

Grau d'Antropologia i Evolució Humana

L'evolució del cervell humà: des d' "Homo erectus" fins a "Homo sapiens"

Treball Final de Grau

Herena Coma Almenar

Directora: Dra. Marina Lozano

Membres del tribunal:

- Dra. Begonya Enguix
- Dra. Marina Lozano
- Dr. Policarp Hortolà

Tarragona 2017

Resum:

Homo sapiens presenta unes característiques morfològiques cerebrals que han possibilitat les capacitats cognitives que podem observar actualment. Però no ha estat a causa d'un fet puntual en la nostra història evolutiva, sinó que anys de canvis en la dotació genètica i l'adaptació a l'entorn ha procurat el nostre augment del volum encefàlic i de la seva reorganització i connectivitat, on la asimetria cerebral ha estat l'estratègia per optimitzar els recursos neuronals. No obstant, en el registre fòssil hi ha evidència d'una explosió cognitiva en *Homo sapiens* molt relacionada amb l'expansió dels lòbuls fronto-parietals. Per tant, tot i que moltes de les capacitats cognitives van ser incipients en els individus del gènere *Homo*, com si d'un caldo de cultiu fos, no vas ser fins a *Homo sapiens* que certes capacitats queden sustentades sota el substrat de les àrees frontal i parietal.

Paraules clau: índex encefàlic, creixement al·lomètric, lòbul frontal, lòbul parietal, gènere Homo, capacitats cognitives, asimetria cerebral.

Resumen:

Homo sapiens presenta unas características morfológicas cerebrales que han posibilitado las capacidades cognitivas que podemos observar actualmente. Pero no han sido fruto de un hecho puntual en nuestra historia evolutiva, sino que años de cambios en la dotación genética y la adaptación al entorno han procurado nuestro aumento del volumen encefálico y de su organización y conectividad, donde la asimetría cerebral ha sido la estrategia para optimizar los recursos neuronales. No obstante, en el registro fósil hay evidencia de una explosión cognitiva en *Homo sapiens* muy relacionada con la expansión de los lóbulos fronto-parietales. Por tanto, a pesar de que muchas de las capacidades cognitivas fueron incipientes en los individuos del género *Homo*, como si de un caldo de cultivo se tratara, no fue hasta la llegada de *Homo sapiens* cuando ciertas capacidades quedan sustentadas debajo del sustrato de las áreas frontal y parietal.

Palabras clave: índice encefálico, crecimiento alométrico, lóbulo frontal, lóbulo parietal, género Homo, capacidades cognitivas, asimetría cerebral.

Abstract:

Homo sapiens presents cerebral morphological characteristics that enabled the cognitive abilities that we can observe currently. But they have not been the result of a unique and specific event in our evolutionary history, but years of changes in genetic endowment and adaptation to the environment have sought our increase in brain volume and its organization and connectivity, where cerebral asymmetry has been the strategy to optimize neural resources. However, in the fossil record there are evidence of a cognitive explosion in *Homo sapiens* closely related to the expansion of the fronto-parietal lobes. Therefore, many of the cognitive abilities were incipient in the ancient individuals of the genus *Homo*, but it was not until the arrival of *Homo sapiens* that they have capacities sustained under the substrate of the frontal and parietal areas.

keywords: encephalic index, allometric increase, frontal lobe, parietal lobe, gender Homo, cognitive abilities, Brain asymmetries.

Agraïments

M'agradaria poder donar les gràcies a la Marina Lozano, directora del meu Treball Final de Grau, pels seus bons consells, les seves idees i l'ajuda que sempre m'ha prestat. M'imagino que la tasca d'acompanyar i guiar els alumnes en un espai virtual no és fàcil, però jo m'he sentit molt, però que molt recolzada. Mil gràcies Marina!

I per altra banda, aprofito també per agrair a la resta de professors i professores que al llarg d'aquests 4 anys m'han ensenyat i m'han ajudat a obrir múltiples finestres per veure el món i respectar totes les visions possibles. Ha estat un plaer estudiar aquest grau, m'enduc una motxilla ben plena d'experiències, coneixements i aprenentatges que des de l'inici he posat en pràctica. Gràcies!

INDEX

1.	Introducció	4
2.	Hipòtesis i objectius	5
3.	Bloc I: morfologia del cervell i la seva evolució.....	7
3.1.	Com podem estudiar l'evolució del cervell?: La paleoneurologia	7
3.2.	Què sabem del nostre cervell Homo sapiens?	8
3.3.	Formació de l'encèfal	12
3.4.	El registre fòssil sobre l'evolució morfològica del cervell	12
3.4.1.	<i>Homo primitiu</i>	14
3.4.2.	<i>Homo erectus</i>	19
3.4.3.	<i>Homo antecessor</i>	21
3.4.4.	<i>Homo heidelbergensis/Homo rhodesiensis</i>	23
3.4.5.	<i>Pre-neandertals</i>	24
3.4.6.	<i>Homo neanderthalensis</i>	25
3.4.7.	<i>Homo sapiens arcaic</i>	27
3.5.	Què ens diu doncs, el registre fòssil?.....	32
4.	Bloc II: cognició i estil de vida, adquisició de capacitats al llarg de l'evolució	37
4.1.	Hipòtesis teòrica de l'evolució del cervell: gradual o puntual?	37
4.2.	El comportament dels nostres avantpassats	38
4.2.1.	Creativitat	38
4.2.2.	Llenguatge	40
4.2.3.	Cognició tècnica	45
4.2.4.	Cognició espacial	48
4.2.5.	Cognició social	50
4.2.6.	Asimetria cerebral	53
5.	Conclusions	57
6.	Perspectiva de futur	60
7.	Bibliografia	62
8.	Webgrafia	65
9.	GLOSSARI.....	66

1. Introducció

Durant molt de temps, l'evolució humana s'ha entès com un fet lineal, gradual i progressiu, com si una espècie donés pas a una altra de manera successiva durant milions d'anys. Però, les descobertes dels darrers anys i els mètodes i tècniques de investigació actual posen en entredit aquest fet, proposant una perspectiva més ramificada. L'evolució no sempre és lineal, existeixen canvis discontinus i complexos. Però tampoc l'evolució és sempre gradual, també existeixen períodes absents de canvi amb transformacions sobtades o puntuals. No sempre l'evolució té una tendència acumuladora de capacitats, a vegades l'evolució fa útil una capacitat en detriment d'una altra.

Un dels exemples més clars de la complexitat de l'evolució del nostre llinatge, és l'evolució que ha patit un òrgan tan complex i decisiu com el cervell.

Descobrir i explicar com ha evolucionat el cervell humà des dels primers *Homo* fins els nostres dies, ens serveix per entendre els mecanismes evolutius que han intervingut en la formació del nostre cervell contemporani. Alhora, també ens permet interpretar les seves possibilitats i els seus límits actuals.

L'arqueologia prehistòrica, i més concretament la paleoantropologia s'ocupa de l'estudi de l'evolució humana des dels orígens dels primers fòssils atribuïts al nostre llinatge, amb les dades obtingudes del registre fòssil i així explicar l'origen de l'humà i els canvis successius ocorreguts. Però un dels principals inconvenients que ens trobem és la falta d'evidència en el registre fòssil. L'encèfal no fossilitza. Afortunadament, la paleoneurologia ens aporta informació sobre els cervells dels nostres avantpassats, utilitzant tècniques computacionals que permeten la recreació virtual dels cervells dels hominins. Això ens permet comparar les estructures cerebrals entre espècies i veure els possibles canvis que han existit. Per determinar quines són les capacitats i habilitats cognitives dels nostres avantpassats ens podem valer de l'evidència arqueològica i de les restes de la cultura material. Entenent, aquí, cultura material en un sentit molt ampli on s'inclouen no només eines de pedra o manifestacions artístiques, si no tot tipus d'evidència que es troba en el registre arqueològic. D'aquesta manera obtindrem més fonts per a inferir les capacitats cognitives dels nostres avantpassats.

El treball que es presenta és una recerca bibliogràfica sobre com i què s'ha estudiat del cervell del gènere *Homo*. Les fonts bibliogràfiques han estat extretes dels cercadors de referència, *Scopus* i *Web of Science*, escollint els articles més recents, però sense oblidar també aquells autors que han marcat una fita en l'explicació de l'evolució humana.

L'estructura del treball es divideix en dos grans blocs. Un primer bloc titulat "La morfologia del cervell i la seva evolució", on s'introdueix l'estructura actual del cervell i es fa un repàs a l'evolució morfològica de les espècies del gènere *Homo*. Un segon bloc, "Cognició i estil de vida, adquisició de capacitats al llarg de l'evolució" és un intent de relacionar les estructures cerebrals canviant al llarg del llinatge i relacionar-les amb les capacitats cognitives sorgides. Finalment es proposen les conclusions que es consideren més importants en l'evolució del cervell.

Tot i que el treball s'emmarca dins de l'evolució humana, es considera oportú fer una menció de l'aportació de l'antropologia cultural i social en el treball. Al cap i a la fi, l'antropologia ens permet entendre quines haurien estat les relacions que establirien els nostres avantpassats amb el seu entorn, i per consegüent inferir la seva cultura.

2. Hipòtesis i objectius

Per aconseguir el nostre objectiu, és a dir, entendre els mecanismes que han guiat l'evolució del cervell des d' *Homo erectus* a *Homo sapiens*, plantegem tres hipòtesis de base.

1. *Els canvis cerebrals segueixen una evolució gradual en contraposició d'una evolució sobtada per mutacions.*

Considerem que l'evolució del cervell ha estat un procés lent i determinat pel context (tant geogràfic i mediambiental al principi, com cultural més tard) en que els humans van viure, i que a mesura que es produïen canvis en el context, aquests s'interrelacionaven amb l'individu generant una nova adaptació. Considerem que la creença en els fets puntuals i sobtats són a causa del escàs registre fòssil que tenim abast i que ens donen aquesta visió de salt qualitatiu entre les espècies. És a dir, aquesta manca de registre fòssil fa que no puguem identificar formes de transició.

2. *L'augment cerebral, i per tant, el coeficient encefàlic és el que permet l'èxit adaptatiu de la nostra espècie.*

Considerem que un encèfal amb més volum, implica més neurones i per tant, més connexions sinàptiques i major plasticitat neuronal, aspectes que implicarien àrees més desenvolupades, com les d'associació (àrea prefrontal i temporal) relacionades amb el desenvolupament cultural i social.

3. *L'expansió de l'àrea parietal i frontal és cabdal en l'evolució de la nostra espècie.*

El desenvolupament i l'estructura específica de les àrees parietals i frontal en l'*Homo sapiens* són las que han permès l'èxit adaptatiu de la nostra espècie, és a dir, que les

connexions sinàptiques i la seva reorganització cerebral són les responsables de l'evolució del cervell.

Els objectius bàsics d'aquest treball són:

1. Determinar els canvis que s'han donat evolutivament per a què el cervell dels humans actuals sigui com és.
2. Revisar el funcionament actual del cervell. Si identifiquem i entenem com funcionen les àrees cerebrals del cervell d'*Homo sapiens* i identifiquem estructures similars en els motlles endocranials dels cranis arcaics, podem inferir estructures corticals que ens podrien donar informació de la capacitat cognitiva subjacent.
3. Comprendre el desenvolupament del cervell humà des de l'embrió fins la infància ja que també ens dóna informació sobre l'evolució del cervell al llarg de la prehistòria. Per a poder abordar el tema de l'evolució del cervell humà ens valdrem de les investigacions sobre l'evidència del registre arqueològic específic sobre el crani del gènere *Homo*, investigacions realitzades sota la metodologia i tècniques que ens aporta la paleoneurologia.
4. Proposar així una hipòtesi explicativa de com hauria estat l'evolució del cervell des de *Homo erectus* fins a *Homo sapiens*.

3. Bloc I: morfologia del cervell i la seva evolució

3.1. Com podem estudiar l'evolució del cervell?: La paleoneurologia

La paleoneurologia és una branca de la paleontologia que té com a finalitat estudiar l'evolució del sistema nerviós central des dels primers homínids. El seu objectiu és l'estudi del sistema neurològic dels homínids a partir del registre fòssil, més pròpiament, de l'estudi de les parets internes de l'endocrani. El mètode que utilitzen els paleoneuròlegs és la reproducció de la morfologia interna del crani realitzant motlles endocranials a partir dels fòssils, proporcionant una visió externa de l'encèfal. Posteriorment, aplicaran en aquest motlle mètodes d'anàlisi d'anatomia i morfologia per derivar els trets i volums endocranials. En un primer moment, es feien motlles físics, aplicant silicones a les restes fòssils. Actualment, la tecnologia 3D ens permet obtenir aquests motlles endocranials mitjançant escàners que fan que no es manipulin les restes fòssils que sovint són molt delicades degut al seu fràgil estat de conservació. També permeten fer reconstruccions virtuals de cranis que no estan sencers i per tant, amplien la quantitat de mostra útil per a estudiar.

Bruner (2004) defineix la paleoneurologia com a l'estudi i anàlisi dels motlles endocranials. Juntament amb la capacitat cranial i les característiques anatòmiques discretes, la forma es pot analitzar per considerar les relacions entre estructures i investigar el sistema estructural de l'endocrani. La paleoneurologia també ens aporta informació sobre els trets anatòmics específics, com patrons vasculars, asimetries cerebrals o circumvolucions específiques (Bruner, 2004). La neurologia comparada ens permet comparar el nostre cervell actual amb altres cervells de primats no humans, o d'altres espècies animals, o comparar-los amb d'altres espècies del gènere *Homo* o més arcaics, i aquests últims amb primats no humans (Poza-Rey, 2015).

La finalitat de la paleoneurologia és esbrinar quins processos fisiològics, funcionals i evolutius han intervingut en la configuració del cervell fins a l'actualitat i el per què, i com el nivell cognitiu i cultural han estat involucrats en aquest procés.

Hem de ser conscients de les limitacions amb les que es troba la paleoneurologia. I és que el material no sempre es troba preservat, i tot i les nombroses troballes hem de reconèixer que la mostra és petita i a més, no tots els cranis que es troben en els jaciments tenen traces cerebrals que permetin poder analitzar-los per aquesta finalitat.

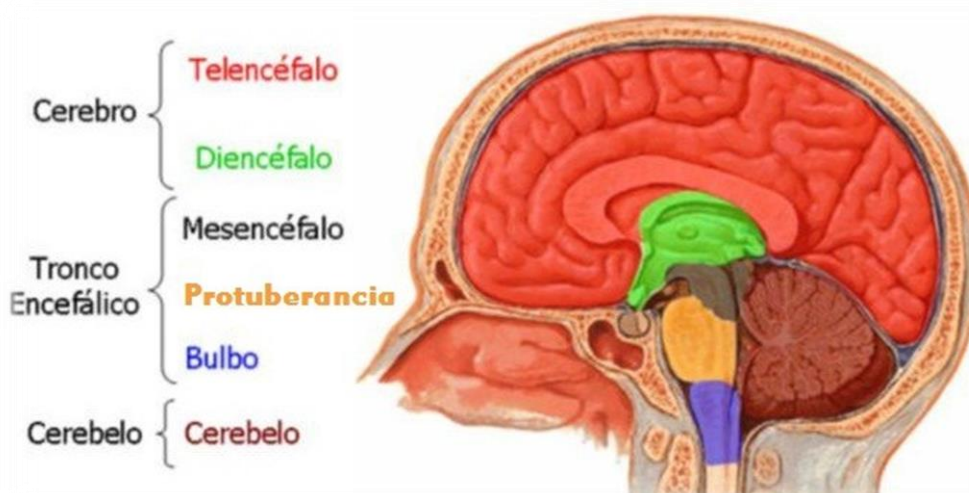
A més d'aquestes limitacions hem de partir de la idea que mai aquest motlle serà una representació exacte del cervell. Això obliga al coneixement del sistema neurològic dels humans actuals, per entendre allò que observem en el motlle (la part més externa de l'encèfal). El

coneixement neurològic dels humans contemporanis ens donarà informació sobre les possibles funcions dels cervells dels homínids del passat gràcies a les petjades que el sistema va deixar en la paret interna del crani. Per aquest motiu, creiem necessari fer un repàs sobre les estructures i organitzacions de l'encèfal humà actual, donant importància a aquelles parts que es poden trobar en la cara interna del crani del registre fòssil.

Tot i les limitacions, el crani és el testimoni de l'anatomia cerebral dels primers homínids i ens aporta a més de la informació descrita anteriorment, dades sobre la seva morfogènesis, és a dir, tant del creixement (canvis en la mida) com del desenvolupament (canvis en la forma) d'aquell cervell que analitzem (Bruner, 2012)

3.2. Què sabem del nostre cervell *Homo sapiens*?

El Sistema Nerviós Central (SNC en endavant) està format per la medul·la espinal i l'encèfal. L'encèfal es divideix en 6 àrees; el bulb raquidi, la protuberància, el cerebel, el mesencèfal, diencèfal i el telencèfal (còrtex cerebral, ganglis basals i sistema límbic)(Fig.1). Cada una d'aquestes zones té una funció però no tenen cap coherència si les funcions entre les zones no estan interrelacionades configurant un sistema funcional global.

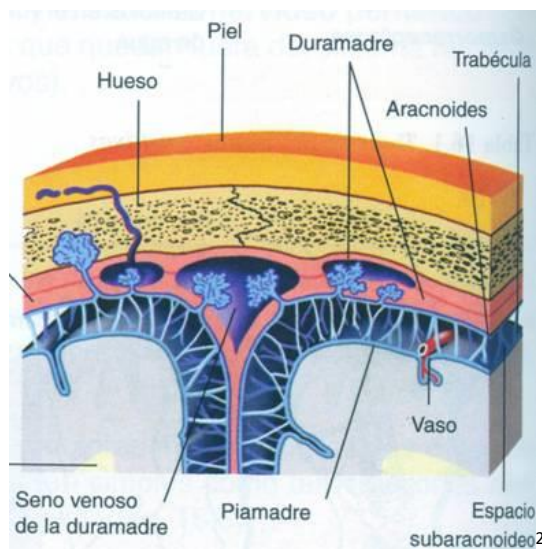


1

L'encèfal està protegit per una estructura òssia anomenada crani. A l'interior del crani existeixen dos sistemes de protecció de l'encèfal; les meninges i el líquid cefaloraquídi. Les meninges (Fig.2) són tres capes de teixit conjuntiu que protegeixen l'encèfal i eviten el contacte directe amb el crani. La duramàter és la capa més externa i està adherida a la superfície interna del crani. La duramàter és un teixit connectiu gruixut i resistent que inclou la capa periòstica externa

¹ Figura 1. Imatge del SNC. Extret de Psicología y mente: <https://psicologiaymente.net/neurociencias/partes-cerebro-humano>

adherida a la cara interna del crani i la capa meníngia interna. Aquestes dues capes estan unides entre sí formant una membrana continua excepte en unes zones, on aquestes capes es separen i formen els si de la duramàter, com per exemple el si sagital. Les parets del si estan formats per la capa meníngia, i la capa periòstica forma el sostre del si. En els marges inferiors del si o conducte venós trobem que les dues capes de les meninges es fusionen formant un septe que divideix la cavitat cranial en compartiments que limiten els moviments de l'encèfal. El septe de majors dimensions és la *falx cerebri* que divideix aquesta cavitat cranial en dues meitats simètriques. En direcció posterior es troba el *tentorium* o tenda del cerebel dels hemisferis cerebrals. Unida a la duramàter hi ha l'aracnoide, una capa intermèdia formada per una membrana esponjosa amb dos prolongacions denominades trabècules aracnoides que van fins la capa més interna. La capa més profunda de les meninges és la piamàter, fina i rica en vasos, que es troba adherida a l'encèfal i que penetra en cada solc i fissura. Entre la piamàter i l'aracnoide hi ha l'espai subaracnoïdal, ocupat pel líquid cefaloraquidi. Aquest espai varia en amplada al llarg de l'encèfal. És estret sobre els hemisferis cerebrals excepte en els solcs. En la base de l'encèfal i al voltant del tronc de l'encèfal existeix més amplada formant la cisterna subaracnoïdal i aquí trobem les principals venes i arteries cerebrals superficials. Coincidint en les zones per on entren o surten els vasos sanguinis, la piamàter es doblega formant un espai perivascular que conté vasos i líquid cefaloraquidi.



Tenint en compte que el l'encèfal no fossilitza, però sí pot deixar marques en l'interior del crani d'aquest sistema meníngi podem extreure informació sobre la morfologia externa dels girs, solcs, vasos sanguinis i sinus, per tant dels teixits tous de l'encèfal. Els motlles endocranials

² Figura 2. Imatge Sistema meníngi. Extret de Monografias.
<http://www.monografias.com/trabajos93/meninges/meninges.shtml>

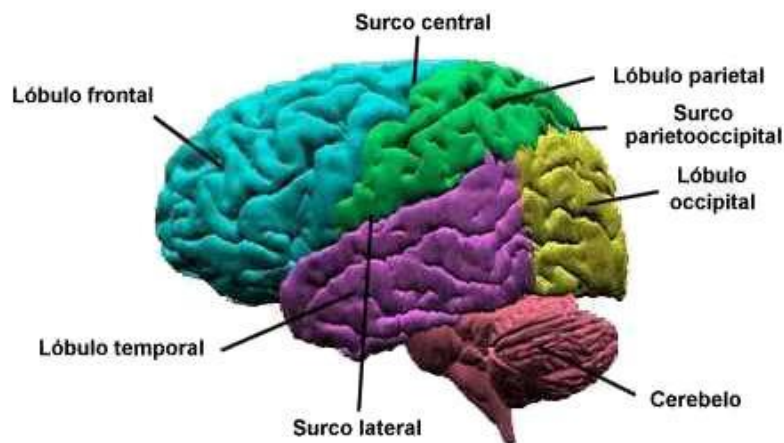
també ens donaran informació sobre la mesura dels hemisferis i lòbuls cerebrals i de la seva organització, com també observar l'organització pel subministrament sanguini i les venes meninges.

