No obstant això, la probabilitat que passi amb professions com els arqueòlegs o els professors és inferior a l'1% (Frey *et al.*, 2013).

Al principi de les civilitzacions, la majoria de persones treballaven en el sector primari. Amb la revolució industrial, el gruix important de gent va passar al sector secundari i, actualment, el sector terciari inclou la gran majoria de treballadors. Amb la revolució tecnològica, la majoria de persones es podrien quedar fora del mercat laboral.

Però no sembla que l'àrea d'influència dels algorismes s'hagi d'acabar aquí. El següent pas és l'obtenció de poder. El 2014, una empresa de Hong Kong va decidir nomenar un algoritme informàtic membre del seu consell d'administració. L'algoritme, que passa la majoria del temps analitzant grans quantitats de dades sobre la situació financera i les companyies rivals, té dret a vot en les decisions més importants de l'empresa, incloses les inversions en altres companyies. No té consciència, però el seu vot val el mateix que els dels cinc altres integrants humans de la junta (Sharwood, 2014). Quin serà el proper pas? Esdevenir propietaris? Tenir dret a vot en els processos electorals?

Els algorismes, cada vegada més, controlen les nostres vides. A través dels nostres dispositius, poden saber on som a cada moment, amb qui parlem o què fem els divendres

a la tarda. Si seguim per aquest camí, no falta gaire perquè també coneguim les nostres preferències, els nostres problemes i les nostres necessitats millor que nosaltres. En aquest futur hipotètic, si un algoritme, que et coneix millor que tu mateix, et recomana que abandonis la teva relació amb una persona o que votis a un partit determinat perquè sap que és la millor opció per al teu futur, li faràs cas? O simplement seguiràs la teva intuïció, sabent que probablement t'estàs equivocant?

Sí, és cert que els ordinadors funcionen de manera molt diferent als humans i sembla improbable que aviat siguin semblants a nosaltres. En particular, no sembla que els ordinadors estiguin a punt de tenir consciència i començar a experimentar sensacions i emocions. Però estem començant a descobrir que per realitzar tasques com diagnosticar malalties, conduir cotxes, jugar al Go o prendre decisions no cal ni experimentar sensacions ni tenir una consciència. Per primera vegada, algorismes no conscients realitzen aquestes tasques millor que les persones intel·ligents i conscients. I això, almenys, mereix una reflexió profunda.

7. Conclusions

Un cop finalitzada la recerca, hem obtingut suficient informació per a donar resposta als quatre objectius plantejats en la part introductòria del treball.

El primer objectiu era explicar, contrastar i analitzar el coneixement actual del cervell. La informació exposada sobre la descripció i el funcionament del cervell, que s'ha recollit bàsicament a partir d'una recerca bibliogràfica que ha resultat molt positiva, es troba recopilada en els primers dos apartats del treball. S'ha parlat, des dels punts de vista de la biologia i la psicologia, de les cèl·lules bàsiques que el componen -les neurones-, de les funcions cognitives que se li assignen, de les diferents parts que el componen i de la seva naturalesa, que també ha servit per a donar resposta al tercer objectiu. Quant a l'experiment pràctic realitzat, podem dir que, tot i que el mètode emprat és suficient per a la conclusió a la qual es volia arribar, es podia haver millorat agafant la mitjana de totes les assignatures en comptes de només matemàtiques i anglès, per tal de representar més àmpliament l'aprenentatge. També es podia haver millorat ampliant la mostra o ampliant la part pràctica en general. Pel que fa a l'estat actual de l'estudi del cervell hem vist que encara estem lluny de poder entendre com funciona en la seva totalitat.

El segon objectiu era analitzar l'estat actual i futur de la intel·ligència artificial, que s'ha desenvolupat en el tercer i quart apartats i part del cinquè. Cenyint-nos en la definició d'intel·ligència, actualment no podem parlar d'intel·ligència artificial. Els ordinadors funcionen a partir d'algoritmes fixos, determinats per la persona que els programa i, en cap cas, podem dir que els ordinadors pensen o tenen algun comportament similar. El futur d'aquesta tecnologia és prometedor, i tot indica que vindrà de la mà de les xarxes neuronals i els ordinadors quàntics. Tanmateix, la naturalesa d'aquest futur és encara molt incerta, i té molt a veure amb les conclusions del quart objectiu.