El bulb raquidi, la protuberància i el mesencèfal es troben en el tronc de l'encèfal. Aquesta zona té una gran importància en el funcionament de l'encèfal i de l'organisme en general, ja que rep la informació sensorial somàtica de la medul·la espinal, i porta a terme funcions sensorials i motores com per exemple rebre la informació del tronc i extremitats per les vies ascendents de la medul·la i nervis cranials del Sistema Nerviós Parasimpàtic que després transmetrà a les estructures de l'encèfal. També rep informació per controlar actes motors reflexos amb independència d'altres nivells de l'encèfal. Controla els nervis cranials motors del cap i intervé en el control motor del tronc, extremitats i òrgans interns a través de les neurones motores de la medul·la espinal. És el centre pel qual els hemisferis cerebrals es comuniquen amb el cerebel. És a dir, el tronc de l'encèfal és la zona de intercomunicació entre medul·la espinal i encèfal, i per on passa tota la informació sensorial que procedeix de la medul·la i totes les ordres motores que descendeixen des dels hemisferis cap a la medul·la. Per tant, és el centre d'integració sensorial i motora.

El cerebel ocupa el 10% del volum total de l'encèfal, i rep nombroses senyals de la medul·la i del tronc de l'encèfal que transmetrà al còrtex cerebral. Per aquest motiu el cerebel és el centre modulador de les funcions motores. El cerebel està localitzat sota els hemisferis cerebrals i envolta la cara dorsal del troc de l'encèfal. La superfície del cerebel està molt plegada, i aquests plecs s'anomenen folia. Entre les folies existeixen cissures que divideixen transversalment el cerebel en tres lòbuls: anterior, posterior i floculonodular. L'anterior i posterior estan en la superfície dorsal separats per una cissura, i el tercer lòbul està en la superfície ventral del cerebel que és convexa.

El diencèfal és la divisió més petita de l'encèfal anterior i té una posició central, entre els hemisferis cerebrals i el tronc de l'encèfal. Està format per quatre components, l'hipotàlem, el tàlem, el subtàlem i l'epitàlem. El tàlem és el centre de coordinació sensorial, rep la informació de tots els sentits i és la zona per on té accés el còrtex cerebral tota la informació sensorial excepte l'olfacte. L'hipotàlem és el centre de la coordinació dels sistemes efectors motors i endocrins. L'hipotàlem rep la influència dels hemisferis cerebrals i ho canalitza cap el tronc de l'encèfal i medul·la. L'hipotàlem influeix en el Sistema Nerviós Autònom, el Sistema Motor Somàtic i el Sistema Endocrí. L'hipotàlem també secreta hormones i és l'únic centre de l'encèfal que coordina i controla el Sistema Endocrí.

Els hemisferis cerebrals són dos cossos que formen la part més voluminosa del SNC. La majoria de l'organització del SNC consisteix en canalitzar cap als hemisferis cerebrals la informació que es rep dels altres nivells. En els hemisferis es creen els circuits on s'analitzen, s'associen i s'emmagatzema la informació permeten que l'individu tingui un punt de referència respecte a si mateix i al món que el rodeja, i pot planificar el seu comportament davant del medi. Els hemisferis cerebrals són els responsables de la consciència de les sensacions, de les percepcions, dels moviments voluntaris, dels aprenentatges, de la memòria, del pensament, del llenguatge...



3

Els hemisferis es corben al voltant del tronc de l'encèfal. Es poden observar molts plec que formen el còrtex cerebral. El còrtex cerebral que queda amagat degut als plec, creen solcs i cissures. Les superfícies elevades entre les cissures són les circumvolucions cerebrals i permeten establir els límits en la seva superfície. Exemples de cissura són la cissura central o de Rolando (Fig.3), la cissura lateral o de Silvio (Fig.3) i la cissura parieto-occipital (Fig.3) que divideix la superfície lateral de cada hemisferi en 4 grans lòbuls: el lòbul frontal, el lòbul parietal, el lòbul occipital i el lòbul temporal (Fig.3). Els hemisferis tot i estar separats per la cissura longitudinal es mantenen units per una comissura, el cos callós. Existeixen dos lòbuls més, el lòbul de la insula (situat en la profunditat de la cissura lateral on es troben els lòbuls frontal, parietal i temporal) i el lòbul límbic (localitzat en la cara medial dels hemisferis) que forma un cos callós des del lòbul temporal al lòbul frontal. Aquests dos lòbuls no es poden observar en la cara lateral dels hemisferis. Tampoc es visible la circumvolució del hipocamp i el gir dentat que es troben en la cara medial del lòbul temporal.

³ Figura 3. Lòbuls cerebrals i cissures del cervell. Extret de Psicoactiva. <https://www.psicoactiva.com/atlas/corteza-cerebral.htm>

3.3. Formació de l'encèfal

El SNC fent una analogia, recorda a un tub on les seves parets es converteixen en teixit nerviós i el seu interior en ventricles. En les primeres etapes de la gestació, el tub neural és una estructura recte. En els humans, a la setmana 28 de gestació la part anterior del tub neural deixa de tenir aquesta forma i apareixen tres prominències primàries, el prosencèfal o cervell anterior, el mesencèfal o cervell mig i el romboencèfal o cervell posterior.

A la setmana 36 de gestació, el prosencèfal es divideix en dues parts. Una primera part és la subdivisió anterior on es diferencien dues vesícules telencefàliques (telencèfal) que donarà lloc als hemisferis cerebrals. Una segona part és el diencèfal. A la mateixa hora que es divideix el prosencèfal, el romboencèfal es diferencia en dues parts, el metencèfal que donarà lloc a la protuberància i el cerebel, i el mielencèfal que donarà lloc al bulb raquidi. El bulb raquidi, la protuberància i el mesencèfal formen el tronc de l'encèfal.

3.4. El registre fòssil sobre l'evolució morfològica del cervell

Fins ara, hem fet un esbós sobre què és la paleoneurologia i ens hem introduït en la morfologia del cervell dels humans actuals, com a base per poder entendre quines han estat les estructures cerebrals que han variat al llarg de l'evolució humana.

En aquest apartat s'exposarà una breu contextualització i descripció de cada una de les espècies del gènere *Homo* com també farem referència als aspectes morfològics i anatòmics a partir dels estudis paleoneurològics.

L'origen del gènere *Homo* es situa a l'Àfrica fa 2.5 milions d'anys i coincideix amb l'aparició de les primeres eines lítiques, molt probablement relacionat amb l'augment i reorganització encefàlica que comportaria una millora cognitiva com també nous processos neurològics. Tot i això, l'any 2015 Harmand i col·laboradors publiquen els resultats de les restes lítiques trobades en el jaciment de Lomekwi (Llac Turkana, Kenia) datades en 3,3 milions d'anys. Els científics responsables del descobriment, associen la talla d'aquestes pedres al gènere *Kenyanthropus platyops* per la coincidència cronològica dels estrats. Les restes d'eines s'atribueixen a un mode anterior al olduvaià, que anomenen Lomekwine. A partir dels remuntatges poden inferir la forma de producció i conclouen que el gènere responsable hauria experimentat una reorganització cerebral en regions com el còrtex visual, còrtex somatosensorial, còrtex motor i premotor.

Abans d'endinsar-nos en el nostre gènere, es considera oportú fer un breu repàs dels estudis paleoneurològics referents al nostre avantpassat directa, els Australopitècids.

Es suposa que l'expansió cranial respecte altres simis s'iniciaria en aquest gènere (Lozano i Rodríguez, 2010) i s'estima que la capacitat encefàlica rondaria els 400 i 500 cc, indicant un cervell més gran en relació a la grandària corporal i un cervell més gran que altres primats no humans (Lozano i Rodríguez, 2010).



Un dels aspectes interessants dels estudis sobre els Australopitècs, és la presència del solc lunar perquè la seva posició anterior del còrtex visual primari indicaria una posició semblant a la del simi, i una posició posterior indicaria un tret més modern i donaria suport a la hipòtesi d'una reorganització neurològica anterior a l'aparició del gènere *Homo*. Holloway (2004) a partir del motlle de l'endocrani del individu Stw 505 de Sterkfontein, que presenta la capacitat craniana més gran entre els *Australopithecus africanus* (Fig.4)(Sudàfrica, datat en entre 3,3 i 2,5 m.a.) observa una posició posterior del solc lunar i les àrees del llenguatge haurien augmentat. D'aquesta manera, aquest autor argumenta que fa 7 milions d'anys, l'ancestre comú de simis i humans hauria tingut una posició anterior del solc lunar, però la reducció del còrtex visual primari i l'orientació posterior del solc lunar seria una novetat evolutiva (autapomorfia) única pel llenguatge humà i que precedeix a l'augment del volum cerebral.

Karabo (Mh1) és un altre exemplar d'aquest gènere (*Australopithecus sediba*, Sudàfrica, al voltant de 2 m.a). Descobert per Lee Rogers Berger l'any 2010, s'estima que el seu volum cerebral és de 420 cc i tot i que la mesura del cervell indica un tret primitiu s'observen trets que l'apropen als humans moderns. En l'estudi de Carlson i col·laboradors (2011) obtenen resultats consistents d'una certa reorganització neural progressiva en la regió orbito frontal en la transició entre els Australopitècids i el gènere *Homo* però no seria conclouent per admetre que aquesta reorganització s'hauria donat conclouent abans de la transició. També conté una petàlia frontal

⁴ Figura 4: *Australopithecus africanus*, STW 13, Sterkfontein, Sud Àfrica. Extret de Smithsonian. <http://humanorigins.si.edu/evidence>

dreta, un desenvolupament en l'àrea de Broca diferent als simis i altres australopitecs, i una inflor en l'àrea 10 de Brodmann associada amb funcions cognitives superiors (Poza-Rey, 2015).

3.4.1. Homo primitiu

Es considera oportú englobar en aquest apartat totes aquelles espècies del gènere *Homo* que serien els primers pobladors del continent africà i denominats sota el nom d'*Homo primitiu* degut als debats que susciten actualment per divergències d'opinions referent a taxonomies i implicacions en la teoria de l'"*Out of Africa*". Justament per la complicació de determinar quina ha estat l'espècie pionera en marxar de l'Àfrica, s'afegeix en aquest apartat *Homo georgicus*, que tot i trobar-se en el continent euroasiàtic és el responsable central del debat de l'"*Out of Africa*" per trobar-se en el punt estratègic entre Àfrica i Àsia.

3.4.1.1. *Homo habilis*

Fa 2,5 milions d'anys, durant el Pleistocè inferior, a l'Àfrica es produeix un canvi climàtic que produeix l'expansió de la sabana i una reducció de les pluges i de les temperatures. En aquest període en que encara existeixen els australopitecs sorgeix un nou gènere, l'*Homo* que genera una gran diversitat d'espècies. Els trets comuns són una expansió cerebral, un canvi de dieta, la fabricació d'eines i l'ocupació d'espais oberts.



El fòssil més antic d'*Homo habilis* (Fig.5), un maxil·lar de 2.4 milions d'anys associat a eines lítiques, es troba en el jaciment de Hadar (Etiòpia) i morfològicament destaca un reduït prognatisme facial i una mida petita de les dents. A Olduvai (Tanzània) Leakey troba un crani amb una datació de 1,8 milions d'anys. El crani amb un volum encefàlic estimat de 680 cc demostra un augment des dels australopitecs. Les restes de l'esquelet postcranial, com les falanges de les mans, donen indicis de la possibilitat de manipular objectes. La forma de les falanges del peu indicarien un desplaçament bípeda però encara hi ha presència de trets arborícoles. OH62, un exemplar d'*Homo habilis* d'Olduvai té una proporció entre la longitud de

⁵ Figura 5: *Homo habilis*, KNM-ER 1813, Koobi Fora, Kenia. Extret de Smithsonian. <http://humanorigins.si.edu/evidence>

braços i cames similar a la nostra, tot i que encara presenta un tret primitiu (Lozano i Rodríguez, 2010).

A *Homo habilis* se li atribueix la fabricació d'eines de pedra. Aquesta indústria s'associa a l'accés ràpid de l'extracció de la carn i als ossos de les carcasses, afavorint la introducció de la proteïna de la carn en la dieta humana. Aquest fet es correlaciona amb l'augment del cervell. La reducció dels intestins causada per una menor dependència dels vegetals (que necessiten un sistema digestiu molt complex per a poder extreure els nutrients), possibilita que l'energia que ja no s'usa per la digestió, es pugui invertir en un altre òrgan corporal complex i energèticament costós: el cervell. D'aquesta manera, s'hauria afavorit l'expansió cerebral (Aiello i Wheeler, 1995).

3.4.1.2. *Homo rudolfensis*

S'estima que *Homo rudolfensis* (Fig.6) va viure fa 2.4 i 1.6 milions d'anys i encara suscita debat referent la seva assignació taxonòmica. Alguns autors consideren que la seva adscripció a una espècie diferent a *Homo habilis* és errònia però la gran majoria estan d'acord que les característiques morfològiques que presenta són suficients per designar una espècie nova denominada *Homo rudolfensis*. Aquestes característiques les trobem en el crani KNM-ER 1470 que presenta un volum encefàlic de 775 cc, més gran que en *Homo habilis*. Aquest augment es relaciona amb una reorganització neural que produiria una diferenciació funcional dels dos hemisferis cerebrals, capacitant-los per a processar informació complexa i un increment de la memòria, i podria entendre conceptes abstractes (Lozano i Rodríguez, 2010). Presenta un esquelet facial més gran, ampla i pla que *Homo habilis*, i la part superior de la cara és estreta, i ampla en la zona mitja. Presenta unes dents que suggereixen megadòncia. Tots aquests trets porten a pensar en una mida corporal més gran que *Homo habilis*.



⁶ Figura 6: *Homo rudolfensis*, KNM.ER 1470 Koobi Fora, Kenia. Extret de Smithsonian. <http://humanorigins.si.edu/evidence>

Aquestes dues espècies eren capaces de fabricar eines lítiques, denominades mode tècnic 1 o olduvaia, però s'atribueix a *Homo habilis* la responsabilitat de la fabricació de les primeres eines, tot i que alguns arqueòlegs suggereixen que *Australopithecus garhi* ja hauria tingut aquesta capacitat. En dos jaciments a prop del riu Kada Gona (Etiòpia) es van recuperar restes d'indústria lítica datada amb 2.6 milions d'anys suposadament realitzades per *Australopithecus garhi* (Pringle, 2013). El mode tècnic 1 o olduvaia es compon d'eines rudimentàries que servien per satisfer una necessitat immediata. Tot i ser primitives en composició, la seva fabricació implica uns coneixements bàsics de geometria tridimensional i una destresa manual que comporta uns processos cognitius més complexos i per tant, un grau d'intel·ligència major produïda durant el Pleistocè inferior (Lozano i Rodríguez, 2010). Els jaciments on s'han trobat eines lítiques del mode tècnic 1 es troben a l'est d'Àfrica; Etiòpia (regió del riu Omo), Kenya (al voltant del llac Turkana), Tanzània (Olduvai) i a Sudàfrica a Sterkfontein.

3.4.1.3. *Homo ergaster*

Fa 1.8 milions d'anys, apareix a Àfrica *Homo ergaster* (Fig.7). Aquests homínids tenien un volum encefàlic de 850 cc, la base del crani és ampla, el torus supraorbital està ben desenvolupat, hi ha menys prognatisme facial, les dents són més petites i la forma i proporcions corporals són semblants a les de la nostra espècie (Lozano i Rodríguez, 2010). A Nariokotome (Kenya) es troba un esquelet complet de 1.5 milions d'anys amb una alçada de 180 cm en adults, semblants a poblacions actuals de massai, adaptats a zones de gran insolació, calorosos i secs, i que permet una bona termoregulació. La pelvis és més estreta que comporta una constricció de la part inferior de la caixa toràctica, i la caixa toràctica superior és més ampla per no constrènyer els pulmons. D'aquesta manera trobem que la caixa toràctica ja presenta la forma de barril, característica de la nostra espècie. Aquests individus eren bípedes, que juntament amb el constrenyiment de la pelvis i la modificació del mecanisme del part, comportaria nomenats immadurs amb la conseqüent necessitat de la cooperació per part dels membres del grup.



⁷ Figura 7: *Homo ergaster*, KNM-ER 3733, Koobi Fora, Kenya. Extret de Smithsonian. <http://humanorigins.si.edu/evidence>

El mode 2 o acheulià apareix a Àfrica fa 1.7 milions d'anys, i s'atribueix a *Homo ergaster* la seva producció. Les eines són més grans i tenen una morfologia estandarditzada. Aquestes eines responen a un model mental preconcebut, i per tant, a una planificació prèvia per plasmar-lo. A diferència del mode 1, l'acheulià ja no es fabrica per una necessitat puntual, si no que l'útil té una vida llarga. La capacitat cerebral necessària per a fabricar eines acheulianes indica que el cervell d'aquest homínid no només hauria augmentat el seu volum, si no que també les connexions sinàptiques.

3.4.1.4. *Homo georgicus*

En el jaciment de Dmanisi (1,8 m.a.), localitzat en la República de Geòrgia es troba un conjunt de fòssils animals, eines lítiques del mode 1 i restes humanes associades que porten a controvèrsies d'acord a la seva datació, propera a la dels primers *Homo ergaster*. Descriuen 5 cranis, tres mandíbules i restes de l'esquelet post cranial, i la seva morfologia indica similituds amb *Homo ergaster*, *Homo habilis* i *Homo erectus* de Sangiran. La gran variació morfològica i de dimensions que hi ha entre els 5 cranis ha fet que hi hagi controvèrsia sobre l'assignació a espècie. Per als membres de l'equip d'excavació està clar que és una única espècie: *Homo georgicus* (Fig.8). Però, per altres investigadors com Marcia Ponce de Leon podrien correspondre a tres espècies diferents: *Homo erectus*, *Homo habilis* i *Homo rudolfensis*. José Maria Bermúdez de Castro considera que hi ha com a mínim, 2 espècies representades.



No obstant aquestes discrepàncies, el que està clar és que la capacitat cranial és de 770 i 660 cc, una mica inferiors a *Homo ergaster* però la seva datació els apropa als primers *Homo ergaster*. En un estudi de Grimaud-Hervé descriu que el solc lunar té una localització igual que els representants del gènere *Homo* i manté alguns trets plesiomorfs dels homínids del mateix període. D 2280, exemplar de Dmanisi té un pic encefàlic amb una forma primitiva similar a *Homo erectus*, però conté trets derivats presents en les poblacions actuals. Conclou que els

⁸ Figura 8: *Homo georgicus*, D2282, Dmanisi, República de Geòrgia. Extret de Smithsonian. <http://humanorigins.si.edu/evidence>

individus de Dmanisi representarien les primeres poblacions d'*Homo erectus/ergaster* que es situarien en el corredor entre Àsia i Àfrica i es desenvoluparien a Àsia.

3.4.1.5. Out of Africa

Durant el Pleistocè inferior, fa 1.7 i 1 milions d'anys, s'inicia l'ocupació del continent euroasiàtic i *Homo ergaster* és la primera espècie en sortir d'Àfrica, com semblen demostrar els jaciments d'Ubeidiya (1.8 m.a), Dmanisi (1.8 m.a), Java (1.8 m.a) i Xina. Avui en dia encara es debat quina seria la possible via d'accés a Euràsia, però la gran majoria dels investigadors proposen que el corredor de Palestina seria el pas més probable, fet recolzat pels jaciments d'Ubeideiya (1.4 m.a.) i Dmanisi (1.8 m.a.).

Existeixen dos models per explicar la primera ocupació del continent euroasiàtic. Un model asiàtic que proposa que *Homo ergaster* sortiria d'Àfrica pel corredor de Palestina, i s'expandiria cap a Àsia evolucionant cap a *Homo erectus*. Després una població d'Àsia migraria cap a Europa, anomenats *Homo antecessor*, trobats en el jaciment d'Atapuerca (1.2 milions d'anys) i que presenta semblances d'*Homo erectus* suggerint que *Homo antecessor* podria tenir un origen asiàtic. El segon model, l'africà, proposa una primera migració cap a Àsia d'*Homo ergaster* que evolucionaria cap a *Homo erectus*, i una sortida posterior d'Àfrica cap a Europa d'*Homo ergaster* que donaria lloc a *Homo heidelbergensis*. També es planteja la possibilitat de que *Homo ergaster* a Àfrica evolucioni cap a *Homo antecessor*, i que aquest fos el que fes la colonització cap a Europa però falten evidències en el registre arqueològic africà.

Hi ha tres hipòtesis per explicar la marxa del continent africà. La primera és el canvi climàtic que afectaria a la vegetació i per tant, provocaria la sortida de la fauna en busca de pastures, primer dels herbívors, seguit dels carnívors i per últim dels hominins. La segona hipòtesi de la sortida de l'*Homo* esdevindria per l'aparició del mode 2 que facilitaria l'accés a nous recursos i que ajudaria a augmentar la demografia. Aquells individus que no adoptaren el mode 2 es veurien forçats a buscar nous indrets. Aquesta hipòtesi es veu reforçada pels jaciments de fora d'Àfrica que mostren indústria lítica olduvaià com per exemple el jaciment de Dmanisi. Una tercera hipòtesi de la sortida de l'Àfrica podria ser a causa de l'expansió cerebral que provocaria canvis en el cos ajudant-los a l'adaptació d'altres ambients. Però les restes fòssils del jaciment de Dmanisi tenen trets més semblants a *Homo habilis* que no pas a *Homo ergaster*. Això podria significar que l'ocupació fora d'Àfrica es podria haver donat abans de l'expansió d'*Homo ergaster* o en *Homo ergaster* primerencs. Per aquest motiu alguns investigadors assignen a aquestes restes fòssils com a *Homo georgicus*. Tot i això, la idea general de la comunitat científica considera que els individus de Dmanisi són exemplars d'*Homo ergaster*, primers

representants de la sortida d'Àfrica. En el transcurs de la colonització d'Àsia esdevé l'espècie *Homo erectus*, i que els que es van dirigir cap a Europa, en una probable segona migració deriven en *Homo heidelbergensis* a partir d'*Homo antecessor*. Però en un estudi de 2014, la seqüenciació i estudi de l'ADN d'*Homo heidelbergensis* evidència que aquesta població està més propera a neandertals i a denisovans i no a *Homo antecessor* (Meyer et al., 2014).

3.4.2. *Homo erectus*

Eugène Dubois va anomenar *Pithecanthropus erectus* els fòssils trobats a Trinil (Indonèsia) i que ara es coneixen com *Homo erectus* (Fig. 9) gràcies al descobriment dels fòssils de Zhoukoudian (Xina) i que presenten similituds amb els ossos de Java. Des d'aleshores es va acceptar que tots aquests fòssils eren representants del llinatge humà i s'assignen al gènere *Homo*. Existeixen diversos jaciments asiàtics datats amb més d'1 milió d'anys: Ubeidiya (Israel); Sangiran i Mojokerto (Java); Gongwangling, Longgupo, Majuangou i Donggutuo (Xina) i Riwat (Pakistan). Com podem veure, només existeix evidència de registre fòssil en el continent asiàtic.

Homo erectus porta a controvèrsia. Els primers poblaments a l'Extrem orient estan datats en 1.8 i 1.6 milions d'anys i per tant, les poblacions que es suposen pioneres en l'"*Out of Africa*" són de la mateixa època que els individus asiàtics. Existeixen dues hipòtesis. La primera planteja que les poblacions africanes i les asiàtiques pertanyen a diferents espècies, sent les africanes *Homo ergaster* i les asiàtiques *Homo erectus* (Bruner et al., 2015), degut a les diferències morfològiques com per exemple; unes superestructures cranials molt desenvolupades, un torus supraorbital molt desenvolupat i recte, l'occipital és més angulós i marcat, la volta cranial és baixa i allargada i les parets del crani i la resta d'ossos de l'esquelet tenen un gruix considerable, i una capacitat cranial de 900-1000 cc. La segona hipòtesi ens diu que les poblacions asiàtiques mostren una forta variabilitat i que no troben correspondència amb una identitat africana o europea (Wood, 1992). Però Bruner considera que hi ha més variabilitat endocranial en la mostra africana i que la mostra asiàtica ho és menys i pot ser degut a un aïllament geogràfic de les poblacions que ocupen territoris marginals (Bruner et al., 2015). En canvi, sembla que si hi ha acord entre la distinció d'*Homo erectus* i *Homo heidelbergensis* (aquest últim evolucionat a Europa a partir d'*Homo ergaster*). Encara que també hi ha investigadors, com Ph. Rightmire, que defensen que aquesta espècie procedeix d'Àfrica, de l'*Homo rhodesiensis* que va viure al continent africà cap als 600.000 i que té moltes característiques anatòmiques similars als heidelbergensis (Crani de Bodo, per exemple).

La capacitat cranial d'*Homo erectus* s'estima al voltant de 800-1000cc. Segons Holloway (1995) l'augment de la capacitat cranial no estaria subjecte a un procés d'encefalització, si no més aviat a un índex d'encefalització, a un augment de la mida corporal. Bruner (2004) considera que

Homo erectus mostra trets evolutius nous (apomorfia) però alhora són menys derivats que neandertals i humans moderns. En l'estudi de Bruner (2015) descriu l'endocrani amb unes àrees frontals planes i estretes. En les àrees parietals superiors es troba una depressió parasagital associada a la quilla mitja. L'amplada màxima del crani es troba a l'alçada dels lòbuls temporals posteriors. Les àrees occipitals es projecten i tenen una forma posterior de bombament, són més voluminoses. Els lòbuls cerebel·losos es troben en posició posterior gairebé sota dels lòbuls occipitals a diferència dels neandertals que es situen en la base de les àrees temporals i dels humans moderns que es situen sota les àrees temporals a causa de la seva forma globular (Bruner, 2015). També presenta un augment de les àrees temporals i parietals inferiors a diferència dels hominins anteriors (Bruner i Holloway, 2010), però en canvi, aquests mateixos lòbuls parietals són més aplanats i estrets en comparació amb individus més moderns, com *Homo neanderthalensis* i *Homo sapiens* (Bruner i Holloway, 2010).



Sambungmacan 3 (Sm3) és un exemplar d'*Homo erectus* d'Indonèsia. Holloway (2001) troba característiques cranials diferents d'altres cranis d'*Homo erectus*; lòbul frontal amb aparença arrodonida i escurçada, i una amplada màxima superior. Els patrons meninges evolucionen més complexos des dels primers australopitecs (Saban 1982 en Holloway, 2001). Els sinus de Sm3 recorden al patró d'*Homo erectus* però també a humans moderns. L'endocrani Sm3 mostra una petàlia frontal dreta i cap en l'occipital dificultant l'anàlisi de la lateralització i dominància manual. Però Holloway ens dóna dos dades per inferir la dominància manual (Holloway, 2010). Una primera basada en les característiques morfològiques i estimacions volumètriques que indicarien una dominància hemisfèrica esquerrana i per tant, un patró manual dretà. I segona, es troba una àrea de Broca ben desenvolupada, que juntament amb el patró petalial corrobora la dominància hemisfèrica esquerrana. Hi ha certs aspectes que Holloway descriu i que el fa suggerir una possible parla en *Homo erectus* com són: una àrea de Broca pronunciada, un lòbul frontal esquerra més gran en general tot i que en el punt de l'àrea de Broca el frontal dret és

⁹ Figura 9: *Homo erectus*, Ngandong 7, Solo River, Java, Indonèsia. Extret de Smithsonian. <http://humanorigins.si.edu/evidence>

més ampla, i en la tercera circumvolució frontal inferior s'observa un desplaçament cap a la cissura de Silvio creant una protuberància en l'articulació meníngia mitja. La presència d'una àrea de Broca ben desenvolupada i asimètrica, i la asimetria hemisfèrica esquerrana amb un patró manual dret implica un grau d'especialització cognitiva que s'aproxima als homínids posteriors (Holloway, 2010).

Lieberman (2014) proposa que l'emmagatzematge de grassa va ser la forma més eficient per poder aportar energia de forma constant al cervell, i suggereix que en l'espècie *Homo erectus* es començaria a donar aquesta estratègia.

3.4.3. *Homo antecessor*

Abans de les troballes en el nivell TD6 de la Gran Dolina (Atapuerca, Burgos) i del crani de Ceprano (Itàlia), la hipòtesi "*Short chronology*" que considera l'ocupació europea en èpoques recents, aproximadament fa 500.000 anys era la més consolidada. Actualment, les datacions de les restes arqueològiques dels jaciments de la Sima del Elefante i del nivell TD6 de la Gran Dolina, ens ubiquen el primer poblament europeu fa aproximadament 1 milió d'anys durant el Pleistocè inferior donant peu a la hipòtesis de l'"*Old Europe*". L'espècie proposada per haver realitzat aquesta ocupació és *Homo antecessor* (Fig. 10), un descendent d'*Homo ergaster* evolucionat a Àfrica fa 1 milió d'anys, i que seria l'avantpassat comú de neandertals i humans anatòmicament moderns. De fet, segons una de les hipòtesis explicatives *Homo antecessor* donaria lloc a *Homo heidelbergensis* durant el Pleistocè mitjà a Europa, i l'*Homo antecessor* que es queda a Àfrica donaria lloc a *Homo rhodesiensis* que evolucionaria cap a *Homo sapiens*. Tot i que aquesta és la hipòtesi que es treballa, encara queda trobar jaciments africans per a confirmar-la. De fet, les investigacions més recents estan decantant-se per una altra hipòtesi, que implicaria una extinció d'*Homo antecessor* al continent europeu sense descendents ja que entre 700.000 i 500.000 anys hi ha un buit de jaciments arqueològics amb evidència de presència humana. Amb la qual cosa *Homo heidelbergensis* hauria arribat de fora d'Europa, possiblement d'Àfrica. D'aquesta manera, es relaciona més intensament *Homo rhodesiensis* i *Homo heidelbergensis*.

Homo antecessor presenta una combinació de trets primitius i moderns. La seva morfologia dental és força primitiva i permet comparar-la amb individus africans de 1.8 i 1.4 milions d'anys però a l'hora també es troben trets dentals i mandíbula semblants a individus del Pleistocè mitjà i presenten dents petites com les d'*Homo sapiens*. Tenen uns arcs supraciliars formant un doble arc, molt diferent als *Homo erectus*, que presenten torus supraorbital continuo. Presenta trets facials, com la falta de prognatisme facial, és a dir, l'os infraorbital té una inclinació cap a la part posterior que dóna lloc a la fosa canina que els aproxima a nosaltres i podem parlar de que tenen

un nas vertader. S'estima una alçada (165-185 cm) i pes (60-90 kg) característica dels humans moderns. El seu esquelet és d'una complexió gràcil a diferència dels individus del Pleistocè mitjà, que eren més robustos. Un aspecte interessant del nivell TD6 de la Gran Dolina és el model tecnològic que es troba, el olduvaïà.



Bruner (2017) analitza un os parietal (ATD6-100/168) recuperat en el jaciment de la Gran Dolina pertanyent a l'espècie *Homo antecessor*. En aquest material s'observa uns vasos meníngis mitjans no gaire desenvolupats que es distribueixen en zones anteriors i posteriors que procedeixen de la zona posterior. Aquests vasos tenen connexions amb els sistemes vasculars pericranials i diploics. Els vasos es relacionen amb la termoregulació endocranial, i les espècies més modernes presenten xarxes vasculars més complexes que els individus arcaics. Les espècies arcaïques mostren un sistema vascular més gran en posició posterior, en canvi espècies més modernes com neandertals i humans anatòmicament moderns, presenten un sistema vascular anterior més gran. El parietal ATD6-100/168 mostra un patró arcaic és a dir, l'àrea parietal inferior i la superfície plana superior indicia un perfil posterior clàssic en els homínins arcaïcs, una forma denominada *tent-like* o perfil en tenda on els lòbuls parietal mostren una pendent pronunciada lateralment (Poza-Rey, 2015). ATD6-100/168 té una calota que es descriu com a alta i convexa i es considera una sinapomorfia (novetat evolutiva que presenta tot un taxó) compartida amb *Homo neanderthalensis* i *Homo sapiens* (Arsuaga et al., 1999, Bermúdez de Castro et al., 1997 en Bruner, 2017). *Homo antecessor* mostra trets plesiomorfs en la morfologia parietal similars a *Homo ergaster/erectus* (Bruner, 2015). En canvi, *Homo neanderthalensis* mostra un arrodoniment lateral de l'àrea parietal, i els humans anatòmicament moderns mostren una expansió més gran encara en els lòbuls parietals superiors (Bruner et. al, 2003 i 2011) que es relaciona amb l'etapa post natal primerenca present només en *Homo sapiens*. Tot i que el desenvolupament lent que provoca un allargament de la infantesa i de l'adolescència són típiques d'*Homo sapiens*, es pensa que en *Homo antecessor* podríem parlar d'una etapa més

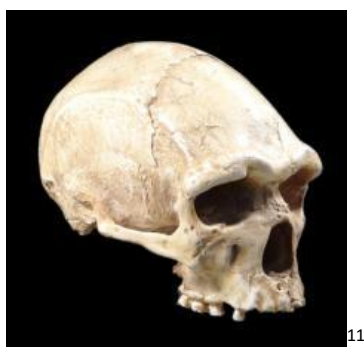
¹⁰ Figura 10: *Homo antecessor*, visió externa i interna del crani. Extret de Fundació Atapuerca.

llarga en la infantesa. Això es veu recolzat amb el volum encefàlic que presenta *Homo antecessor*, 1000 cc aproximadament, que implica una relació directa amb l'augment de la mida corporal i es relaciona també en les etapes del desenvolupament del cicle vital.

3.4.4. *Homo heidelbergensis/Homo rhodesiensis*

Homo heidelbergensis (500.000 anys) (Fig. 11) és l'espècie que habita Europa durant el Pleistocè mitjà europeu. Una de les hipòtesis sobre aquesta espècie indica que evolucionà a partir d'*Homo antecessor*, encara que darrerament està perdent força ja que entre *Homo antecessor* i *Homo heidelbergensis* hi ha un buit de fòssils humans i també de restes lítiques a Europa entre 780.000 i 500.000 anys. Per tant, és més probable que *Homo antecessor* s'extingís sense descendència i que *Homo heidelbergensis* arribés a Europa d'Àfrica.

La mandíbula de Mauer, trobada en un jaciment alemany, és l'exemplar més antic conegut fins ara d'aquesta espècie. Altres jaciments que contenen restes fòssils d'aquest espècimen són Aragó i Montmaurin (França), Petralona (Grècia), Pontnewyd i Swanscombe (Gran Bretanya) i Steinheim (Alemanya). Aquests individus presenten trets evolutius neandertals i trets primitius absents en l'espècie neandertal del Pleistocè superior. Aquests trets primitius en el crani són crestes en la regió temporo-occipital, volta cranial baixa i allargada, esquelet facial gran i absència de mentó. Els trets nous es centren en el torus occipital i en el perfil convex del parietal. La mandíbula és robusta amb unes branques mandibulars amples, absència de mentó i el seu aspecte general és primitiu. Les dents són petites i representa un tret evolucionat. La seva capacitat cranial s'estima en 1300 cc.



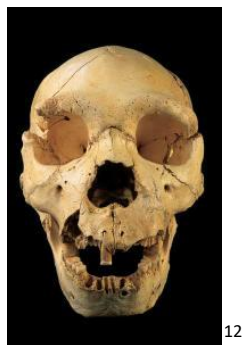
L'espècie d'*Homo heidelbergensis* i *Homo rhodesiensis* estan en debat pel que fa a la seva adscripció a una espècie i sorgeixen dues hipòtesis. La hipòtesi afroeuropea considera que *Homo erectus* evoluciona cap a *Homo heidelbergensis* i que aquest últim serà l'ancestre comú entre neandertals a Europa i humans moderns a l'Àfrica. La hipòtesi europea considera que *Homo*

¹¹ Figura 11: *Homo heidelbergensis*, Arago 21, Tautavel, France. Extret de Smithsonian. <http://humanorigins.si.edu/evidence>

erectus evoluciona cap a *Homo antecessor* i aquest últim evolucionaria en dues línies; una que es queda a Àfrica i dóna lloc a *Homo rhodesiensis* i evolucionarà cap a *Homo sapiens*. I una que es dirigeix cap Europa i dóna lloc a una espècie restringida a Europa, *Homo heidelbergensis*, que evolucionarà cap a *Homo neanderthalensis*. Seguint aquesta última hipòtesi els individus trobats en jaciments europeus són anomenats *Homo heidelbergensis* i els individus trobats a Àfrica, *Homo rhodesiensis*. Hi ha autors que consideren que tots dos homínids haurien de tenir la mateixa nomenclatura ja que els trets anatòmics són molt semblants com la tendència a l'encefalització. Tot i que tenen una gran semblança es considera que els fòssils africans del Pleistocè mitjà pertanyen a una línia evolutiva pròpia i separada de la línia evolutiva d'Europa, i per tant, per designar els individus trobats en jaciments africans (Bodo, Eyasi, Nduutu, Salé i Broken Hill) i que seran els que donaran lloc a *Homo sapiens* seran anomenats com *Homo rhodesiensis* (descendents de *Homo antecessor*). Tot i que aquesta hipòtesi no està provada, degut a la manca de restes fòssils d' *Homo antecessor* a Àfrica.

En els jaciments que trobem individus d'*Homo heidelbergensis* es troba associada la indústria lítica de mode 2 o acheulià, les més antigues en el jaciment de la cova d'Aragó de 600.000 anys. Wynn (2011) indica que hi ha un comportament semiòtic en aquesta espècie, ja que en neandertals i humans anatòmicament moderns s'observen manifestacions decoratives (en els neandertals es troben petxines perforades) on hi estaria implicat el marcatge social (Wynn, 2011).

3.4.5. Pre-neandertals



Les restes fòssils humanes trobades en el jaciment de la Sima de los Huesos (Atapuerca, Burgos) presenten trets primitius absents en els neandertals del Pleistocè superior, però també tenen trets que es poden considerar de transició cap a la morfologia dels neandertals i d'altres ja derivats propis dels neandertals, com el prognatisme facial. Aquestes característiques més properes als neandertals, i inexistents als espècimens d'*Homo heidelbergensis* d'altres llocs va

¹² Figura 12: *Pre-neandertal*, Crani 5, Sima de los Huesos, Atapuerca. Extret de Atapuerca TV.

fer pensar que el grup de la Sima de los Huesos no representava bé aquesta espècie. Però, la seqüenciació i estudi del seu ADN, tant mitocondrial com nuclear, va deixar clar que aquesta població està més propera a neandertals i a denisovans que a qualsevol altra (Meyer et al., 2014). Per això, s'ha decidit excloure-la dels *Homo heidelbergensis*, i a manca d'assignació d'espècie concreta, se'ls denomina, *pre-neandertals* (Fig. 12) (Arsuaga et al., 2014).

Els cranis trobats s'estimen en un volum de 1300-1100 cc i presenten uns parietals en una morfologia primitiva i un espai en la regió frontal-temporal essent un tret plesiomorf, és a dir, compartit amb els altres homínids del registre fòssil excepte en *Homo sapiens*, on la desaparició d'aquest espai es relaciona amb la forma globular exclusiva d'*Homo sapiens* (Poza-Rey, 2015). Els resultats ens indiquen que aquests individus mesuraven al voltant de 1,70 i 1,75 m i pesarien al voltant de 90 kg, indicant que haurien de ser molt robustos i corpulents. A partir d'una pelvis femenina i una masculina s'ha establert que les diferències morfològiques serien semblants a les nostres, i per tant, tindrien una pelvis més ampla que la d'un home per facilitar el part (tenien una pelvis més ampla que les dones actuals). A partir de l'anàlisi del desgast dental s'estableix que la seva dieta hauria estat basada en vegetals durs, fibrosos i abrasius, juntament amb un consum de carn, i el fet de no trobar evidència de foc, fa pensar en un consum dels aliments en format cru. Les dents incisives i canines es consideren la tercera mà, ja que utilitzaven aquestes dents per estovar, subjectar, estirar i tallar materials. S'observen nombroses evidències referent a la lateralització manual dretana. Això no vol dir que tots els individus tinguessin una dominància de la mà dreta, però en pre-neandertals, fa uns 430.000 anys en la Sima de los Huesos hi ha evidència d'aquest fet. Fins ara, els homínids anteriors se'ls considera ambidextres en l'ús de les mans més semblant a les poblacions de ximpanzés estudiades. Observar una dominància manual, indicia una possible asimetria cerebral i una reorganització econòmica-energètica cerebral que porta a la no duplicació d'àrees cerebrals.

3.4.6. *Homo neanderthalensis*

Homo neanderthalensis (Fig.13) es situa a Euràsia des de fa 180.000 anys fins aproximadament 30.000 anys durant el Pleistocè mitjà i superior. Els neandertals coincideixen durant un temps determinat i espai amb *Homo sapiens*, aquests últims molt implicats segons alguns autors en la seva desaparició (Hortolà i Martínez, 2013). Es troben restes de neandertals en els següents jaciments: Engis (Bèlgica), Forbes (Gibraltar), Neander (Alemanya), diferents jaciments a França (Chapelle-aux-Saints, La Quina), a Itàlia (Saccopastore i Grotta Guatari), a Espanya (El Sidrón, Cova Negra, Valdegoba i Zafarraya), Shanidar (Iraq), Pròxim Orient (Tabun, Kebara) i Teshik-Tash (Uzbekistan).

Les restes òssies trobades ens permeten establir amb bastant precisió la seva morfologia esquelètica. En el rostre s'observen trets autopomorfs com el nas ample, les òrbites oculars grans i arrodonides i una cara projectada cap endavant. Les dents posteriors són més petites que en espècies arcaïques, i les dents anteriors són grans. En les incisives i canines es troben marques de desgast que recorden les d'*Homo heidelbergensis* i fet que indica la utilització de les dents com una tercera mà o eina. Un dels trets derivats i comú amb *Homo sapiens* és el volum cerebral, que en el cas d'*Homo neanderthalensis* és força superior, aproximadament de 1600 cc, però el seu índex d'encefalització no seria superior a la nostra. Tant el crani com en l'esquelet post cranial indica una forta robustesa, signe d'una gran musculació, i és considerada una plesiomorfia. Altres trets arcaïcs són l'absència de protuberàncies frontals i l'absència de mentó ossi. Les dades que ens aporta les restes òssies ens descriuen un individu d'alçada aproximada de 150 a 160 cm amb unes extremitats curtes, característiques en individus que estan adaptats a climes freds. L'espècie neandertal podia recórrer llargues distàncies durant la caça.



La indústria lítica utilitzada durant el Paleolític mitjà era el mode 3 o mosterià, i l'espècie neandertal es troba associada a la seva fabricació. De mida més petita que les del mode 2, eren produïdes utilitzant ascles a partir de la tècnica Levallois. Els útils eren més estandarditzats i per les característiques que s'aprecien se'ls hi suposa en aquests individus una planificació mental de l'objecte final abans de ser elaborat. El mode 3 també està relacionat amb l'emmagatzematge de les eines de pedra, i per tant, un procés de cura i de planificació del quotidià, és a dir, si en el mode 1 es fabricava l'eina pel seu ús immediat, amb aquesta nova tècnica no només durava més temps com ja passava en el mode 2, si no que es guardava per futures situacions de necessitat, on la memòria especial es veu implicada.