El tercer objectiu era comparar els cervells i els ordinadors, que es fa de manera àmplia en l'inici del sisè apartat. Després d'analitzar els dos tipus de processos, hem vist que els cervells i els ordinadors són estructuralment i funcionalment diferents però poden donar resultats similars, sobretot en la realització d'activitats específiques. Els ordinadors i els cervells juguen a Go, condueixen cotxes i prenen decisions, però només els cervells tenen consciència i experimenten emocions. Tanmateix, encara hi ha dubtes sobre si el funcionament del cervell es basa únicament en algoritmes, com els ordinadors, o en una lògica completament diferent. Per aquest motiu, encara no podem donar una resposta clara al quart objectiu.

El quart objectiu era determinar si és o serà possible una màquina que faci el mateix que un cervell i, per tant, contingui una intel·ligència. Actualment, està clar que és impossible. En el futur, no ho sabem, i depèn de si el cervell es pot explicar amb algoritmes. Si el cervell es pot explicar només amb algoritmes, aleshores és molt probable que una

màquina que en pugui crear o contenir un sigui possible. En canvi, si no es pot explicar amb algorismes, la lògica actual dels ordinadors no en podria reproduir un de cap manera. Avui dia, decantar-se per una de les dues opcions és, simplement, especular. Tanmateix, sigui quina sigui la resposta correcta, no sembla que el fet de no tenir consciència sigui cap impediment per als ordinadors. En el sisè apartat hem vist com els ordinadors s'estan expandint molt ràpidament pel món, i ja tenen responsabilitats en llocs de treball i, fins i tot, en la presa de decisions d'algunes empreses. Ara mateix, l'àrea d'influència de la tecnologia sembla no tenir límit.

8. Bibliografia i webgrafia

Ángel Méndez, Manuel. «El ordenador que superó el test de Turing: ¿engaño o hito histórico?». *Gizmodo*, 6 octubre 2014. Recuperat de <https://es.gizmodo.com/el-ordenador-que-supero-el-test-de-turing-engano-o-hi-1588537701>.

Barceló, Miquel (2005). *La intel·ligència artificial*. 1a ed. Barcelona: Editorial UOC S.L., 88 p. ISBN: 978-84-9788-328-3.

Bostrom, Nick (2014). *Superintelligence: Paths, dangers, strategies*. 1a ed. Oxford: OUP Oxford, 352 p. ISBN: 978-0199678112.

Bueno i Torrens, David (2016). *Cerebroflexia. El arte de construir el cerebro*. 1a ed. Barcelona: Plataforma Editorial, 275 p. ISBN: 978-84-16620-11-1.

Campbell, Murray; Hoane, A. Joseph; Hsu, Feng-hsiung (2002). *Deep Blue*. Recuperat de https://ac.els-cdn.com/S0004370201001291/1-s2.0-S0004370201001291-main.pdf?_tid=4983ee50-82f9-48c8-bfcc-919c664a4b1f&acdnat=1534806256_2c127d75527c89c1e257cbfab6056169.

CGP Grey (2017). *How machines learn* [Vídeo]. Recuperat de <https://www.youtube.com/watch?v=R9OHn5ZF4Uo>.

Chomsky, Noam (1986). *Knowledge of language: Its nature, origins and use*. 1a ed. Boston: Ruth Nanda Anshen, 314 p. ISBN: 978-0275917616.

Cooking Ideas (2017). *Ciberseguridad en 2017: los peligros que nos acecharán en este año* [en línia]. 4 gener 2017. <<https://www.cookingideas.es/maquinas-mejor-humanos-20170105.html>> [Consulta: 4 agost 2018].

Duh, Kevin (2014). *Languages of the world*. Recuperat de <https://cs.jhu.edu/~kevinduh/notes/duh14worldlanguages.pdf>.