El crani d'*Homo neanderthalensis* presenta una forma globular del cervell, però no tant com *Homo sapiens*. En vista anterior-posterior el crani dels neandertals és més llarg, i de costat a costat són més amples i plans en la part superior per sobre de la regió parietal, produint una

¹³ Figura 13: *Homo neanderthalensis*, Gibraltar 1, Forbe's Quarry, Gibraltar. Extret de Smithsonian. <http://humanorigins.si.edu/evidence>

expansió parietal que segons Bruner (2014) hauria estat lenta i donant una forma més arrodonida al crani. S'observa que els lòbuls occipitals en *Homo neanderthalensis* són més grans que *Homo sapiens* i Pearce (2013) ho relaciona amb la quantitat de la llum a la que estaven exposats, és a dir, la mida de les orbites tenen una correlació amb el còrtex visual. Segons això, els neandertals que vivien en entorns amb menor llum que *Homo sapiens* implicaria uns lòbuls occipitals més grans per discernir detalls visuals sota condicions de llum més pobres. A l'hora, aquests lòbuls occipitals més grans implicarien una reorganització dels altres lòbuls cerebrals que implicaria diferències cognitives.

Anteriorment es mencionava que el volum cerebral dels neandertals és més gran a diferència dels humans moderns, per ser més exacte és un 10% més gran (Holloway, et al., 2009) però no significa que tinguin un índex encefàlic superior. De fet, aquesta capacitat cerebral té una correlació amb el volum corporal dels neandertals, força més alt que el nostre. Wynn (2011) considera que si aquest 10% implica un augment neuronal es podria suposar un augment en la potència del processament de la informació i això es pot relacionar amb la complexitat cultural. Però també pot ser un desavantatge pel requeriment calòric diari que comporta un cervell de mida gran. Pearce (2013) argumenta que aquest 10% de teixit s'hauria invertit precisament en àrees somàtiques involucrades en el manteniment i control corporal d'un cos robust (tret arcaic), en comparació dels humans moderns i Bastir (2011) considera que aquest augment en les calories hauria tingut una gran importància durant la primera infància i es suposa una ontogènia i desenvolupament prenatal diferent als humans moderns. Bruner (2004) afirma que la forma cranial dels neandertals mostra una taxa de hiper-morfosis, és a dir, una prolongació de la ontogènia d'un caràcter per retard maduratiu, en comparació amb els humans moderns i les diferències entre les dues espècies s'expressen de forma primerenca durant l'ontogènia. Gunz (2010) també observa un patró de creixement cerebral prenatal diferent als humans moderns. La trajectòria morfogènica dels neandertals indica un desenvolupament relatiu dels ossos cranials laterals inferiors i una reducció de les capes superiors de la calota, en el sostre parietal i un escurçament del contorn parietal (Bruner, 2014).

3.4.7. *Homo sapiens* arcaic

Fa 200.000 anys apareix a Àfrica *Homo sapiens arcaic* (Fig. 14). La seva anatomia es caracteritza per unes extremitats llargues i primes i un cos gràcil adaptat a un clima sec i tropical. El crani té un perfil alt i arrodonit. La mandíbula presenta absència de la zona retromolar i apareix un mentó desenvolupat. A l'Àfrica es troben restes òssies als jaciments Border Cave i Klasier River (Sudàfrica), Omo II (Etiopia). Arriben al Pròxim Orient fa 100.000 anys, abans que els neandertals, i 50.000 anys a Nova Guinea i Austràlia (Lake Mungo 3). A Europa fa 40.000 (trobem

jaciment per exemple a Bulgària, Hongria i Espanya) i fa 15.000 anys a Amèrica (Meadowcroft, Cactus Hill i Monte Verde). Oceània és la zona més tardana en colonitzar-se, fa entre 3500 i 1600 anys.

La indústria lítica associada a *Homo sapiens arcaics* és el mode 4 i apareix al Nord d'Àfrica i Europa produint una gran diversitat d'eines especialitzades que els proporciona l'accés a entorns fins ara impossibles, com l'explotació dels recursos d'animals voladors, d'avifauna, gràcies a la invenció dels propulsors fa 20.000 anys.

Els cranis dels *Homo sapiens arcaic* presenten de forma general zones cerebrals proporcionalment més grans a diferència d'altres espècies, com per exemple els lòbuls parietals, els pols dels lòbuls temporals, els bulbs olfactius i el cerebel. El còrtex orbitofrontal és més ampla, i en canvi, els lòbuls occipitals són més petits en comparació dels neandertals. S'observa una relació asimètrica en les zones frontal i temporal que indica que els humans moderns tenien els hemisferis lateralitzats, donant evidència a la dominància manual dreta a nivell general de la població. Els endocranis dels humans moderns, tot i tenir zones més grans, donen indicis de que estem davant d'un cervell relativament més petit si són comparats amb l'espècie neandertal. La capacitat cranial dels humans moderns està entre 1200-1400 cc i la forma és del tot diferent, té una morfologia més globular que els neandertals. Tot i tenir un volum inferior, el seu índex d'encefalització és major en comparació dels neandertals i es deu en gran mesura a la disminució en la mida del cervell i en la mida corporal i que està estretament relacionada amb la disminució del requeriment calòric. La forma més globular es relaciona directament amb l'expansió de la zona parietal (Hublin, 2015), que és on es troben les funcions cerebrals més especialitzades.



El registre fòssil dels primers humans anatòmicament moderns mostren una expansió parietal única per a la nostra espècie, i és un tret morfològic autapomòrfic (Bruner, 2004). Segons Bruner (2004) aquesta expansió parietal és la que configura aquesta forma més arrodonida i globular al crani, i a l'hora pot ser relacionada amb la reorganització neuronal d'estructures com el precuni,

¹⁴ Figura 14: *Homo sapiens*, Liujiang, Xina. Extret de Smithsonian. <http://humanorigins.si.edu/evidence>

el solc intraparietal, el gir supramarginal i el gir angular (Bruner et al., 2014). L'elevació de la calota posterior i el desenvolupament longitudinal parietal està associat amb l'eixamplament parietal superior. El creixement parietal implica l'apropament de les àrees oposades (temporals, cerebel i frontals) amb el tancament de les zones de la cissura de Silvio i del lòbul temporal. Aquest procés es denomina convolució i porta a la morfologia globular específica de l'espècie humana moderna (Bruner, 2004). Aquesta forma globular podria haver disminuït la connectivitat cel·lular, és a dir, escurça les connexions llargues entre les regions cerebrals augmentant la seva connectivitat i fent-los més eficients i/o més ràpids en el processament de la informació que els cervells més grans com els de l'*Homo neanderthalensis*, que són més llargues i costoses.

Els estudis indiquen que el lòbul parietal està implicat en funcions cognitives com la memòria de treball viso-espacial, la capacitat de captar i manipular objectes, de poder comprendre les relacions de causa-efecte en l'ús de les eines, l'autorepresentació i l'autoconsciència (WYnn, 2011). Concretament, el solc intraparietal està implicat amb l'apreciació de la quantitat i el processament numèric i manté una relació amb la capacitat d'abstracció. El precuni es relaciona amb la memòria egocèntrica i en la capacitat de crear representacions internes de l'entorn i de l'espai que ocupa l'individu en aquest entorn. En tasques cognitives d'ordre superior com la integració d'imatges viso-espacials, la recuperació de records autobiogràfics i la capacitat de prendre una perspectiva en primera persona també està implicat el precuni. En un estudi de Bruner i Iriki (2015) es suggereix que les diferències existents en el precuni entre les espècie neandertal i *Homo sapiens* són degudes a la interacció entorn i les representacions internes que fa l'individu sobre l'entorn. De fet, el precuni podria ser la clau de l'evolució d'*Homo sapiens* (Bruner, 2004). Aquestes àrees tenen un paper fonamental en l'organització de les xarxes cerebrals, processos associats a la intel·ligència, capacitats de simulació i de imaginació i presenten un tipus de cèl·lules diferents dels altres primats (Bruner i Lozano, 2014).






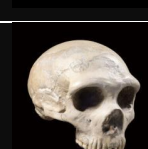
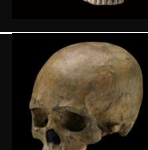
Anteriorment dèiem que el còrtex orbitofrontal és més ampli que en altres espècies anteriors (Hublin, 2015). El còrtex prefrontal, on es troba l'àrea orbitofrontal, es relaciona amb la regulació conductual i emocional en els humans, i també hi ha una relació amb funcions cognitives superiors com l'abstracció i la teoria de la ment.

També s'observa en els endocranis, que el bulb olfactiu és més gran en els humans moderns. Bastir (2011) observa que la placa cribriforme que connecta l'epiteli olfactiu amb la cavitat nasal als bulbs olfactius sembla haver-se expandit posteriorment. Es considera que l'expansió del

proscènèfal es va donar d'acord a l'olfacte i en les funcions relacionades amb la recerca d'aliments i reproducció.

El cerebel en els *Homo sapiens* també presenten una mida proporcionalment més gran. El cerebel es relaciona amb el control de les seqüències motores, la presa de decisions i les execucions de la informació que prové de la zona prefrontal. També té relació amb l'aprenentatge motor, el control psicomotriu fi i la seqüènciació de l'acció motora.

A continuació es presenta una taula (Fig.15) a forma de resum, que conté diferents gèneres i el seu índex d'encefalització, i on es pot observar com aquest índex augmenta de forma regular excepte en l'aparició d'*Homo sapiens*, on s'aprecia un salt qualitatiu.

Espècie	Datació (m.a)	Llocs registre fòssil	Volum encefàlic (cc)	Massa corpora l (Kg)	Quocient encefalització	Índex encefalització	Imatge
<i>Australopithecus afarensis</i>	4 – 3	Etiopia, Tanzània i Kenia	380 - 450	29 - 45		1,3	
<i>Australopithecus africanus</i>	3.3 – 2.5	Sud Àfrica	480 - 520	33 - 67		1,4	
<i>Paranthropus boisei</i>	2.1 – 1	Etiopia, Kenia i Tanzània	521	34 – 61.7		1,5	
<i>Homo habilis/rudolfensis</i>	2.4 – 1.4	Tanzània, Kenia i Etiopia	510 - 690	30 – 40		1,8	
<i>Homo ergaster</i>	1.9 – 1.4	Etiopia, Kenia i Eritrea	600 – 1000	40 – 65	4,145	1,9	
<i>Homo neanderthalensis</i>	0.2 – 0.04	Europa, Pròxim Orient	1200 - 1700	60 - 90	4,99		
<i>Homo sapiens</i>	0.2 - present	Tot el món	1100 - 1400	40 - 80	5,43	2,9	

¹⁵ Figura 15: taula índex encefàlic. Imatges extretes de Smithsonian. <http://humanorigins.si.edu/evidence>

3.5. Què ens diu doncs, el registre fòssil?

Inclourem en aquest apartat els aspectes més rellevants sobre l'evolució del cervell en el gènere *Homo*:

1. Dels estudis paleoneurològics i cognitius sobre l'evolució del cervell un dels aspectes més importants és el volum cerebral, i la seva relació amb la mida corporal aportant un índex d'encefalització. El volum cerebral fou cabdal en l'evolució dels primers homínids, però en el moment en que sobrepassen els 1000 cc, la importància recau en la reorganització i connectivitat neural del cervell. Un volum cerebral elevat, com són els cervells dels neandertals, són energèticament insostenibles. Podem dir que l'evolució del cervell a partir del gènere *Homo* i les habilitats i capacitats cognitives que avui en dia observem en nosaltres mateixos, té més a veure en una reorganització i connectivitat neuronal en les diferents àrees cerebrals i no per un increment de volum per sé. Estudis que avalen aquest fet són per exemple Semendeferi (2002) on compara la mida proporcional del lòbul frontal dels humans respecte altres primats i descobreix que el còrtex frontal (substància gris) i el lòbul frontal (substància blanca) té proporcions relatives molt similars en humans, orangutans, goril·les i ximpanzés. En les quatre espècies el lòbul frontal comprenia un 33 i 36% del total del volum cerebral, i el còrtex frontal suposava un 36 i un 39% de la substància gris cerebral. Les dades indicaven que la proporció del lòbul frontal no és major de l'esperada per un primat amb un cervell de la nostre mida. Semendeferi suggereix que l'evolució del lòbul frontal, grans en proporció, van aparèixer després de que el llinatge humà i grans primats es separessin del llinatge de la resta de primats antropoides (fa 20 i 25 milions d'anys), però abans de la divergència dels homínids durant el Miocè tardà (entre 5 i 10 milions d'anys). Per tant, l'expansió del lòbul frontal no seria una adquisició recent dels humans, i hauria sorgit després de diferents reorganitzacions corticals de determinats subsectors del lòbul, d'un augment de la connectivitat entre regions concretes, de canvis en la citoarquitectura regional o de la combinació de tots aquests factors. D'aquesta manera, desmentia la hipòtesi de que el lòbul frontal hauria tingut una evolució desproporcionada i pròpia pel llinatge dels humans. En un altre estudi, Bookstein (1991) compara els cranis d'homínids extingits amb el crani de l'humà actual. Tot i les diferències fenotípiques entre el registre fòssil i els cranis d'*Homo sapiens*, Bookstein a partir de l'anàlisi de Procrustes ens diu que la calota craniana interna del lòbul frontal era idèntica fa 500.000 anys. Un tercer estudi que ens demostra que el volum no és l'únic aspecte que explica el desenvolupament del cervell, són els estudis que analitzen el dimorfisme sexual en *Homo sapiens*. En els anys

80 es creia que la grandària del cos callós en les dones comportava una millor connectivitat entre els dos hemisferis. Avui sabem que això no és així. De fet, actualment sabem que els homes tenen un volum cerebral més gran, al voltant de 100cc, tot i corregir el biaix provocat per les proporcions corporals, i per aquest motiu, el volum més elevat dels homes es pot explicar per les mateixes proporcions corporals dels homes a diferència de les dones, però que en cap cas, tenen una relació directa amb les capacitats cognitives. Aquest últim estudi, tot i ser una comparació en una mateixa espècie, ens indica que un cop passats els 1000 cc de volum cerebral, aquest per sí sol no implica més intel·ligència.

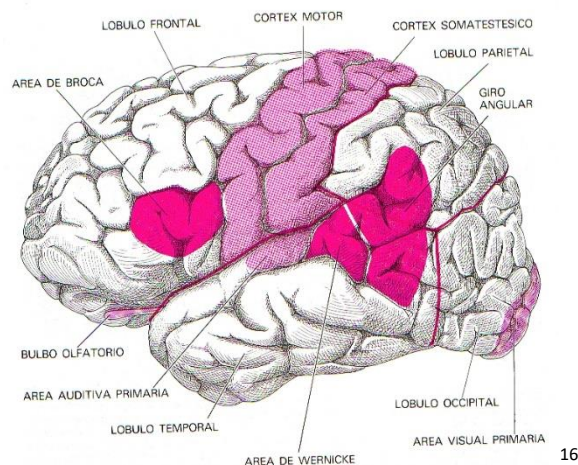
2. Els estudis morfològics indiquen que l'evolució del cervell del gènere *Homo* segueix més aviat un patró gradual, acomodant-se a les exigències dels entorns, i la majoria de trets que hi observem són producte de derivacions de formes ja existents, excepte l'expansió parietal.
3. La hipòtesi que es planteja per l'evolució del cervell en el gènere *Homo* hauria començat abans de la seva aparició, a partir de trets derivats ja des dels Australopitècids. Es suposa que després del primer *Homo* ocorreria un estancament en el procés d'encefalització amb un augment limitat de la mida del cervell fins després dels 600.000 anys. Després, l'índex encefàlic aniria creixent de forma gradual i plesiomorf, seguint un patró al·lomètric, però sempre sent menor a l'índex observat actualment. El desenvolupament cerebral compartit pel gènere *Homo* seria un desenvolupament endocranial vertical al·lomètric, creixement i eixamplament frontal i temporal, un aplanament occipital amb un desplaçament més avançat i un desenvolupament parietal donant lloc a la forma globular del cervell. Cal dir però, que l'expansió de l'àrea parietal sembla ser un tret específic d'*Homo sapiens*.
4. Avui en dia sabem que els processos cognitius es basen en la integració de les diferents àrees cerebrals a partir de la integració de les xarxes neuronals, i tot i tenir àrees especialitzades en funcions determinades, no podem associar de forma rígida les funcions cognitives a una àrea o zona cerebral específica (Bruner, 2012). De totes maneres, el registre fòssil evidencia certs aspectes a tenir en compte en l'evolució del cervell humà.
 - a. Els **lòbuls parietals** es consideren avui dia, un dels aspectes més rellevants en l'evolució del cervell humà. Se'ls hi atribueix les funcions de la integració visoespacial, el reconeixement de les categories, la praxis, l'orientació, el processament numèric i la descodificació de la parla. L'àrea superior dels lòbuls parietals està relacionada amb el reconeixement i codificació de l'entorn espacial

extern i la integració associada entre l'entorn i les percepcions internes (Bruner, 2010). Es pot trobar evidència de l'evolució d'aquesta àrea, ja des dels Australopitècids (Holloway, 2004) amb un retrocés del solc. L'estudi comparatiu del registre fòssil ens indica que l'àrea superior del parietal mostra una gran varietat en els homínids extingits. El lòbul parietal i l'àrea **temporo-parietal** s'eixampla en els diferents llinatges a mesura que augmenta la mida del cervell, junt amb una disminució associada de l'àrea occipital. A mesura que el cervell es fa gran, el contorn parietal mostra un patró al·lomètric negatiu (creixement desproporcionadament baix), que condueix a un escurçament relatiu del perfil medial sagital i a un aplanament de les àrees superiors posteriors (Bruner, 2004). Els estudis indiquen que l'evolució que ha seguit aquest lòbul és la de desplaçar-se per la seva part inferior i augmentant per la seva àrea superior configurant la forma globular o esfèrica que coneixem en *Homo sapiens* i que precisament seria la forma que permet la major connectivitat entre les àrees i per tant, el processament de la informació més ràpida gràcies a l'escurçament de les connexions sinàptiques. Una millor connectivitat entre l'estructura parietal superior i el prefrontal s'associa amb la coordinació psicomotriu oculo-manual, computant la distància, la direcció, la velocitat i la posició dels moviments planejats per a mans i ulls, configurant el comportament espacial d'abast, agafada i manipulació dels objectes (Bruner, 2010). Aquesta connectivitat, a part de permetre la producció lítica, també ha possibilitat la producció d'art, la introducció de conceptes geomètrics en el sistema cultural i l'ordenament i repetició de sistemes modulars motors seqüenciats (Bruner, 2010). Segons Bruner, d'especial rellevància és el precuni, que es troba en l'àrea parietal profunda, i que es considera un dels principals centres de integració de les xarxes neuronals involucrades amb els processos associats a la memòria i integració visoespacial i que com a funció cognitiva associada està la integració de les informacions internes del nostre cervell amb les informacions que ens provenen de l'ambient i/o externes, i està involucrat en la generació d'autoconsciència i ment, simulació i imaginació (Bruner, 2004).

El desenvolupament d'aquesta àrea s'arriba en les primeres etapes de la vida després del part, i és un estadi del desenvolupament inexistent en ximpanzés i neandertals (Bruner, 2004). Potser, aquesta àrea, ha estat de les úniques que han tingut una evolució pròpia per a la nostra espècie. Observem que els éssers humans actuals mostren una hipertròfia neomòrfica específica dels volums

parietals que comporta un creixement dorsal i flexió ventral amb la conseqüent globalitat o forma esfèrica de tota l'estructura cerebral (Bruner, 2004).

- b. Els **lòbuls frontals** s'associen amb les funcions executives, és a dir, les que ens permeten dirigir la nostra conducta cap un objectiu. Per tant, estan implicats processos d'atenció, planificació, seqüenciació, reorientació i processos motivacionals i conductuals de l'ésser humà. Al llarg de l'evolució del llinatge humà observem que els lòbuls frontals augmenten en els taxons més derivats a partir del desenvolupament de les terceres circumvolucions frontals i l'amplada frontal augmenta seguint un patró al·lomètric compartit en tot el gènere *Homo* (Bruner, 2004) tenint els individus més arcaics un fenotip amb un frontal estret. En el lòbul frontal trobem l'àrea de Broca (Fig.16), involucrat amb la capacitat del llenguatge juntament amb l'àrea de Wernicke (Fig.16) (temporo-parietal).



Les dues àrees, Broca i Wernicke es poden observar en els endocranis dels primers *Homo*. Tot i que l'estructura general segueix un esquema similar en totes les espècies humanes, també podem observar diferències. Per exemple aquestes àrees es mostren proporcionalment més amples en els humans actuals i neandertals i podrien significar el sorgiment de noves habilitats cognitives. En un recent estudi de Poza-Rey (2015) argumenta que l'estadi intermedi que observa entre els homínids de la Sima de los Huesos (un augment de massa neural i una disposició frontal en comparació a homínids més arcaics) provocaria millors connexions pel processament mental superior i es podria relacionar amb un

¹⁶ Figura 16: àrea de Broca i Wernicke. Extret de UAB.
http://liceu.uab.es/~joaquin/phonetics/fon_produccio/bases_neurofisiologicas_produccion.html

progrés de l'estructura social com per exemple els enterraments i/o la cura dels congèneres.

- c. Els **lòbuls occipitals** són el centre del nostre sistema visual, i tenen la funció del processament visual, com també l'elaboració del pensament i l'emoció, el reconeixement i interpretació de les imatges, el reconeixement espacial, la discriminació de moviments i colors, i la visió. Existeix la hipòtesi de que els lòbuls occipitals mostren una reducció constant durant l'evolució, passant d'una posició posterior (darrera els parietals) a una posició més avançada (sota les estructures parietals) (Bruner, 2004). Poza-Rey (2015) observa que els trets d'aquesta zona són semblants en tot el conjunt fòssil arcaic, i que els humans anatòmicament moderns són els que mostren una clara línia diferent, uns occipitals més rodons, i poc projectats, degut a la forma globular del cervell, que ja no només seria responsable el parietal, si no que també l'occipital.

4. Bloc II: cognició i estil de vida, adquisició de capacitats al llarg de l'evolució

4.1. Hipòtesis teòrica de l'evolució del cervell: gradual o puntual?

Punctuated Equilibrium



¹⁷Proposada per Niles Eldredge i Stephen Jay Gould l'any 1972, l'equilibri puntual (Fig.17) és una teoria sobre el procés de formació d'espècies a partir d'altres ja existents (o especiació) en el temps geològic (Gould, 1982). Aquesta teoria té dues tesis; la primera postula que els orígens són ràpids geològicament parlant i segon, després del canvi apareix un

estadi estàtic o estasi. Per tant, és una teoria sobre el ritme de l'evolució, on primer hi hauria el període d'estasi amb poques variacions, i després apareixeria un estadi d'acumulacions i es produiria l'especiació i per tant, la formació de la nova espècie. Aquesta teoria sorgeix a partir de l'observació del registre fòssil. Consideren que l'absència de formes de transició visibles en el registre és a causa de la forma en que evolucionen les espècies, és a dir, de forma abrupta a causa d'un aïllament d'una part de la població. La població aïllada i petita experimenta una selecció intensa i un canvi ràpid degut a l'ambient nou i la mida petita de la població. D'aquesta població aïllada no quedaria registre fòssil de les formes de transició degut a la mida del gruó, el ritme del canvi i per la situació aïllada. Si aquesta nova espècie s'introdueix un altre cop en el seu antic ambient, s'expandeix per l'àrea i supera en competència a la població ancestral, aquesta última pot extingir-se, conservant-se la nova espècie i que gràcies al nou període d'estasi deixarà registre fòssil.

Phyetic Gradualism



¹⁸La teoria sintètica de l'evolució o neodarwinisme (Fig.18) és la integració de la teoria de l'evolució de les espècies per la selecció natural de Charles Darwin (1859) i la teoria genètica basada en l'herència genètica i les mutacions aleatòries de Gregor Mendel (1865), de mà de Ronald Fisher, J.B.S Haldane i Sewall Wright. Aquesta teoria defèn que els canvis graduals es produeixen per mitjà de mutacions

sumades a la selecció natural, és a dir, canvis en un o més gens que presenten un avantatge per una espècie en un determinat entorn i que permet arribar a la maduresa sexual i reproductora, aquesta mutació s'estén entre els individus de la mateixa espècie. En cas de que la mutació sigui desfavorable, desapareix (mort de l'individu en cas de mutacions letals). D'aquesta manera la selecció natural compensa l'aleatorietat de les mutacions.

¹⁷ Figura 17: Equilibri puntual. Extret de Wikipèdia. https://es.wikipedia.org/wiki/Equilibrio_puntuado

¹⁸ Figura 18: Gradualisme. Extret de Wikipèdia. https://es.wikipedia.org/wiki/Equilibrio_puntuado

4.2. El comportament dels nostres avantpassats

Els estudis paleoneurològics ens indiquen quins són els canvis morfològics que s'han donat en el cervell al llarg del Quaternari, i per tant, quines són les estructures cerebrals que han intervingut en les diferents adaptacions dels hominins. Però, tal i com diu Bruner (2012) no podem fer una analogia directa entre estructura i capacitat i/o habilitat cognitiva i finalment comportament. Per tant, per fer inferències del comportament dels nostres avantpassats, cal utilitzar altres dades aportades per les ciències neurocognitives, les etològiques o les ontogèniques per a poder pensar com hauria estat la història evolutiva del nostre cervell, pensar en que podria fer aquell cervell.

En aquest apartat farem una revisió a partir d'aquests aspectes cognitius basant-nos en diferents estudis relacionats amb la paleoneurologia i que ofereixen una visió de la cognició humana.

4.2.1. Creativitat

Avui en dia, en el nostre entorn observem com cada dia diferents empreses treuen nous artefactes que fan més fàcil la nostra vida o ens donen noves possibilitats que fins ara no podíem gaudir. Fins i tot, aquestes noves eines ens han creat noves necessitats inexistents fins la seva invenció. La capacitat que ens deixa pensar en noves possibilitats és la creativitat.

La creativitat es podria definir com, i seguint les paraules d'Osborn (1953) *"l'aptitud per representar, preveure i produir idees. La conversió d'elements coneguts en alguna cosa nova, gràcies a una imaginació poderosa"*.

Però en quin moment apareix la capacitat creativa en el llinatge humà? La pregunta té una resposta controvertida, i no està lliure de debat. Per alguns autors durant la transició del Paleolític Mitjà al Superior europeu es va produir una revolució, un salt cognitiu i conductual en els hominins degut a una mutació genètica fa 40.000 anys que reorganitza el cervell, originant el discurs humà i el simbolisme, data que es relaciona amb l'entrada d'*Homo sapiens* en el continent europeu. Aquesta hipòtesi es sustenta amb l'argument de que durant 1,6 milions d'anys no s'observa en el registre arqueològic cap invenció en la indústria lítica, és a dir, durant aquest temps es troben eines elaborades en mode 2 sense gaires variacions. Però la indústria lítica no és l'única prova de la capacitat creativa. En contra de la hipòtesi abrupta, Mc Brearty i Brooks (2000) afirmen que la creativitat forma part d'un procés gradual i dispers que apareix a Àfrica i que després es va exportar cap al continent euroasiàtic. Proves arqueològiques que reforcen la hipòtesis gradual de l'evolució de la creativitat són les localitzades a Àfrica com per exemple les trobades en el jaciment de Sibudu, Sud Àfrica per Wadley i col·laboradors (2011).

En aquest jaciment es descriu l'ús específic de fulles d'un arbre, *Cryptocarya woodii*, amb la característica particular de ser insecticides i larvicides i que es van utilitzar per a fer els llits amb una datació de 77.000 anys. Els individus d'aquest jaciment també van elaborar diferents eines, com arcs i fletxes, i a més van fabricar una espècie de cola utilitzant el foc, i que serviria per enganxar les puntes de pedra als mànecs de fusta. En la cova de Blombos, Sud Àfrica, Errico publica en el 2005, la troballa de 41 petxines perforades amb una datació de 75.000 i 78.000 anys. Henshilwood descriu en el seu article de 2002, que en la mateixa cova de Blombos, descobreix dos fragments d'ocre amb gravats geomètrics datats amb 77.000 anys. Mazza descriu com els neandertals van utilitzar un tipus de quitrà amb escorça de bedoll per enganxar les ascles de pedra a peces de fusta fa 200.000 anys. En el jaciment de Kathu Pan 1, Sud Àfrica, Jayne Wilkins descriu unes puntes lítiques que formarien part d'unes llances amb una cronologia de 500.000 anys produïts per *Homo heidelbergensis*. A Wonderwerk, Sud Àfrica també, Francesco Berna troba les restes del fogar controlat més antic amb restes de cendra de plantes i fragments d'os cremats de mà d'*Homo erectus*, datats amb 1 milió d'anys. En el jaciment de Kada Gona troben marques de tall en ossos que podrien haver estat realitzades per *Australopithecus garhi* amb 2.6 milions d'anys d'antiguitat. I l'any 2015 Harmand publica la resta lítica més antiga trobada fins ara, de 3.3 milions d'anys i elaborada possiblement per *Kenyanthropus platyops* i per la seva forma indicaria un nou mode, anterior a mode 1, que anomenen Lowekwine.

Tot aquest registre retarden l'origen de la creativitat, és més, situen l'origen en avantpassats del gènere *Homo* i que ens porta a entendre que la capacitat de crear no és un fet únic del nostre gènere. Però també ens indica que l'evolució dels artefactes, cada cop més especialitzats i de gran diversitat, ha estat un continuu al llarg de l'evolució de forma paral·lela a l'increment del volum cerebral i sobretot de la seva reorganització neuronal, com per exemple en el lòbul prefrontal que segons un estudi de Semendeferi on compara ximpanzés, bonobos i humans moderns troba que l'àrea 10 de Brodmann (implicada en la consecució de plans i organització de la informació sensorial) s'havia duplicat de mida provocant unes connexions sinàptiques més complexes, després de que els ximpanzés i bonobos es separessin de la línia evolutiva humana (Pringle, 2013).

El cert, és que amb l'aparició d'*Homo sapiens* veiem un increment exponencial de la creativitat. Mark Thomas, de la Universitat de Londres, considera que és l'augment demogràfic produït fa 90.000 anys el caldo de cultiu que fa proliferar un augment de la creativitat. El seu argument es basa en que a més individus, més idees i per tant, més connexions i comunicacions amb els altres individus del grup (Pringle, 2013).

4.2.2. Llenguatge

Potser un dels temes que més debat genera entre la comunitat científica és l'origen del llenguatge. El llenguatge és un aspecte essencial per a les nostres vides, difícilment ens podem imaginar la vida sense paraules i sense poder expressar-les, tant de forma oral com per escrit. És la forma més complexa de comunicació. Potser és una de les característiques més importants del nostre comportament humà i ho creiem tant, que considerem que llenguatge i pensament és el que ens fa ser diferents a la resta d'ésser vius, el que ens fa ser especials, de fet és una capacitat exclusiva de l'humà. El llenguatge és l'instrument que utilitzem per comunicar-nos, és més, els humans tenim diferents llenguatges (orals, escrits, gestuals) com per exemple el sistema de signes internacional. Per tant, quan parlem de l'origen del llenguatge no podem imaginar-nos el primer llenguatge humà com una concatenació de paraules dins d'una estructura jeràrquica, amb una gramàtica ben establerta. Segurament el que primer va sorgir va ser el signe, que a partir de moltes repeticions es convertiria en concepte i així, en un símbol pel col·lectiu que l'utilitzava.

Avui en dia sabem que els animals es comuniquen. No ho fan utilitzant un llenguatge oral (articulat) com nosaltres, però per exemple les abelles a través d'una espècie de dansa, poden indicar les coordenades (com ho entendríem nosaltres) d'on es localitza el menjar. I fins i tot, el *Cercopithecus nictitans* emet diferents crides d'alarma en resposta a la presència de lleopards i àguiles. La diferència està en que el llenguatge humà té una capacitat il·limitada de creació, pots comunicar coses que no estan presents, i podem parlar sobre el nostre propi llenguatge, una capacitat cognitiva d'ordre superior.

Existeixen dues hipòtesis sobre l'origen del llenguatge. La teoria de la discontinuïtat o puntual del llenguatge defensada sobretot per Noam Chomsky, postula que la seva emergència es dona fa 100.000 anys gràcies a una mutació genètica que possibilitaria un cop apareguda aspectes com la socialització, la cooperació i la comunicació. Aquesta mutació, que Chomsky anomena Gramàtica Universal i que és la capacitat innata de l'humà per adquirir el llenguatge, ja estaria en el genoma dels *Homo sapiens* que van deixar Àfrica fa 60.000 anys. Aquest autor considera que fins fa 200.000 anys, amb l'aparició d'*Homo sapiens*, el genoma humà no va tenir cap variació significativa, i a més, no hi ha evidència de llenguatge en etapes anteriors a *Homo sapiens*. De la mateixa manera, Chomsky observa que la infinitat discreta, la capacitat de crear de forma il·limitada només es pot observar en els humans i apareix d'una forma sobtada, com si s'hagués produït un salt cognitiu. Una evidència podria ser la gran varietat d'indústria fabricada. I estudis actuals amb infants ens indiquen la gran capacitat que tenen per adquirir la llengua, i com de complicat és adquirir-la quan es sobrepassa el període crític (de 0 a 5 anys).

Tot això, porta a pensar en un origen innat i universal en un moment puntual de l'espècie *Homo sapiens*. Philip Lieberman afirmava que els neandertals no podien produir llenguatge articulat perquè no tenien una laringe en posició baixa ni una llengua articulada que permetés emetre sons, tot i que ara si sabem que podrien emetre alguns tipus de sons excepte d'alguns vocàlics.

La segona hipòtesi és la teoria continua o gradual del llenguatge. Els anàlisis genètics d'ADN van identificar un gen, el FOXP2 que quan està absent provoca trastorns específics del llenguatge, específicament a nivell motor, lingüístic, afectant tant el component receptiu com expressiu del llenguatge. El gen FOXP2 intervé en la regulació de la diferenciació neuronal necessària per l'organització i el funcionament de determinats circuits cortico-tàlem-estriats associats a la planificació motora, el comportament seqüencial i l'aprenentatge procedimental. Es suposa que dues mutacions en la seqüència del gen haurien estat seleccionades fa al voltant de 200.000 anys coincidint amb l'aparició del *Homo sapiens*, o fa 300.000-400.000 anys, per tant, afectaria al avantpassat comú d'*Homo sapiens* i *Homo neanderthalensis*, a favor de la hipòtesi gradual. En tot cas, aquesta mutació hauria afectat a l'àrea de Broca (facilitant d'aquesta manera l'emergència de la sintaxis o optimitzant el processament fonològic i la memòria de treball verbal) o hauria reclutat aquesta regió pel control del llenguatge parlat.

Johannes Krause considera que el gen FOXP2 estaria ja en el genoma de l'ancestre comú de neandertals i humans moderns. En el registre fòssil també es troben evidències d'una evolució gradual del llenguatge. Per exemple, en el jaciment de la Sima de los Huesos, Atapuerca, es localitza un os hioide (capacitat d'articular sons) de l'espècie *Homo heidelbergensis* i que l'anàlisi del coll d'aquest individu a partir de la vertebra 5 de les cervicals juntament amb l'os hioide, indicaria una habilitat per parlar com un infant de 10 anys de la nostra espècie (Martínez, et al, 2008). Els ossos de la oïda de neandertal tindrien la capacitat de poder escoltar sons tal i com ho fem nosaltres, i de produir-ne. Si a més, tenim en compte la seva pràctica d'enterraments i per tant, una capacitat simbòlica, tenim la base del llenguatge. Seguint en el registre arqueològic, trobem avantpassats primitius que presenten una incipient evolució que estaria relacionada amb la capacitat lingüística, com és el cas de l'augment del volum cerebral i la identificació de certes àrees relacionades amb el llenguatge. Es considera que *Homo ergaster* tindria la capacitat de poder emetre un llenguatge ja que per la fabricació del mode 2 cal una representació d'un model, d'una imatge mental per a poder fer-lo, i per tant, estem parlant d'una possible recursivitat, una propietat del llenguatge humà. *Homo habilis* ja presentava l'àrea de Broca, relacionada amb la producció de la parla, i l'àrea de Wernicke, relacionada amb el processament de la informació conceptual, la comprensió i la comunicació, com també un augment de les circumvolucions, amb una remodelació de la posició i mesura dels lòbuls

cerebrals, on la lateralització cerebral s'accentua. Clark, en un recent estudi de 2017 on analitza les restes de l'esquelet d'*Adipithecus ramidus* (4,5 m.a.) afirma que el possibiliten per a poder parlar. Les anàlisis evidencien una posició erecta en aquesta espècie, juntament amb una lordosis en les cervicals i un *formamen magnum* similar als humans. A més, la llengua es posicionaria parcialment en la cavitat oral i també en la faringe, és a dir, estaria en posició més baixa a diferència dels ximpanzés que tenen la llengua en la cavitat oral a causa de la seva locomoció quadrúpeda (Lieberman, 2007b en Clark, 2017). Si això fos possible, els orígens del llenguatge es remuntarien a avantpassats anteriors al sorgiment del gènere *Homo* dins d'una evolució gradual.

Donant suport a l'origen gradual del llenguatge, les evidències paleoneurològiques que indiquen l'increment del volum cerebral juntament amb una reorganització neural subsegüent haurien estat les bases per a l'aparició de les habilitats cognitives complexes, l'aparició de la lateralització i l'existència d'una remodelació anatòmica de determinades estructures cerebrals com un reflex d'una especialització funcional, a més de la posició bípeda que afavoreix la posició baixa de la laringe. L'increment al·lomètric del cervell hauria tingut importants conseqüències amb l'organització global del còrtex, com també en les relacions existents entre les estructures corticals i les subcorticals, les quals semblen crucials pel processament lingüístic. La seva base es trobaria en la interrelació que s'estableix entre ambdós tipus d'estructures subordinades al circuit cortico-estriat-cortical, que permet que la informació cortical sigui processada pels ganglis basals i reenvia novament al còrtex a través del tàlem la informació fent possible la modulació de diversos tipus de processos. En aquest tipus de models les estructures subcorticals s'encarregarien específicament del processament de les tasques seqüencials necessàries per a la fonació o la sintaxis. S'ha suggerit que una de les conseqüències a les que hauria donat peu aquest increment cerebral al·lomètric hauria estat un canvi en la innervació per aconseguir un control conscient de l'aparell fonador durant la parla. En el procés evolutiu que ens porta al llenguatge, la tendència hauria estat la de consolidar un control únic i cortical dels músculs orals, facials i vocals implicats en la parla, i la de reduir la dependència de les vocalitzacions de l'esfera emocional, de forma que l'emoció acabaria incorporant-se en la parla a través de la prosòdia (Deacon, 2000 en Benítez-Burraco, 2007). Una segona conseqüència del increment al·lomètric del volum cerebral hauria estat la de proporcionar la base computacional i la capacitat d'emmagatzemar el necessari per suportar un increment de les habilitats de caràcter lèxic, incloent les d'aprenentatge i disponibilitat de noves paraules (Lieberman, 2002 en Benítez-Burraco, 2007).

Erns Haeckel considerava que en el desenvolupament del llenguatge en els infants humans i hauria evidències filogenètiques en l'adquisició de la parla (Haeckel, 1876 en Clark, 2017). Tot i que és una teoria molt criticada, avui en dia certs estudis donen suport a aquesta tesis sobretot en alguns aspectes molt específics del desenvolupament com per exemple en l'evolució de la música, la cognició i el llenguatge i es suggereix que els infants passen per etapes similars als homínids adults primitius, i després el desenvolupament ontogènic continuaria afegint etapes addicionals respecte a la condició ancestral (Ackermann et al., 2014, Bates, 1979, Borchert y Zihlman, 1990, Falk, 2009, Gibson e Ingold, 1993, Mithen, 2006, Oller et al., 2013 y Parker y McKinney, 1999, en Clark, 2017).

L'observació dels lactants humans ha donat lloc a pensar que l'articulació cortical d'estats afectius i formes de visualització vocals més antics caracteritzen tan l'ontogènia com la filogènia (Oller et al, 2013 en Clark, 2017) i proposen que les formes rudimentàries de flexibilitat vocal observades en lactants poden ser paral·leles a la primera aparició d'aquestes capacitats en els homínids primitius. Els infants mostren vocalitzacions fixes com el plor i el riure i s'observen afinitats amb les vocalitzacions fixes dels primats no humans adults que estan vinculats i que donen expressions a estats emocionals específics. Però als 3-4 mesos d'edat, els lactants desenvolupen la capacitat de desacoblar les vocalitzacions dels estats emocionals específics i inicien el significat arbitrari, component important pel llenguatge humà. A partir dels 2 anys, els infants comencen a vincular la paraula als seus referents. Es considera que els humans primitius també haurien fet aquesta transició de les vocalitzacions fixes a arbitràries, ja que en bonobos també es va observar que feien el mateix que els lactants humans (Clark, 2017).

Altres estudis ontogènics relacionen les melodies que es generen entre els lactants i els seus cuidadors i suggereixen una forma de protollenguatge musicalitzat. Consideren que la musicalitat es genera abans que el llenguatge, i ens desenvolupa la capacitat de diferenciar tons i entonacions, i per tant, de la prosòdia, l'aspecte que ens dona la informació afectiva, emotiva i expressiva del llenguatge. Alguns autors, suposen que aquest protollenguatge musicalitzat hauria estat usat pels homínids per facilitar el vincle social i la cooperació, de la mateixa manera que es generen amb els lactants i cuidadors humans (Clark, 2017). A més, el canvi en l'esquelet, posició erecta i estretament de la pelvis, juntament amb el creixement del crani, suposa l'inici de la primera infància, etapa en la qual els infants han de ser cuidats per la seva supervivència. Aquest aspecte, facilitaria l'evolució del llenguatge humà.

El llenguatge ens permet enviar informació vital per a la nostra supervivència i aquesta capacitat hauria incrementat les possibilitats de sobreviure tant del grup, com a nivell dels individus que

l'integren. Aiello i Dunbar en el 1993 estableixen l'existència d'una correlació positiva entre la mida del neocòrtex, la mida dels grups socials dels homínids primitius i el temps dedicat a la interacció social, de forma que la creació de grups socials de major mida i complexitat, en resposta a un canvi en les condicions ecològiques del medi en el que es desenvolupen, hauria determinat l'aparició d'un sistema efectiu de comunicació (vocal o gestual) entre els membres dels grups, amb un component simbòlic que hauria anat augmentant amb el temps i que hauria resultat imprescindible pel manteniment de informació de la cohesió dels mateixos. Pinker (2003 en Benítez-Burraco, 2007) proposa que l'humà ha adquirit evolutivament una capacitat innata de codificar i compartir amb els seus membres informació sobre l'estructura no casual del medi que el rodeja a partir de senyals perceptibles. Per tant, el coneixement del medi, la sociabilitat i el llenguatge haurien coevolucionat en l'espècie humana.