Eguliuz, I.; Segarra, R (2015). *Introducción a la psicopatología: una visión actualizada*. 1a ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana S.A., 425 p. ISBN: 978-8491100133.

Espeso, Pablo (2014). «Un supercomputador para emular el cerebro humano, ¿Demasiado pronto?». *Xataka*, 10 juliol 2014. Recuperat de <https://www.xataka.com/investigacion/un-supercomputador-para-emular-el-cerebro-humano-demasiado-pronto>.

Frey, Carl Benedikt; Osborne, Michael (2013). *The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation?*. Recuperat de <https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/future-of-employment.pdf>.

Gutiérrez-Soriano, JR.; Ortiz-León, S.; Follieux, C.; Zamora-López, B.; Petra, I. (2017). *Funiciones mentales: neurobiología*. Recuperat de <http://psiquiatria.facmed.unam.mx/docs/ism/funcionesmentales.pdf>.

Harari, Yuval Noah (2011). *Sàpiens. Una breu història de la humanitat*. 8a ed. Barcelona: Edicions 62, 604 p. ISBN: 978-84-297-7517-4.

Harari, Yuval Noah (2016). *Homo Deus. Una breu història del demà*. 2a ed. Barcelona: Edicions 62, 577 p. ISBN: 978-84-297-7651-5.

Hawking, Stephen; et al (2012). *The Cambridge Declaration on Conciousness*. Recuperat de <http://fcmconference.org/img/CambridgeDeclarationOnConsciousness.pdf>.

Hawking, Stephen; Russell, S.; Tegmark, M.; Wilczek, F (2014). «Transcendence looks at the implications of artificial intelligence – but are we taking AI seriously enough?». *The independent*, 1 de maig de 2014. Recuperat de <https://www.independent.co.uk/news/science/stephen-hawking-transcendence-looks-at-the-implications-of-artificial-intelligence-but-are-we-taking-9313474.html>.

Juanola, Martí (2018). *Les matemàtiques en joc*. Nota: Treball de recerca de Batxillerat.

Junqué, Carme; Barroso, José (1995). *Neuropsicologia*. 4a ed. Madrid: Editorial Síntesis S.A., 495 p. ISBN: 84-7738-251-4.

Kurzgesagt – In a Nutshell (2015). *Quantum Computers Explained – Limits of Human Technology* [Vídeo]. Recuperat de <https://www.youtube.com/watch?v=JhHMJCUmq28>.

Lanz, Peter (2000). *The concept of intelligence in psychology and philosophy*. Recuperat de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-010-0870-9_3.

Lieberman, David A (2012). *Human learning memory*. 1a ed. Cambridge: Cambridge University Press, 604 p. ISBN: 978-0521701396.

León-Carrión, José (1995). *Manual de neuropsicologia humana*. 1a ed. Madrid: Siglo Veintiuno de España Editores, S.A., 557p. ISBN: 84-323-0885-4.

Martin, John H (1998). *Neuroanatomía*. 2a ed. Madrid: Pearson Educación S.A., 496 p. ISBN: 84-8322-030-X.

McCarthy, John; Minsky, Marvin L.; Rochester, Nathaniel; Shannon, Claude E (1955). «A proposal for the Dartmouth Summer Researsch Project on Artificial Intelligence». *AI Magazine*, 31 agost 1955, vol. 27, núm. 4. Recuperat de <file:///C:/Users/Usuari/Downloads/1904-1900-1-PB.pdf>.

Miller, Max (2017). «What is intelligence?». *Big Think*. Recuperat de <https://bigthink.com/going-mental/what-is-intelligence-2>.

Morris, Charles G.; Maisto, Albert A (2005). *Introducción a la psicología*. Pearson Education, 537 p. Recuperat de <https://cucjonline.com/biblioteca/files/original/86ac7ac5dc9cd7757787b9aaad6cad57.pdf>.