L'ús i elaboració de la indústria lítica i el llenguatge estan estretament relacionades. Darwin postulava la possibilitat de que el control motor de la mà i l'articulació del llenguatge seguien un ordre jeràrquic, on primer es desenvoluparia la praxis manual i després la sintaxis. En aquest sentit Stout (2012) realitza una sèrie d'estudis on relaciona la cognició tècnica i el llenguatge i parteix de la idea que el gest i la tecnologia serien la base del llenguatge. De fet es suggereix que les àrees cerebrals lingüístiques i la praxis que interseccionen en l'àrea de Broca haurien estat fruit d'una exaptació, ja que aquestes àrees també contribueixen en comportaments no lingüístics com és l'ús de l'eina. Originàriament l'àrea de Broca, localitzada en la tercera circumvolució frontal inferior esquerra, sustentava la facultat del llenguatge articulat. Actualment, no només l'àrea de Broca està implicada en el llenguatge, si no que el còrtex frontal i en extensió el gir frontal inferior participen en l'articulació del llenguatge i ajuden a la comprensió i producció de l'estructura sintàctica, semàntica i fonètica. A més, el gir frontal inferior també té un paper en el comportament de la manipulació d'objectes, en la recerca visual, l'aritmètica i la música. Aquesta varietat de comportaments, porta a pensar que el gir frontal inferior va evolucionar primer per la praxis manual abans de produir-se una exaptació per suportar el comportament lingüístic. Els estudis amb macacos realitzats per Rizzolatti suggereixen la hipòtesi de l'exaptació, perquè en l'àrea F5 i que contenen neurones mirall s'activa quan observa que un altre fa l'acció d'agafar un objecte proposant així la hipòtesi motora de la percepció de la parla on hi hauria un precursor evolutiu en la capacitat de fer i reconèixer de forma intencional gestos comunicatius. Aquesta hipòtesi és el Sistema de Miralls i proposa un sistema primitiu d'adaptació que donaria suport a la imitació i a una etapa de transició anomenada protosigne entre la imitació i l'espai semàntic necessari pel llenguatge vocal (Stout, 2012).

Stout (2012) proposa que la indústria lítica del mode 1 són la primera evidència d'una capacitat exclusivament humana per a la praxis manual i que aquesta capacitat podria estar relacionada amb les demandes d'un circuit premotor parietal-ventral inferior creixent i que tindrien similituds anatòmiques i computacionals implicades en el processament fonològic. Suggereix que la selecció va actuar sobre la capacitat d'elaborar eines del mode 1 afavorint l'elaboració d'un sistema de praxis que posteriorment va ser cooptat per donar suport al control articulari requerit per la parla. Stout observa que en el mode 2 s'activen les mateixes àrees que en el mode 1 però a més, hi ha una àrea més implicada el *pars triangularis* del gir frontal inferior regió associada amb la representació d'acció més abstracte i l'organització jeràrquica on s'inclou la integració semàntica i la sintàctica. A l'hora, aquesta zona també està relacionada amb la memòria de treball que ajuda a processar les oracions. Aquest autor proposa que el mode 2 és una evidència d'una coevolució entre l'ús d'eines i el llenguatge, ja que requereix d'una implementació d'accions jeràrquicament complexes i múltiples durant la seva producció i dona proves de processos de control cognitiu implicats en el processament del discurs del llenguatge i elaboració d'eines.

Finalment, podríem dir que el llenguatge apareixeria gràcies a imitacions gestuals icòniques o moviments ostentosos que derivarien en un protosigne (gestos manuals comunicatius i intencionals) i creant d'aquesta manera conceptes compartits i generalitzats de coneixement i que proporcionarien la base per a l'aparició d'un proto-discurs. I Stout, afegiria que en l'origen del llenguatge es troba estretament relacionada l'evolució tecnològica, i que l'aprenentatge imitatiu durant l'observació de la manufactura de les eines donaria suport a que la demostració pedagògica intencional podria estar implicada en l'evolució de la comunicació vocal intencional.

4.2.3. Cognició tècnica

El registre sobre indústria lítica que tenim fins ara, ens aporta una evolució, i un augment en la complexitat que molts arqueòlegs equiparen a l'evolució cognitiva del gènere *Homo*. La indústria lítica des de la seva aparició en el registre arqueològic, fa 3,3 milions d'anys, segueix la tendència general de creixement, tant en diversitat com en complexitat, i fa pensar en la seva possible correlació amb l'augment i amb la reorganització neuronal del cervell humà.

L'eina la podríem definir com a un objecte extern que és subjectat per la mà i que interactua amb els ambients externs. Per tant, l'eina estén i externalitza el nostre cos. De fet, les primeres eines elaborades pels homínids són eines motores (Iraki, 2011) que externalitzen els òrgans motors. Després apareixen les eines sensorials, les que permeten l'externalització dels òrgans

sensorials. I per últim apareixeria la memòria simbòlica externalitzada (Iraki, 2011) o externalització del cervell. Aquesta tercera capa sorgeix de l'externalització dels sentits promovent la capacitat de veure'ns a nosaltres mateixos, apareixent així la tercera persona i adquirint el sentit del jo i de la intencionalitat. Aquest jo es pot fragmentar, en un jo present i un jo futur sorgint així la necessitat de guardar informació pel futur utilitzant per exemple l'art parietal.

Hi ha una relació entre aquesta jerarquia de les eines i la jerarquia de les representacions de la realitat (Iraki, 2011). Les eines motores ajuden a crear una imatge corporal (externalitzen el cos i interioritzen l'eina). Això és una representació enactiva. Després d'aquesta apareixerà la representació icònica (eines sensorials) i la representació simbòlica (externalització del cervell). Jerome Bruner, teòric cognitiu defineix la representació enactiva com el mode d'adquirir coneixement a partir de l'acció o interacció directa amb l'objecte, és a dir, amb un aprenentatge procedimental i es desenvolupa en els primers estadis de la infància. La representació icònica és l'aprenentatge a partir d'elements visuals i es desenvolupa als 3 anys de vida. I per últim, la representació simbòlica implica obtenir informació a través de símbols com les paraules, conceptes, abstraccions i llenguatge. Aquesta representació s'adquireix al voltant dels 6 anys d'edat.

Per desenvolupar els modes de representació de la realitat cal primer una reorganització dels modes de integració visuomotora en el còrtex parietal. En aquest sentit l'ús de les eines va provocar una expansió en el cervell, una expansió de la matèria gris que s'estén fins àrees adjacents com l'àrea somatosensorial secundària i el còrtex opercular (Iraki, 2011).

Stout (2007) basant-se en la neurociència cognitiva, relaciona els models cognitius amb l'arqueologia experimental oferint una interpretació dels resultats de neuroimatge i patrons d'activació neuronal. Els seus resultats indiquen que ens els humans moderns quan fabriquen eines de pedra s'activa la xarxa frontoparietal bilateral. En les tasques de talla el lòbul frontal s'activa, sobretot l'àrea premotora ventral encarregada de controlar les accions motores com l'agafar un objecte i la direcció de l'acció. També s'activa el lòbul parietal inferior, sobretot el gir supramarginal. Aquestes àrees estan associades amb l'activitat perceptiu-motora que juntament amb el gir supramarginal es relacionen amb la planificació i preparació de l'acció, i amb la parla interna. Aquesta xarxa frontoparietal és una vella xarxa neural que evoluciona en primats no humans per manipular els objectes (Stout, 2007). L'ús d'eines és una activitat complexa que requereix de recursos perceptius, motors i de planificació que involucren una

extensa xarxa neuronal tant en humans com en primats no humans. Però una part anterior del gir supramarginal pot haver evolucionat com una especialització humana per l'ús de les eines.

En un estudi realitzat per Stout i els seus col·laboradors (2007) on 6 subjectes sense experiència en la talla de pedra, se'ls hi ensenya a fabricar eines del mode 1 per observar quines són les àrees cerebrals que s'activen a partir de proves de neuroimatge. Els resultats indiquen que per a la fabricació d'eines de pedra s'activa un mosaic de sistemes perceptiu-motors parietofrontals primitius i derivats, inclús especialitzacions humanes recents identificades per la representació del camp visual central i la percepció de la forma tridimensional. Stout conclou que els factors centrals en les etapes inicials de l'evolució tecnològica varen ser l'adaptació sensoriomotor i la percepció per explotar les capacitats d'acció altament específiques, més que no pas la conceptualització abstracta i la planificació. Iraki en el 2004 (Stout, 2007) identifica una xarxa de regions cerebrals per l'ús d'eines simples tant per humans com per monos. Tot i que el mode 1 és una fabricació simple, hem de tenir en compte que es basa en la utilització d'una eina per fer-ne un altre. El que no queda clar, és si aquesta revolució del comportament indica una renovació d'unes capacitats cognitives o és la reaplicació de capacitats de primats preexistents en nou context, és a dir, potser simplement és una capacitat compartida i és el context el que genera una readaptació d'aquesta capacitat. El que està clar, és que el mode 1 requereix d'unes habilitats visuals i una comprensió intuïtiva de les propietats de la fractura de la pedra. Els primats no humans, com ximpanzés salvatges utilitzen una sèrie d'eines, fins i tot, es poden entrenar en la fabricació d'eines, però mai arriben a fer una peça com la que fabrica un humà.

El colpeix de la pedra probablement va evolucionar a partir de la modificació d'una xarxa neuronal que hauria evolucionat amb el context de la manipulació d'objectes i aliments molt abans de l'aparició dels homínids. Per tant, el colpeix de la pedra hauria marcat una senyal cognitiva en l'evolució dels homínids (Stout, 2007).

Stout i els seus col·laboradors observen un patró d'activació cerebral diferent per a la fabricació del mode 1 i del mode 2, on el *pars triangularis* del còrtex prefrontal dret s'activa en la fabricació del acheulià. D'aquesta manera, es pot entendre que per a la fabricació del acheulià es requereix d'uns requisits de planificació i un augment de la memòria de treball, i tot i que sembla que la cognició tècnica recau en zones específiques, realment tot el cervell hi participa compartint recursos amb altres xarxes com la cognició espacial, social i memòria de treball.

Finalment, dels estudis de Stout i els seus col·laboradors plantegen dues implicacions. La primera indica que el colpeix de pedra sorgiria d'una xarxa de manipulació d'objectes cognitiva que aniria millorant-se al llarg de l'evolució a mesura que millorava el colpeix (els reajustaments

del nucli de pedra indiquen una millor atenció visual). La segona considera que la cognició tècnica evoluciona com una xarxa no verbal i que continua essent així, i aquest és el problema de relacionar llenguatge i fabricació d'indústria lítica. Stout, observa que la indústria que analitzem és confeccionada per experts i per tant, analitzem una experiència tècnica que consisteix en rutines procedimentals, de pràctica física i que per tant, la informació declarativa verbal és secundària, és a dir, l'aprenentatge del colpeix de la pedra no pot ser après a partir d'instruccions únicament verbals. Tot i això, és evident que el coneixement tècnic requereix d'una memòria processual a llarg termini, un anàlisi ràpid de problemes, la capacitat per canviar l'atenció sense perdre informació i un ràpid aprenentatge i acomodació de nova informació. A més, el contingut d'una estructura per ser recuperada cal unes senyals vinculades a informació processual i declarativa emmagatzemada en la memòria a llarg termini. Des d'aquest punt de vista, llenguatge i indústria si pot relacionar-se sent així una exaptació.

4.2.4. Cognició espacial

La cognició espacial és la capacitat de percebre els patrons espacials, d'organitzar l'acció en l'espai, i entendre les relacions espacials. Dedicada una sèrie de recursos neuronals, des de la detecció de patrons bàsics en el còrtex visual fins les capacitats de raonament executiu en el còrtex prefrontal. Però, les estructures cerebrals més associades amb la cognició espacial són els lòbuls parietals, encarregats de la interpretació de les relacions espacials com per exemple; a dalt o a baix, esquerra o dreta, dins o fora, interpretació de la simetria, de l'equilibri i del concepte de tancament. Aquesta estructura cerebral també forma part de la xarxa de manipulació dels objectes perquè guia l'acció motora en l'espai. Pels humans moderns la cognició espacial inclou a més, la capacitat d'entendre l'espai com un arc tridimensional de posicions, com també imaginar l'espai-temps multidimensional.

Molts dels components de la cognició espacial humana no es troben en primats no humans, com per exemple la percepció aloentràica, definida com la capacitat d'imaginar perspectives visuals no centrades en l'ego. Aquesta capacitat és fonamental per entendre que l'espai consisteix en posicions espacials que no canvien amb un canvi en el punt de vista. La percepció aloentràica inclou la capacitat de concebre l'espai geogràfic des de la perspectiva de la vista d'ocell, una capacitat dins de la rotació mental i d'especial importància en la navegació.

Així, la cognició espacial no només és important per a la fabricació d'eines i navegació, si no que també és fonamental per a la creació de models del món. La cognició espacial és important també pel pensament matemàtic d'on surten les relacions matemàtiques (línies, corbes, regressions) i que ens ajuden a imaginar el nostre propi món vital.

La informació obtinguda fins ara sobre la cognició espacial prové dels anàlisis de la indústria lítica on s'observa que al llarg de l'evolució humana va haver una seqüència de desenvolupament de la simetria en la fabricació de les eines de pedra. Els objectes resultants de la primera tecnologia lítica o mode 1, no existia en la seva elaboració cap imposició de forma, és a dir, qualsevol forma resultant no va ser conseqüència de cap intencionalitat dirigida per una forma mental preestablerta. Tot i això, a diferència dels primats no humans, si que podem dir que aquests primers homínids identificaven de forma adequada les plataformes per a fabricar les eines. En canvi, en el mode 2 i la configuració de bifaços, si es pot observar la imposició de la simetria bidimensional. Aquests homínids produïen una forma objectiu. La indústria datada amb 1.8 i 1 milió d'anys no eren del tot simètriques. Fa un milió d'anys, la simetria era molt més precisa. Fa 500.000 anys, els homínids produïen mànecs amb simetria tridimensional, i fins i tot, produïen eines que violaven la simetria d'una forma voluntària.

Wynn (2002) argumenta que la seqüència de desenvolupament del mode 1 existeix una comprensió de les relacions espacials seguint els esquemes del desenvolupament cognitiu de Piaget. Però que no és fins l'elaboració del mode 2 on es pot observar realment una comprensió de l'espai perquè per a la fabricació de l'acheulà requereix de la coordinació de la via del processament visual, les relacions espacials dorsals i el reconeixement del patró ventral.

Els estudis cognitius ens ofereixen les següents conclusions; primer que per a la fabricació de les eines del mode 1 es requereix una capacitat cognitiva semblant a la d'un primat no humà. Segon, que el concepte d'espai tal i com l'entenem avui, apareix al final del mode 2, fa uns 500.000 anys. Tercer, que l'evolució de la cognició espacial inclou un desenvolupament de les vies de processament visual dorsal i ventral. I quart, l'acheulà no era un període d'estasi, al menys no pel que fa a la cognició espacial.

Silverman (2000 i 2007) suggereix que el desenvolupament de la cognició espacial és la clau del concepte de constància de l'espai, la capacitat per mantenir les relacions espacials a partir de les transformacions. Aquesta és la base de les habilitats de la rotació mental, capacitat que ens ajudaria a mantenir constants les relacions paisatgístiques i permeten la navegació utilitzant noves rutes, i que hi hauria una diferència sexual en la cognició espacial que evolucionaria com una adaptació per a la caça masculina (Wynn i Coolidge, 2016). Però l'evidència arqueològica presenta un problema i és que la constància espacial va aparèixer al voltant de 500.000 anys i en aquest període hi ha poca evidència de la divisió del treball basat en el gènere (divisió que es considera més tardana en la Prehistòria), a excepció d'un treball fet amb l'anàlisi del desgast dentals dels neandertals del jaciment asturià de El Sidrón (Estalrich i Rosas, 2015).

Wynn i Coolidge (2016) consideren que la perspectiva aloccèntriques (adquirir un mapa mental de l'espai) i la perspectiva egocèntrica (la que permet seguir la ruta del mapa) i que estan relacionades amb la navegació d'espais coneguts, i la capacitat d'actualitzar aquests mapes en espais nous, haurien aparegut fa 500.000 anys, abans de l'aparició dels neandertals, ja que en estudis amb ximpanzés s'ha observat que són capaços de seguir rutes. En canvi, altres autors consideren que els humans arcaics no tindrien la capacitat d'actualitzar aquests mapes a partir de noves informacions i per tant, d'aprendre de nous paisatges (Burke, 2012 en Wynn i Coolidge, 2016).

La cognició espacial humana hauria evolucionat des d'*Homo erectus* perquè segons el registre fòssil obtingut fins ara ens indica una gran dispersió geogràfica i fa pensar en la possibilitat de que aquest homínid ja disposaria de la percepció aloccèntrica i de la percepció egocèntrica per organitzar les activitats a una escala paisatgística (Wynn i Coolidge, 2016).

Per últim, hem vist que la percepció aloccèntrica i l'egocèntrica tenen una forta relació amb la cognició espacial, però també tenen una rellevància important dins la Teoria de la Ment. Aquesta última és la capacitat de tenir consciència de les diferències que existeixen entre el punt de vista d'un mateix i d'un altra, i per tant, estem parlant de cognició social. D'aquesta manera s'estableix una relació entre cognició espacial i social.

4.2.5. Cognició social

La cognició social és la que ens permet als humans percebre les nostres pròpies emocions i les dels altres, entendre què és el que pensen els altres en determinades situacions, en definitiva, la que ens permet avaluar mentalment les accions socials que es generen en el nostre entorn. Per tant, en aquest apartat no parlem sobre la possible cooperació i formació de grups dels primers humans com una forma d'estratègia de supervivència, que ho és, si no que es descriu com i quan hauria sortit la capacitat d'entendre a l'altre.

La vida social dels primers homínids es pot explicar seguint tres hipòtesis diferents (Wynn i Coolidge 2016). La hipòtesi maquiavèlica es centra en la capacitat de mentir i la manipulació social. La hipòtesi de l'aprenentatge social es centra en les capacitats d'aprendre la informació i les rutines complexes dels congèneres. I la hipòtesi del cervell social que es centra en la capacitat dels individus per establir i mantenir les xarxes socials. Totes tres tenen un punt en comú per explicar l'augment del cervell i la seva expansió del neocòrtex, i és que més que la recerca del menjar per sobreviure, és degut a les selecció de les complexitats de la vida social.

L'arqueologia estudia el comportament social dels homínids a partir de la distribució espacial de les restes arqueològiques basant-se en patrons d'assentament, tenint en compte la dificultat

que presenta el palimpsest. Però l'arqueologia també fa ús dels estudis cognitius i de la teoria de la ment per estudiar dues de les hipòtesis abans plantejades; la hipòtesi de l'aprenentatge social i la hipòtesi del cervell social.

En l'apartat de la cognició tècnica i espacial s'ha fet menció de la teoria de la ment. Saber quin és el meu punt de vista i el de l'altre persona, i per tant, preveure el seu comportament és una habilitat dins del marc de la intencionalitat. Existeixen entre 5 i 6 nivells d'intencionalitat i es coneix que els ximpanzés juguen amb els dos nivells primers, és a dir, tenen una intencionalitat de primer nivell que vol dir que un jo té una creença sobre el món, i una intencionalitat de segon nivell significa que un jo té la creença de que un altre individu també té una creença. A partir d'aquí, els humans tenen un tercer nivell on un jo té la creença de que un segon té una creença sobre la creença del jo, i així successivament fins arribar a un cinquè o sisè nivell. El fet de que ximpanzés i humans compartim els dos primers nivells significa que una capacitat cognitiva social va evolucionar clarament en el nostre llinatge, però també ens indica que va ser un fet gradual.

Una forma d'estudiar la intencionalitat dels homínids és a partir de la indústria lítica. En el 2010, Shipton realitza un estudi basat en el desenvolupament de la imitació i la intencionalitat en els infants (Wynn i Coolidge, 2016). Considera que els nens amb 9 mesos tenen la capacitat d'entendre que altres tenen intencions, i amb 4 anys tenen completament adquirida la intencionalitat de segon nivell. Aquest autor considera que per imitar amb precisió ens cal primer haver adquirit la intencionalitat de segon ordre per entendre l'objectiu del individu que està observant. Shipton argumenta que els homínids que elaboraven eines del mode 1 encara no haurien adquirit la capacitat d'imitar i per tant, encara no hi hauria una intencionalitat de segon nivell completa. En canvi, en la fabricació del mode 2 ja hi hauria una capacitat imitativa real i que per tant, hi hauria un segon nivell d'intencionalitat adquirit. D'aquesta manera *Homo erectus* com *Homo heidelbergensis* posseirien un nivell d'intencionalitat de segon ordre. En canvi, Cole considera que *Homo erectus* seria capaç de reconèixer i seguir les accions dels altres, i per tant, existiria una identitat interna del propi individu i una comprensió de que els altres també tenen una identitat, i això seria una intencionalitat de segon ordre, però a finals del acheulià ja existiria el tercer nivell (Cole, 2014 en Wynn i Coolidge, 2016). Altres autors consideren que la distància d'1 milió d'anys entre *Homo erectus* i *Homo heidelbergensis* hi ha canvis en la indústria lítica que implicarien un procés d'aprenentatge i instrucció activa, i postulen que el tercer nivell d'intencionalitat ja existiria (Hogberg et al., 2015). Els humans adquiriríem el cinquè nivell d'intencionalitat amb l'aparició d'*Homo sapiens* (Cole, 2014 en Wynn i Coolidge, 2016).

Però, que ha succeït al llarg de l'evolució per a què els homínids desenvolupessin la cognició social? Són tres els factors que es relacionen per explicar el desenvolupament cognitiu social; el bipedisme, l'augment cerebral i l'allargament de les etapes del desenvolupament. Al llarg de l'evolució humana podem veure canvis en la morfologia de la pelvis que ens indica que hi hagut una pressió de selecció per apropar els fèmurs entre sí estrenyent el canal del part i afavorint el bipedisme. Juntament amb l'augment gradual del volum cerebral, fa que els infants humans neixin sense encara tenir el cervell format, i per tant, necessiten de les cures intensives dels seus progenitors. L'augment del volum cerebral i el naixement primerenc provoca al llarg del llinatge humà una prolongació en el seu desenvolupament. Els mamífers de mida gran ontogènicament tenen les següents etapes: l'etapa infantil on les cries lactants tenen una dependència de la mare. L'etapa juvenil que s'inicia amb el deslletament però continua el seu creixement corporal i cognitiu. I per últim l'etapa adolescent quan apareixen els caràcters sexuals secundaris i acabarà de créixer fins arribar a la maduresa biològica. Els humans però, hem afegit una fase més, la infància un estadi de dependència que es dona entre la fase infantil i l'adolescència, i on encara el cervell no ha acabat de créixer. El registre fòssil ens indica que els Australopitècids i *Homo erectus* tindrien una ontogènia semblant al ximpanzé, però a partir de l'*Homo arcaic* el desenvolupament s'hauria alentit. A més d'aparèixer aquesta nova etapa, l'etapa juvenil i l'adolescent també s'han allargat en els humans, i la causa possible és que el nostre cervell tarda en madurar com a conseqüència de la mida i de les connexions neuronals que han d'acabar de formar-se. Si es compara la maduració del cervell d'un ximpanzé i el registre fòssil d'*Homo erectus* s'observa que *Homo erectus* madurava una mica més lent que el ximpanzé actual i per tant, es pot proposar que la prolongació de les etapes ja s'iniciés en una fase de l'evolució primerenca.

Per tant, el fet de que un infant humà neixi sense està format implica que a nivell de grup i per tant social, un context que afavoreix l'aprenentatge i que com a conseqüència aquest exocervell es retroalimenta amb l'entorn i que variï i augmenti les seves connexions sinàptiques, un avantatge per a la cognició social.

Hi ha dos tipus de neurones en l'*Homo sapiens* actual que tenen un paper fonamental en la cognició social: les neurones mirall i les neurones en fus.

En el 2007 l'equip de Hof proposen que les neurones en fus estarien en el cervell de l'espècie avantpassada comuna per a humans, ximpanzés, gorilles i orangutans fa 15 o 20 m.a. (Martín Loeches i Casado, 2008). Les neurones en fus es localitzen en el cíngol anterior (àrea 24 de Brodmann) i és una part filogenètica molt antiga que participa en la regulació de processos

fisiològics i en la regulació de processos cognitius superiors com són l'atenció voluntària, l'apreciació del plaer i desplaer d'una acció determinada, en el reconeixement d'expressions facials, en les emocions intenses, en la resolució de problemes, en la detecció d'errors, i valora les relacions dels individu amb el seu medi, és a dir, els costos i beneficis emocionals de les nostres accions. El 2002, Allman proposa que aquesta àrea juntament amb l'àrea 10 de Brodmann destacarien en el procés de planificació, la presa de decisions, els processos de memòria, en l'avaluació de les diferents recompenses i càstigs, i en la formulació d'estratègies de comportament i suggereixen que aquestes neurones podrien tenir un paper fonamental en la complexitat del comportament, la intel·ligència i la complicada xarxa de relacions socials (Martín Loeches i Casado, 2008).

Les neurones mirall es localitzen en la part inferior del lòbul frontal i en la part inferior del lòbul parietal i s'activen en determinades accions que fa un altre. Aquestes neurones formen un complex anomenat Sistema de Neurones Mirall, i és compartit per simis i humans. Però aquestes neurones no només s'activen en determinats moviments i intencions dels altres subjectes, també formen part dels processos de la imitació i en l'aprenentatge vicari, participen en l'adquisició del llenguatge, en l'expressió emocional, en la comprensió de les emocions dels altres, i en l'empatia. Per tant, tenen una importància fonamental en la capacitat de la Teoria de la Ment. Les neurones mirall van ser descobertes pel grup de Rizzolatti de la Universitat de Parma mentre estudiaven la part inferior del lòbul frontal del macaco, l'àrea F5 i que correspon a la part inferior de l'àrea 6 de Brodmann en l'humà (Martín Loeches i Casado, 2008). Arbib (2005) suggereix que com que els grans simis tindrien aquest sistema per a la imitació, i que amb l'aparició d'*Homo habilis* s'hauria arribat a la complexitat suficient per reconèixer les intencions dels altres. En la transició entre *Homo habilis* i *Homo sapiens* s'hauria creat un sistema per transmetre les intencions als demés (Martín Loeches i Casado, 2008). I finalment relaciona el Sistema de Neurones Mirall amb el llenguatge, on els humans arcaics haurien posseït un llenguatge basat en el gest i que finalment *Homo sapiens* incorporaria les vocalitzacions (recordem que l'apartat de llenguatge, hem mencionat que *Homo neanderthalensis* seria capaç d'emetre sons, i per tant, la capacitat del llenguatge s'hauria generat abans de l'aparició *Homo sapiens*).

4.2.6. Asimetria cerebral

En el segle XIX és quan s'introdueix el concepte d'asimetria cerebral. En el 1861 Paul Broca localitza un àrea en el lòbul frontal de l'hemisferi esquerra, responsable del control de la parla, i que no hi hauria la seva equivalència en el hemisferi dret. Des de l'aleshores, l'hemisferi esquerra es va considerar l'hemisferi dominant i l'hemisferi dret com el dominat. En la asimetria

funcional podem dir que l'hemisferi esquerra processa la informació de tipus verbal, processa analíticament i seqüencialment amb una lògica racional, i domina les transformacions verbals, conceptuals i simbòliques. En canvi, l'hemisferi dret processa la informació no verbal o visuoespacial, el processament holístic seguint una lògica intuïtiva, el reconeixement o la memòria de formes visuals. Actualment, aquesta dicotomia entre dominància i subordinació està en desús perquè certes funcions mostren una preferència de l'hemisferi esquerra i d'altres mostren una prevalença del dret i per tant, avui en dia es parla d'especialització hemisfèrica. D'aquesta manera, l'hemisferi esquerra tot i ser el que predomina en el llenguatge, l'hemisferi dret també té el seu paper. De fet, en individus amb lesions en l'hemisferi esquerra, el dret és capaç de compensar el dèficit de forma força positiva. I és que encara que sembli que els hemisferis operen de forma autònoma, la realitat és que estan connectats a través del cos callós i que per a la realització de qualsevol tasca, tots dos hemisferis actuen globalment.

Els hemisferis funcionen de forma contralateral principalment, és a dir, l'hemisferi esquerra controla la part dreta del cos, i l'hemisferi dret controla la part esquerra del cos, però hi ha funcions que són ipsilaterals, és a dir, que l'hemisferi esquerra controla el costat esquerra i el dret controla el cos dret. Del funcionament contralateral sorgeix la dominància manual.

La divisió del treball entre els dos hemisferis es coneix com lateralització i hi ha diferents funcions cognitives que estan lateralitzades. La distribució dels teixits difereix entre els dos hemisferis, essent l'hemisferi esquerra més llarg que el dret en els humans moderns (Poza-Rey, 2015). Morfològicament podem veure que els hemisferis són de mides diferents en cinc zones: el *planum temporal*, cissures de Silvio, lòbul parietal, gir transversal de Heschl i la regió opercular frontal. A més, els hemisferis també són diferents a nivell químic, metabòlic, hormonal i neuroelèctric.

La majoria de la població humana actual mostra un patró manual dret, i per tant, una especialització hemisfèrica esquerrana. En el desenvolupament ontogènic s'observa que abans del naixement el cervell dels fetus presenten asimetries cerebrals, i que en el primer trimestre de vida tenen comportaments lateralitzats com són la succió digital o el moviment de les extremitats superiors. Actualment trobem que hi ha diferències sexuals en les asimetries cerebrals per exemple en els homes s'observa una organització més asimètrica, i la caça i la recol·lecció tindria una base neuroanatòmica (Poza-Rey, 2015)

Però en què ens beneficia tenir un cervell asimètric amb la conseqüent lateralització i especialització hemisfèrica? Aquesta morfologia asimètrica i la funcionalitat lateralitzada milloraria l'execució i eficàcia de les tasques cognitives evitant la duplicitat de la informació i

augmentant la rapidesa en el processament de la informació. És una forma d'optimitzar els recursos (Hutsler i Galuske, 2003 en Poza-Rey, 2015)

Hi ha diferents teories que expliquen les causes i funcions de la lateralitat (Llorente, Fabré i Mosquera, 2008). En el 1987 MacNeilage, Studdert-Kennedy i Lindblom proposen la teoria de l'Origen Postural on un avantpassat arborícola i comú entre ximpanzés i humans utilitzaria una de les seves mans per agafar-se a les branques i l'altra l'usaria per subjectar l'aliment. Quan aquest ancestre evolucionés cap a una locomoció bípeda deixant l'arborícola, la selecció afavoriria la tendència lateral. Per aquests autors l'evolució de la lateralitat hauria estat gradual fins arribar a *Homo sapiens*. Seguint un model continuista Hopkins i col·laboradors (2004) estudien la lateralització en 467 ximpanzés i conclouen que existeix una dominància manual dreta a nivell poblacional (Llorente, Fabré i Mosquera, 2008). El 1980, Warren considera que la lateralització funcional de la mà no existeix en primats no humans i és la visió humana la que distorsiona els estudis de laboratori. Warren considera que la lateralització de la funció manual és ontogènica, i que per tant l'aprenentatge i les experiències del cycle vital d'un individu són les que determinen la preferència manual, com també les tasques específiques. Warren forma part dels models rupturistes i pensa que la asimetria i la lateralitat de les funcions en *Homo sapiens* és un cas especial dins dels primats i d'altres organismes (Llorente, Fabré i Mosquera, 2008).

Actualment es coneix que l'especialització hemisfèrica no és una característica exclusiva dels humans, altres animals com les rates i primats no humans evidencien asimetries cerebrals. Aleshores, com que primats humans i no humans compartim similituds en aquestes asimetries, es podria pensar que hi ha una arrel filogenètica comuna. El problema radica en que no hi ha una clara evidència de la lateralització manual en el ximpanzés, ja que mostren conductes diferents en captiveri i en llibertat, com també una preferència en l'ús d'una de les mans depenen de la tasca, per tant, podríem dir que són ambidextres (Llorente, Fabré i Mosquera, 2008).

En el gènere *Homo* la coevolució de la mà (lateralització manual) i el cervell (lateralització cerebral) va poder facilitar el sorgiment de la fabricació i ús de les eines, de la comunicació i del llenguatge, i per tant de la cultura. Podríem dir que la dominància manual és una adaptació prelingüística (Llorente, Fabré i Mosquera, 2008).

En el registre fòssil trobem evidències sobre la lateralització incipient de les estructures cerebrals. Per exemple Holloway (1988 i 1996) observa en els endocranis Australopitècids asimetries hemisfèriques en el lòbul parietal esquerra i frontal dret. Holloway també observa que *Homo habilis* presentaria un creixement incipient de l'Àrea de Broca. *Homo rudolfensis* i

Homo ergaster també mostrarien aquesta lateralització cerebral. Però aquestes evidències no evidencien un llenguatge articulat (Llorente, fabré i Mosquera, 2008). Thot (1985) observa que *Homo erectus* i la seva capacitat per elaborar eines presentarien una dominància manual dreta. Walker i Leakey (1993) troben que l'individu KNM-WT *Homo ergaster* tenia una asimetria postcranial, en la longitud de les extremitats superiors. En *Homo ergaster* també s'ha observat que la petàlia frontal dreta s'estén a lo ample i en canvi la frontal esquerra a lo llarg, i dóna la sensació de que l'hemisferi dret s'hagi desplaçat cap endavant i l'esquerra cap enrere, i de fet aquest patró s'observa en els humans actuals amb una dominància manual dretana (Martín Loeches i Casado, 2008). En *Homo georgicus* les diferències postcranials no són tant clares i es fa difícil veure la pauta de dominància lateral dreta. *Homo heidelbergensis* ja posseïa un aparell fonador i oïda mitja tant moderna com la nostra i aquest és possible que si tingues un llenguatge articulat (Martínez et al., 2004). En *Homo neanderthalensis* s'observa una tendència cap a la dominància lateral dreta i es constata per una asimetria en la longitud dels ossos de les extremitats superiors i espatlla.

La dominància manual també s'ha estudiat a partir del microdesgast dental, és a dir, la utilització de la boca i de les mans en diverses tasques, i el contacte de les dents amb aquests materials pot produir unes marques amb una orientació diagonal sobre la dent, i d'aquesta manera inferir amb quina mà s'hauria pogut fer el moviment per deixar aquesta marca dental. Aquestes marques estan documentades tant en *Homo heidelbergensis*, *Homo neanderthalensis* i *Homo sapiens*. Bermúdez de Castro (1988) identifica estriacions localitzades en els incisius i els canins realitzades per instruments en individus del Pleistocè mitjà. De l'anàlisi dels 19 incisius, Bermúdez de Castro conclou que els subjectes eren dretans. Marina Lozano (2009) torna a evidenciar la preferència manual dretana en l'espècie *heidelbergensis*.

La dominància manual també s'ha analitzat a partir de la indústria lítica i dels seus remuntatges. Toth (1985) comprova una dominància manual dreta en el Pleistocè Inferior i Mitjà, apuntant que fins i tot la lateralització cerebral es va produir entre fa 1.9 i 1.4 milió d'anys. El problema de l'estudi dels remuntatges és que les ascles produïdes pel tallador no sempre poden ser bons referents per a l'estudi de la dominància manual.

Podríem concloure que l'evolució i perfeccionament en l'ús i elaboració de les eines i l'adopció d'una locomoció bípeda podrien afavorir no només el creixement cerebral, si no que també l'especialització hemisfèrica i la preadaptació al llenguatge (Llorente, Fabré i Mosquera, 2008).

5. Conclusions

L'evolució del cervell humà i per extensió les espècies d'homínids han seguit un patró gradual on intervenen les pressions de la selecció promovent mutacions que fan variar el nostre comportament, fins arribar al punt que el nostre comportament també forma part del mecanisme de selecció. Tanmateix, hi ha aspectes en la nostra evolució que podrien portar-nos a pensar que en aquest procés hi ha hagut episodis abruptes donant com a resultat noves capacitats cognitives. Si observem el registre fòssil podrem adonar-nos que realment hi ha hagut un seguit de canvis progressius i lents que finalment han donat lloc a l'explosió cerebral que observem en l'espècie *Homo sapiens*.

- *L'accés ràpid a la proteïna de la carn i la capacitat d'emmagatzemar greix corporal són dos factors precursors de l'augment del volum cerebral.*

L'elaboració de la primera indústria lítica atribuïda a *Homo habilis* permet la introducció de la proteïna de la carn a la dieta dels homínids, a més d'un accés ràpid, provocant la reducció dels intestins i per tant, disminuir l'energia metabòlica necessària per a la digestió, i invertir l'energia sobrant en el cervell afavorint la seva expansió (Aiello i Wheeler, 1995).

L'augment del volum del cervell està estretament lligat a la prolongació de les etapes del desenvolupament i a la criança. Lieberman (2014) proposa que *Homo erectus* a diferència dels ximpanzés, ja mostraria un alentiment de les etapes del desenvolupament, tot i que no podem parlar de l'etapa de la segona infància (un cop els nens deixen de ser alletats i fins l'adolescència) fins l'arribada d'*Homo sapiens*. Igualment, observem que el volum cerebral augmenta al llarg de l'evolució, com també el bipedisme es perfecciona, provocant un canal del part estret que comporta el naixement d'unes cries encara immadures i completament dependents de la mare. Aquestes mares han d'alimentar el seu propi cervell i el dels seus descendents, i a més, hem de tenir en compte que el cervell necessita d'una aportació de glucosa constant. Per aquest motiu Lieberman (2014) proposa que l'emmagatzematge de greix com a estratègia energètica començaria amb l'aparició d'*Homo erectus*. És a dir, el cos a partir d'aquesta espècie creixeria i també ho faria el cervell.

- *Observem una tendència a un augment gradual de l'índex encefàlic.*

L'encefalització és la mida relativa del cervell respecte a la mida corporal d'un individu, calculant el pes encefàlic que hauria de tenir una espècie segons el seu pes corporal (valor esperat) i comparant-lo amb el pes real de l'encèfal. D'aquesta manera podem comparar l'índex encefàlic

humà amb la resta d'espècies. Si l'índex dóna 1 significa que els encèfals tenen la mida que els hi correspon per la mida corporal. Si l'índex és superior a 1 significa que tenen encèfals més grans del valor esperat. Els humans actuals tenim un índex de 2.9 respecte a altres espècies d'homínids.

L'índex encefàlic ha augmentat de forma gradual i plesiomòrfica al llarg de l'evolució amb un augment limitat del cervell fins després dels 600.000 anys on s'observa un salt qualitatiu en la transició d'*Homo ergaster/erectus*, sent el màxim el mostrat per *Homo sapiens*.

- *L'augment del volum cerebral està estretament relacionat amb un desenvolupament vertical al·lomètric, creixement i eixamplament frontal i temporal, i un aplanament occipital amb un desplaçament avançat, i un desenvolupament al·lomètric negatiu de l'àrea parietal inferior augmentant l'àrea parietal superior, reconeguda com l'expansió del parietal, tret autapomòrfic de l'espècie Homo sapiens.*

L'augment del volum cerebral ha estat gradual al llarg del gènere *Homo* arribant al seu màxim exponent *Homo neanderthalensis*. El volum cerebral d'aquesta espècie que va superar el volum dels 1500 cc, representa un cost calòric desorbitat. Podríem pensar que la disminució del volum cerebral i en conseqüència el corporal en *Homo sapiens* és una estratègia adaptativa perquè disminueix l'aportació calòrica i reorganitza i escurça la connectivitat de les àrees cerebrals corticals i subcorticals sobretot de l'àrea parietal i frontoparietal (precuni, solc intraparietal, gir supramarginal i gir angular) sorgint la forma globular pròpia de la nostra espècie (Bruner, 2004).

- *La asimetria cerebral ha estat una estratègia que permet créixer al neocòrtex sense augmentar de forma excessiva el seu volum.*

En el registre fòssil observem que la asimetria es comença a configurar a nivell morfològic des dels Australopitècids però no hi ha prou evidència per considerar una asimetria funcional, ja que és en *Homo sapiens* que observem una especialització poblacional en la dominància de la mà.

La tendència a la asimetria cerebral és una manera d'optimitzar els recursos (Hutsler i Galuske, 2003 en Poza-Rey, 2015) perquè millora l'execució i eficàcia de les tasques cognitives i evita la duplictat de les estructures cerebrals i per tant, de la informació, augmentant així la rapidesa en el processament de la informació.

La coevolució de la lateralització manual i la lateralització cerebral ha estat el substrat per a la fabricació i ús d'eines, de la comunicació i del llenguatge, sent una adaptació prelingüística (Llorente, Fabré i Mosquera, 2008)..

- *L'augment del volum cerebral i la connexió entre els lòbuls parietals i els lòbuls frontals, i per extensió la seva expansió en Homo sapiens és el substrat de l'augment de les capacitats cognitives d'ordre superior.*

La creació de grups socials de major mida i complexitat, i la seva comunicació està relacionat amb la mida del neocòrtex (Aiello i Dunbar, 1993). Podem considerar que *Homo erectus* iniciaria la convivència en grups de major mida i complexitat, si a més tenim en compte el que Shipton (2010) proposa sobre la possible imitació d'aquests homínids i per tant, una incipient capacitat de la Teoria de la Ment. A més, dins aquest aspecte hem de considerar el paper de les neurones mirall (encarregades de la imitació, aprenentatge vicari, comprensió de les emocions i empatia) ubicades en la part inferior del lòbul frontal i parietal i que Arbib (2005) gràcies al sistema de neurones mirall *Homo habilis* hauria estat capaç d'imitar i de reconèixer les intencions dels altres. Els individus de la Sima de los Huesos presenten un increment de massa neural en l'àrea prefrontal que hauria augmentat les connexions en les àrees subjacents i implicades en processos mentals superiors i es podria relacionar amb un augment de la complexitat de les relacions socials, com la pràctica d'enterraments i cura dels malalts (Poza-Rey, 2015)

En les tasques de talla s'activen el lòbul frontal (àrea premotora ventral) com també el gir supramarginal (lòbul parietal inferior) que controla l'acció d'agafar l'objecte i la direcció. Aquesta xarxa neuronal seria una xarxa primitiva que evolucionaria dels primats no humans (Iraki, 2004 en Stout, 2007). Les àrees cerebrals lingüístiques i de la praxis manual que convergeixen en l'àrea de Broca haurien estat fruit d'una exaptació, i per tant, d'una reorganització cerebral (Stout, 2012). En la fabricació d'eines del mode 1 s'observa l'activació el circuit premotor parietal-ventral inferior implicat en el processament fonològic. En el mode 2, associat a *Homo erectus* s'activen les mateixes àrees que pel mode 1 però a més, també s'activa el *pars triangularis* responsable de la capacitat d'abstracció i organització jeràrquica de la semàntica, sintàctica i memòria de treball.

L'elaboració del mode 2 evidencia una comprensió real de l'espai, per la simetria que es pot observar en les peces com els bifaços. Per tant, *Homo erectus* hauria adquirit aquesta capacitat. Fa 500.000 anys, podrien configurar peces asimètriques de forma intencionada (Wynn, 2002). La cognició espacial té una relació estreta amb la percepció aloccèntrica (la capacitat d'adquirir un mapa mental) i es suposa que *Homo erectus* per la seva dispersió geogràfica hauria de tenir aquesta capacitat (Wynn i Coolidge, 2016). Existeixen 2 percepcions més, la corporal que es crea a partir de les retroalimentacions del SNC a través de les vies sensorials i del moviment del propi cos i l'egocèntrica que es defineix com la relació del individu en l'espai i per últim la aloccèntrica,

i totes tres són etapes jeràrquiques en el desenvolupament infantil. Per tant, abans d'arribar a l'etapa aloccèntrica el nen ha d'haver adquirit la corporal i l'egocèntrica. D'alguna manera, si *Homo erectus* era capaç de la percepció aloccèntrica, també ho era de la percepció del seu propi cos i de la relació del seu cos en l'entorn.