Müller, Vincent G.; Bostrom, Nick (2014). *Future Progress in Artificial Intelligence: A Survey of Expert Opinion*. Future of Humanity Institute and University of Oxford. Recuperat de <https://nickbostrom.com/papers/survey.pdf>.

Penrose, Roger (1989). *La nueva mente del emperador*. 2a ed. Barcelona: Debolsillo, 693 p. ISBN: 978-84-8346-117-4.

Pigem i Pérez, Jordi (2016). *Intel·ligència vital, un visió postmaterialista de la vida i la consciència*. 1a ed. Barcelona: Editorial Kairós S.A., 192 p. ISBN: 978-84-9985-00-1.

Rodríguez, Roberto (2004). *Funciones cerebrales superiores*. Recuperat de <http://biblioteca.iplacex.cl/RCA/Funciones%20cerebrales%20superiores.pdf>.

Shannon, Claude E. (1950). «Programming a computer for playing chess». *Philosophical Magazine*, març 1950, vol. 41, núm. 314. Recuperat de <https://vision.unipv.it/IA1/aa2009-2010/ProgrammingaComputerforPlayingChess.pdf>.

Sharwood, Simon (2014). «Softer “Appointed to Board” of Venture Capital Firm», *The Register*, 18 maig 2014. Recuperat de http://www.theregister.co.uk/2014/05/18/software_appointed_to_board_of_venture_capital_firm/.

Silver, David; Huang, Aja; Maddison, Chris J.; Guez, Arthur et al (2016). «Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search». *Nature*, gener de 2016, núm. 529, p. 484-489. Recuperat de <https://www.nature.com/articles/nature16961>.

Smith, Eduard M (2008). *Procesos cognitivos: modelos y bases neurales*. 1a ed. Madrid: Pearson Education, 648 p. ISBN: 978-8483223963.

Steadman, Ian (2013). «IBM’s Watson Is Better at Diagnosing Cancer than Human Doctors». *Wired*, 11 febrer 2013. Recuperat de <http://wired.co.uk/news/archive/2013-02/11/ibm-watson-medical-doctor>.

Turing, Alan (1950). *Computing machinery and intelligence*. Recuperat de <https://www.csee.umbc.edu/courses/471/papers/turing.pdf>.

Tzezana, Roey (2011). *Guide to the future*.

Universidad de Jaén (2010). *Tema 5: Estudios correlacionales*. Recuperat de <http://www4.ujaen.es/~eramirez/Descargas/tema5>.

Vilarroya, Òscar (2003). *Paraula de robot*. 1a ed. Barcelona: Edicions Bromera S.L., 160 p. ISBN: 978-84-7660-759-6.

Viquipèdia (2017). *Xarxes neuronals artificials* [en línia]. 12 desembre 2017. <https://ca.wikipedia.org/wiki/Xarxa_neuronal_artificial> [Consulta: 17 juliol 2018].

Wiki informàtica de la UTFSM (2012). *Historia de las memorias computacionales* [en línia]. 14 setembre 2012. <http://wiki.inf.utfsm.cl/index.php?title=Historia_de_las_memorias_computacionales> [Consulta: 14 juliol 2018].

AnnexosAnnex I: Taula de comparació de l'experiment pràctic

Subjecte	Puntuació Prova Memòria Auditiva	Puntuació Prova Memòria Visual	Puntuació Memòria de treball (mitjana)	Nota acadèmica
Alumne 1	15	15	15	9,60
Alumne 2	10	10	10	9,50
Alumne 3	10	11	10,5	8,55
Alumne 4	9	11	10	9,01
Alumne 5	9	12	10,5	7,95
Alumne 6	10	14	12	7,60
Alumne 7	11	10	10,5	7,83
Alumne 8	9	12	10,5	7,76
Alumne 9	7	11	9	7,12
Alumne 10	9	9	9	5,67
Alumne 11	8	10	9	6,12
Alumne 12	7	11	9	6,68
Alumne 13	8	9	8,5	6,40
Alumne 14	8	10	9	5,67
Alumne 15	9	9	9	6,23
Alumne 16	7	7	7	4,60
Alumne 17	8	11	9,5	3,43