El còrtex parietal està relacionat amb el desenvolupament de les representacions de la realitat, i l'origen d'aquestes representacions recau en l'aparició jeràrquica de la indústria lítica, que afavoreix l'externalització del cos, dels sentit i del cervell i per tant, de la representació simbòlica (Iraki, 2011). D'aquesta manera, podríem dir que tant *Kenyanthropus platyops* com *Homo habilis* i la seva habilitat per fabricar eines demostraria una externalització de la mà, i del cos, generant així una imatge corporal que el relaciona amb l'ambient i que canvia les seves coordenades, on el bipedisme també ha estat un factor clau. Però si hi ha una imatge corporal, significa que també es comença a produir un esquema corporal i per tant, estem parlant de la generació del autoconcepte, la percepció que jo tinc de mi mateix referent al medi i a les altres persones. Amb el desenvolupament de la representació simbòlica, aquest autoconcepte pot ser valorat i jutjar les seves intencions (grau d'intencionalitat). Sabem que els ximpanzés arriben fins a un segon nivell en l'ordre de les intencions, per tant, podem suggerir que entre *Homo habilis* i *Homo ergaster* ja existiria la capacitat de saber que és el que pensa un altre i per tant, entendre el comportament del l'altre i el seu objectiu.

Finalment, un cop analitzades les evidències publicades sobre l'evolució del cervell en el nostre gènere podem dir que hi ha dos factors cabdals: l'increment del volum encefàlic i l'organització asimètrica cerebral optimitzant d'aquesta forma els recursos i possibilitant l'augment de les capacitats cognitives.

6. Perspectiva de futur

Hi ha un aspecte que m'ha rondat el cap durant la realització del treball final de grau, tot i no haver-ho treballat explícitament. Que l'humà es defineixi com a l'ésser social per excel·lència, té la seva raó de ser. Si analitzem l'evolució del nostre gènere podem veure com hem tendit a configurar un espai social i cultural molt complexa i a l'hora, un cervell capaç de processar aquesta informació i oferir comportaments adaptables a l'entorn, on l'àrea parietal i frontal està molt implicada. Però en el nostre entorn, també existeixen unes persones que precisament mostren dèficits en les relacions i la comunicació amb els altres, per entendre les intencions dels altres, i que dins la psicologia clínica definim com a incompetents socials. Parlem del Trastorn de l'Espectre Autista. Com deia anteriorment, seguint el neguit que tenia em va portar també a

buscar informació sobre la relació entre l'evolució humana i l'autisme, i vaig trobar un article d'aquest any 2017 "*Widespread signatures of positive selection in common risk alleles associated to autism spectrum disorder*" de Renato Polimanti i Joel Gelernter on conclouen que les variants gèniques que predisposen al trastorn haurien estat seleccionades de forma positiva perquè ens ofereixen avantatges adaptatives, ja que les mateixes variants gèniques estan implicades en el desenvolupament cerebral. Una hipòtesi neurobiològica considera que el dèficit del trastorn és degut a una disfunció del Sistema de Neurones Mirall, i per aquest motiu crec que el desenvolupament d'aquest sistema ha estat també cabdal en l'evolució del nostre gènere i que ens pot aportar encara molta informació de per què som com som.

7. Bibliografía

- Abril, A.A., Ambrosio, E., et al. (2001). Fundamentos biológicos de la conducta. Ed. Sanz y Torres. Madrid.
- Arsuaga, J. L., Martínez, I., Arnold, L. J., et al. (2014). Neandertal roots: Cranial and chronological evidence from Sima de los Huesos. *Science*, 344(6190), 1358-1363.
- Benítez-Burraco, A. (2007). La evolución del volume cerebral y la aparición del lenguaje: aspectos moleculares. *Revista Española de Antropología Física*. 28, 1-17.
- Broadfield, DC., Holloway, RL., Mowbray, K., et al (2001) Endocast of Sambungmacan 3 (Sm3): A new Homo erectus from Indonesia. *Anatomical record* 262(4), 369-379.
- Bruner, E., Manzi, G., & Arsuaga, JL. (2003). Encephalization and allometric trajectories in the genus Homo: Evidence from the Neandertal and modern lineages. *PNAS*. 100 (26), 15335-15340.
- Bruner, E (2004). Geometric morphometrics and paleoneurology: brain shape evolutions in the genus Homo. *Journal of Human Evolutions*. 47(5), 279-303.
- Bruner E. & Holloway R. (2010) A bivariate approach to the widening of the frontal lobes in the genus Homo. *Journal of Human Evolution*, 58(2), 138-146
- Bruner, E. (2010). Morphological differences in the parietal lobes within the human genus. *Current anthropology*. 51(S), S77-S88.
- Bruner, E. (2012) La evolución cerebral de los homínidos. *Investigación y ciencia*. 425, 68-76
- Bruner, E., & Lozano, M. (2014). Extended mind and visuo-spatial integration: three hands for the Neandertal lineage. *Journal of Anthropological Sciences*, 92, 273-280.
- Bruner, E., Grimaud-Herve, D., Wu, X., et al. (2015). A paleoneurological survey of Homo erectus endocranial metrics. *Quaternary International* 368, 80-87
- Bruner, E., Pisova, H., Martin-Frances, L., et al. (2017). A human parietal fragment from the late Early Pleistocene Gran Dolina-TD6 cave site, Sierra de Atapuerca, Spain. *Comptes Rendus Palevol*. 16(1), 71-81.
- Clark, G., Henneberg, M. (2017). Ardipithecus ramidus and the evolution of language and singing: An early origin for hominin vocal capability. *Homo-Journal of Comparative Human Biology*. 68 (2), 101-121.

D'Errico, F., Henshilwood, C., Larsson, G. et al. (2003). Archaeological evidence for the emergence of language, symbolism, and music – An alternative multidisciplinary perspective. *Journal of World Prehistory*. 17(1), 1-70.

Estalrich, A., & Rosas, A. (2015). Division of labor by sex and age in Neandertals: an approach through the study of activity-related dental wear. *Journal of Human Evolution*. 80, 51-63.

Falk, D., Hildebolt, C., Smith, K., et al. (2005) The Brain of LB1 Homo floresiensis. *Science*, 308(5719), 242-245

Falk, D., Hildebolt, C., Smith, K., et al (2007) Brain shape in human microcephalics and Homo floresiensis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(7), 2513-2518

Falk, D. (2014). Interpreting sulci on hominin endocasts: old hypotheses and few findings. *Frontiers in Human Neuroscience*. 8, 134

Harmand, S., Lewis, JE., Feibel CS., et al. (2015). 3.3-million-year-old stone tools from Lomekwi 3, West Turkana, Kenya. *Nature*. 521 (7552), 310.

Hogberg, A., Gardenfors, P., Larsson, L. (2015). Knowing, learning and teaching: How homo become docens. *Cambridge Archaeological Journal*. 25(4), 847-858.

Holloway, RL., Clarke, RJ., Tobias, PV. (2004). Posterior lunatic sulcus in Australopithecus africanus: was Dart right?. *Comptes Rendus Palevol*. 3(4), 287-293

Hortolà, P., & Martínez-Navarro, B. (2013) The Quaternary megafaunal extinction and the fate of Neanderthals: An integrative working hypothesis. *Quaternary International*, 295, 69-72.

Hublin, JJ., Neubauer, S., Gunz, P. (2015). Brain ontogeny and life history in Pleistocene hominins. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*. 370(1663).

Iriki, A., Taoka, M., et al (2012). Triadic (ecological, neural, cognitive) niche construction: a scenario of human brain evolution extrapolating tool use and language from the control of reaching actions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*. 367(1585), 10-23.

Leslie C. Aiello & Wheeler, P. (1995). The expensive-Tissue Hypothesis: The brain and the digestive system in human and primitive evolution. *Current Anthropology*. 36(2), 199-221.

Lieberman, DE. (2014). La historia del cuerpo humano. Ed. Pasado y presente. Madrid.

- Lozano, M., & Rodríguez, XP. (2010). D'on venim? L'origen de l'*Homo sapiens*. Ed. Rafael Dalmau. Barcelona.
- Llorente, M., Fabré, M. & Mosquera, M. (2008). Lateralizaci  cerebral en chimpancés: una aproximació filogen tica al estudio del cerebro humano, *Estudios de Psicolog *, 29(2), 147-161.
- Martín-Loeches, M., & Casado, P. (2008). La evolució del cerebro en el género *Homo*: la neurobiolog  que nos hace diferentes. *Revista de Neurolog *. 46 (12), 731-741.
- Martínez, I., Rosa, M., Arsuaga, JL. et al. (2004). Auditory capacities in Middle Pleistocene humans from the Sierra de Atapuerca in Spain. *PNAS*, 101(27), 9976-9981.
- Martínez, I., Arsuaga, J. L., Quam, R., Carretero, J. M., Gracia, A., & Rodríguez, L. (2008). Human hyoid bones from the middle Pleistocene site of the Sima de los Huesos (Sierra de Atapuerca, Spain). *Journal of Human Evolution*, 54(1), 118-124.
- Mc Brearty & Brooks, AS. (2000). The revolution that wasn't: a new interpretation of the origin of modern human behaviour. *Journal Human Evolution*, 39(5), 453-563.
- Meyer, M., Fu, Q., Aximu-Petri, A., et al (2014). A mitochondrial genome sequence of a hominin from Sima de los Huesos. *Nature*, 505(7483), 403.
- Pringle, H. (2013). Los orígenes de la creatividad. *Investigación y ciencia*. 440, 18-25
- Rightmire, GP. (2004). Brain size and encephalization in early to mid-Pleistocene Homo. *American Journal of Physical Anthropology*. 124(2), 109-123.
- Poza-Rey, E. (2015). Estudio del encéfalo de los homínidos del yacimiento de La Sima de los Huesos (Atapuerca, Burgos), a partir del an lisis de sus moldes endocraniales (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
- Semendeferi, K., Lu, A., Schenker, N., Damasio, H. (2002). Humans and great apes share a large frontal cortex. *Nature Neuroscience*. 5, 272-276.
- Serrano, R. (2012). Patrones y tendencias en la encefalizaci  del g nero Homo. *Arqueolog  y territorio*. 9, 1-17
- Stout, D., Chaminade, T. (2007). The evolutionary neuroscience of tool making. *Neuropsychologia*. 45(5), 1091-1100.
- Stout, D., & Chaminade, T. (2012). Stone tools, language and the brain in human evolution. *Philosophical transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*. 367(1585), 75-87.

Wu, X., Holloway, R., Schepartz, L., et al (2011). A new brain endocast of Homo erectus from Hulu Cave, Nanjing, China. *American Journal of Physical Anthropology*. 145(3), 452-460

Wynn, T. (1979). The intelligence of later Acheulian hominid. *MAN*, 14(3), 371-391.

Wynn, T. (2003). Archaeology and cognitive evolution. *Behavioral and brain sciences*. 25(3), 389-438.

Wynn, T., Overmann, K., Coolidge, F., et al (2016). The false dichotomy: a refutation of the Neandertal indistinguishability claim. *Journal of Anthropological Sciences*. 94, 201-221.

Wynn, T., & Coolidge, FL. (2016). Archaeological insights into hominin cognitive evolution. *Evolutionary Anthropology*. 25(4), 200-213.

8. Webgrafia

SMITHSONIAN:

<http://humanorigins.si.edu/evidence> (Data de consulta: 10 de maig de 2017).

PSICOLOGIA Y MENTE:

<https://psicologiaymente.net/neurociencias/partes-cerebro-humano> (Data de consulta: 10 de maig de 2017).

MONOGRAFIAS:

<http://www.monografias.com/trabajos93/meninges/meninges.shtml> (Data de consulta: 12 de maig de 2017).

Universitat Autònoma de Barcelona:

http://liceu.uab.es/~joaquim/phonetics/fon_produccio/bases_neurofisiologicas_produccion.html (Data de consulta: 12 de maig de 2017).

PSICOACTIVA:

<https://www.psicoactiva.com/atlas/corteza-cerebral.htm> (Data de consulta: 15 de maig de 2017)

CERTATERM:

<http://www.termcat.cat/ca/Cercaterm/> (Data de consulta: 8 de juny de 2017)

9. GLOSSARI

Aracnoide: capa intermèdia que protegeix el Sistema Nerviós Central, situada entre la duramàter i la piamàter. Encarregada de la distribució del Líquid cefaloraquídi que corre en l'espai subaracnoïdal.

Arcs supraciliars: són una cresta òssia de l'ós frontal del crani ubicada sobre les orbites de tots els primats. En els humans correspon a les celles.

Àrea de Broca: àrea motora del llenguatge que controla l'articulació de la parla. Correspon a l'àrea 44 de Brodmann. Situada als dos terços de la circumvolució frontal inferior de l'hemisferi esquerra. Les lesions en aquesta àrea produeixen l'afàsia motora.

Àrea de Wernicke: àrea sensitiva del llenguatge encarregada de controlar la comprensió del llenguatge. Localitzada en la zona posterior de la circumvolució temporal. Correspon a l'àrea 41 i 42 de Brodmann. Les lesions en aquesta àrea produeixen l'afàsia sensorial.

Àrees de Brodmann: Definides per Korbinian Brodmann a inicis del segle XX. Són 52 àrees i 11 regions del còrtex cerebral diferenciables per les seves capes cel·lulars i connexions, identificades amb un número i que corresponen amb les àrees corticals funcionals.

Al·lometria: és l'estudi dels canvis de dimensió relativa de les parts corporals correlacionades amb els canvis en la mida total. Creixement diferencial de diferents parts del cos, per tant, el creixement relatiu. Exemple: braços i cames d'un humà creixen a una taxa més alta que el tors, entre el creixement d'una àrea.

Apomorfia: caràcter derivat d'un estat ancestral.

Autapomorfia: caràcter diferent i propi d'un sòl taxó. Apomorfia exclusiva d'un taxó.

bulb raquídi: part inferior del tronc de l'encèfal, situat entre la protuberància i la medulla espinal. Forma part del tronc de l'encèfal juntament amb el mesencèfal i la protuberància. Implicat en la regulació de les funcions vitals com la respiratòria, circulatòria i equilibri.

Capa periòstica: membrana fibrosa forma per teixit connectiu, vasos sanguinis i nervis que recobreix els ossos en la seva cara externa, excepte els punts on s'incrusten els cartílags i tendons.

Cerebel: àrea de l'encèfal localitzada en la regió posteroinferior de la craniana. Cobreix la cara dorsal de la protuberància i del bulb raquidi. Participa en el control, la planificació i la correcció de l'activitat motora voluntària.

Circumvolució cerebral: plectes que presenten curvatures en la superfície cerebral limitades pels girs i les cissures.

Circuit cortico-tàlem-estriat: s'inicia en les regions del còrtex cerebral que es relaciona amb el control dels moviments i es dirigeix a la porció motora del putamen a partir d'una via. Des del putamen surten vies en direcció al globus pàl·lid, a la substància nigra, al nucli subtalàmic i el tàlem. Des d'aquest nucli torna al circuit a l'àrea motora suplementària i a l'àrea premotora. És un circuit organitzat per a la retroalimentació.

Cissura de Silvio: cissura quasi horitzontal que separa la superfície externa dels hemisferis del lòbul temporal dels lòbuls frontal i parietal.

Cissura de Rolando: cissura que separa els lòbuls frontal i occipital.

Cissura parieto-occipital: cissura que separa els lòbuls parietal i occipital.

Contralateral: en llocs oposats de l'organisme.

Còrtex cerebral: capa superficial que recobreix els dos hemisferis cerebrals, format pels cossos de les neurones (substància gris) i plegat en circumvolucions separades pels solcs. En el còrtex cerebral es situen diverses àrees especialitzades: zona motora, àrea psicomotora, localitzacions sensitives, localitzacions sensorials, centres del llenguatge i centres del sistema nerviós vegetatiu.

Còrtex motor: àrea del còrtex situada davant de la cissura central, en el lòbul frontal, i encarregada de l'activació dels músculs que participen en les activitats motores com per exemple l'articulació de la parla.

Còrtex premotor: àrea cortical localitzada a la superfície lateral dels hemisferis en l'àrea motora primària. Té la funció de participar en la planificació d'estratègies motores i en la iniciació i el control del moviment.

Còrtex somatosensorial: localitzada en el gir postcentral del lòbul parietal, on es reconeixen, organitzen i integren les sensacions provinents de les diferents parts del cos.

Còrtex visual: àrea cortical de la regió occipital dividida en àrees visuals primàries, àrees visuals secundàries i àrees visuals d'associació. Té la funció de processar els estímuls visuals procedents de la retina.

Diencèfal: part central del cervell anterior, envoltada dels hemisferis cerebrals. Constituint pel tàlem, l'epitàlem, el subtàlem i l'hipotàlem.

Duramàter: és la més externa i gruixuda de les tres meníngies que envolten l'encèfal i la medulla.

Epiteli olfactivu: part del sistema olfactivu responsable de la detecció de les olors. És un teixit epitelial dins la cavitat nasal. La seva grandària pot indicar l'agudes olfactiva de l'animal.

Falx cerebri: també anomenat falç del cervell. Prolongació de la duramàter de forma corbada situat entre els dos hemisferis, va des de l'àrea frontal a l'occipital.

Foramen màgnum: orifici situat a la part posteroinferior del crani (base del crani). Comunica la cavitat cranial amb el conducte raquidi per donar pas al bulb raquidi.

Ganglis basals: formats per la substància gris estan situats en la base del cervell. Està connectat amb el còrtex cerebral, el tàlem i el tronc de l'encèfal.

Gir angular: regió del cervell situat en el lòbul parietal, prop del lòbul temporal superior, i posteriorment a la circumvolució supramarginal. Implicat en processos lingüístics, matemàtics i cognitius.

Gir supramarginal: és una circumvolució del cervell localitzat en la zona inferior del lòbul parietal.

Hipermorfosis: prolongació de l'ontogènia d'un caràcter per retard de la maduració.

Hipotàlem: part del diencèfal. Forma el sòl i paret lateral del tercer ventricle. Encarregat de l'homeòstasi corporal, i centre d'integració dels impulsos motors que produeixen l'expressió emocional. Intervé també en la termoregulació, metabolisme, activitats sexual, sensació de fam i regulació endocrina.

Hipertrofia neomòrfica: desenvolupament excessiu o augment desmesurat d'una forma mutant que té una acció nova respecte a la forma estàndard.

Hipocamp: estructura formada per substància grisa localitzada en el lòbul temporal dels dos hemisferis. Implicada en l'emmagatzematge d'informació i en la memòria.

Innervació: distribució dels nervis en un òrgan o en una regió anatòmica.

Ipsilateral: del mateix costat de l'organisme.

Lordosis: curvatura de la columna vertebral. Hi ha una lordosi normal en les regions cervicals i lumbar. També és un mot que pot indicar una patologia en cas de que la curvatura sigui exagerada.

Meninges: capes o membranes de teixit conjuntiu que envolten l'encèfal i la medul·la espinal per a la seva protecció.

Mesencèfal: estructura superior del tronc de l'encèfal. Uneix la protuberància i el cerebral amb el diencèfal.

Metencèfal: part del cervell embrionari situat al romboencèfal. Formarà la protuberància, el bulb raquidi i el cerebel.

Mielencèfal: primera vesícula de l'encèfal embrionari i originat per la part posterior del romboencèfal i que posteriorment donarà lloc al bulb raquidi i la part inferior del quart ventricle.

Petàlia: és la disposició dels lòbuls frontal i occipital respecte als altres dos. És una prominència que aporta informació sobre la asimetria cerebral.

Piamàter: la capa meníngia més interna.

Placa cribiforme: és una fina capa d'ós que es situa dins de l'etmoide de la regió orbital. Té un paper en la funció olfactiva i sensorial.

Plesiomorf: estat primitiu (ancestral) d'un caràcter.

Precuni: àrea mitja del còrtex parietal superior.

Prognatisme facial: la mandíbula sobresurt del rostre.

Prosencèfal: regió anterior de l'encèfal embrionari que originarà el telencèfal i el diencèfal.

Protuberància: part central del tronc de l'encèfal.

Regió orbito-frontal: o còrtex orbitofrontal. Àrea del lòbul frontal situat a sobre de les orbites, i relacionada amb processos cognitius com la presa de decisions.

Romboencèfal: vesícula embrionària derivada del tub neural i que dóna lloc al metencèfal i al mielencèfal.

Sinapomorfia: caràcter apomorf compartit per dos o més taxons.

Sistema endocrí: sistema format per les glàndules i estructures que fabriquen hormones i les aporten a la sang.

Sistema límbic: formacions anatòmiques situades a la cara interna dels hemisferis cerebrals. Es componen per l'hipocamp, l'amígdala, la circumvolució callosa i el cos bolla, i envolten els ganglis de la base del cervell i del tronc de l'encèfal, formant el cervell primitiu. Regula l'estat emocional, l'aprenentatge, la memòria, la motivació. També intervé en la recepció de les sensacions olfactivas, en el Sistema Nervios Autònom i en el Sistema Endocrí.

Sistema Nervios Autònom: subdivisió del sistema nervios. Regula les funcions vitals dels òrgans interns viscerals. Es divideix en 3 sistemes: sistema nervios simpàtic, sistema nervios parasimpàtic i sistema nervios entèric.

Sistema Nervios Parasimpàtic: subdivisió del sistema nervios autònom. S'encarrega de la recuperació i la conservació de l'estat de repòs i equilibri de l'organisme.

Sistema vascular diploic: sistema vascular intern del crani.

Solc intraparietal: solc transversal situat a la superfície externa del lòbul parietal. Separa el lòbul parietal superior del lòbul parietal inferior.

Solc lunar: situat en el còrtex visual

Tàlem: estructura formada per substància gris situada en el diencèfal. S'encarrega de filtrar i processar la informació que es dirigeix al còrtex cerebral.

Telencèfal: zona anterior de l'encèfal. Conté vesícules. En el desenvolupament embrionari dona lloc als hemisferis, bulb raquidi i ganglis basals.

Tentorium: o tenda del cerebel. Prolongació de la duramàter que divideix la cavitat cranial en dos compartiments: un superior ocupat pel cervell i un inferior ocupat pel cerebel i tronc de l'encèfal.

Torus supraorbital: projecció òssia prominent situada sobre les orbites.

Tub neural: estructura tubular formada per la invaginació de la placa neural durant el desenvolupament embrionari. A partir del tub neural sorgirà el sistema nervios central.