

En col·laboració amb:



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

PROJECTE
FORCES

FOMENT DE LA RECERCA EN
CENTRES DE SECUNDÀRIA

Diferències esquelètiques entre ximpanzés i humans

Recerca en Anatomia Comparada de Primats



Amarus Miller

Res té sentit en biologia
si no és a la llum de l'evolució...
(Theodosius Dobzhansky)

Índex

1. Introducció	1
1.1 Context històric	1
1.2 Filogènia i evidències científiques	2
1.2.1 Filogènia	2
1.2.2 Fenòmens de divergència, radiació i convergència	4
1.2.3 Estimacions temporals: el rellotge molecular	6
1.2.4 Evidències científiques	6
2. Objectius	8
2.1 Objectiu general	8
2.2 Objectius específics.	8
2.3 Hipòtesi.	8
3. Marc teòric.	10
3.1 La importància del context de les restes en l'estudi osteològic.	10
3.2 Tècniques d'imatge per a l'estudi osteològic	11
3.2.1 Tecnologia 2D i 3D.	11
3.2.2 TAC i RM	12
3.2.3 Estudi d'elements finits	13
3.2.4 Morfometria Geomètrica.	13
3.3 Disciplines principals	14
3.3.1 Geologia	14
3.3.2 Genètica	14
3.3.3 Embriologia	15
3.3.4 Osteologia	15
3.4 Conceptes bàsics	15
3.4.1 Què és l'evolució?	15
3.4.2 Selecció natural	16
4. Material i mètodes	17
4.1 Material	17
4.2 Mètode	18
5. Resultats	20
5.1 Resultats de l'anàlisi metodològic: part qualitativa	23
5.2 Resultats de l'anàlisi metodològic: part quantitativa	33
5.3 Càlcul de l'error intra-observador	37
6. Discussió	40
7. Conclusions.	47
8. Agraïments	50
9. Bibliografia.	51
10. Webgrafia	55
Annexos	56

Resum

Diferències esquelètiques entre ximpanzés i humans és un treball de recerca que busca entendre les diferències i similituds entre humans i ximpanzés. S'investiguen les causes que les originen i les conseqüències que se'n deriven. A partir d'una hipòtesi inicial -entre els ossos d'humans i ximpanzés no existeixen diferències significatives- es va dissenyar una metodologia basada en dues parts: una qualitativa i una altra quantitativa. La primera engloba el muntatge de tres esquelets (un home, una dona i una ximpanzé), la identificació i estudi visual dels ossos, mentre que la segona tracta les diferents mesures preses del crani i la mandíbula, útils per validar les observacions qualitatives.

Els resultats obtinguts que mostren les conseqüències de múltiples factors com el bipedisme, l'encefalització, la genètica o la epigenètica aconsegueixen concloure l'objectiu principal de l'estudi: buscar diferències i semblances entre *Homo sapiens* i *Pan troglodytes*.

Paraules clau

Anatomia comparada, osteologia, tècniques d'anàlisi, evolució humana

Resumen

Diferencias esqueléticas entre chimpancés y humanos es un trabajo de investigación que busca entender las diferencias y similitudes entre humanos y chimpancés. Se investigan las causas que las originan y las consecuencias que se derivan. A partir de una hipótesis inicial -entre los huesos de humanos y chimpancés no existen diferencias significativas- se diseñó una metodología basada en dos partes: una cualitativa y otra cuantitativa. La primera engloba el montaje de tres esqueletos (un hombre, una mujer y una chimpancé), la identificación y estudio visual de los huesos, mientras que la segunda trata las diferentes medidas tomadas del cráneo y la mandíbula, útiles para validar las observaciones cualitativas.

Los resultados obtenidos que muestran las consecuencias de múltiples factores como el bipedismo, la encefalización, la genética o la epigenética consiguen concluir el objetivo principal del estudio: buscar diferencias y semejanzas entre *Homo sapiens* y *Pan troglodytes*.

Palabras clave

Anatomía comparada, osteología, técnicas de análisis, evolución humana

Abstract

Research in Comparative Anatomy of Primates Chimpanzees and humans skeletal differences is a research work which seeks to understand the differences and similarities between humans and chimpanzees. The causes that originate them and the consequences that arise are investigated. Starting from an initial hypothesis - there are no significant differences between the bones of humans and chimpanzees - a methodology based on two parts was designed: one qualitative and the other quantitative. The first includes the assembly of three skeletons (a man, a woman and a chimpanzee), the identification and visual study of the bones, while the second deals with the different measurements taken of the skull and the jaw, useful to validate qualitative observations.

The results obtained which show the consequences of multiple factors such as bipedalism, encephalization, genetics or epigenetics manage to conclude the main objective of the study: to look for differences and similarities between Homo sapiens and Pan troglodytes.

Key words

Comparative anatomy, osteology, analysis techniques, human evolution

1. Introducció

1.1 Context històric

Des que els nostres avantpassats van tenir ús de raó es van preguntar sobre el seu origen i el perquè de ser com eren. El seu afany per respostes i el seu esperit curiós van ser les inspiracions que els van guiar. Així, amb els mitjans que comptaven en les seves èpoques, van voler trobar una resposta definitiva a aquestes dues grans qüestions. Al llarg d'aquest apartat realitzaré un petit resum històric de les teories que fonamenten el marc teòric del meu treball:

En primer lloc, Isaac Newton va explicar en el seu *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687) que tota aquesta diversitat de coses naturals que trobem adaptades a diferents temps i llocs no podria sorgir de res més que de les idees i la voluntat d'un ésser, necessàriament existent (Kováč, 2019).

Temps després, en la "Crítica del judici", s. XVIII, Kant va exposar que el caràcter irreductible especial dels organismes consisteix en que, almenys aparentment i a diferència dels inanimats, els éssers vius se'ns mostren com a sistemes auto organitzats (Nuño de la Rosa i Etxeberria, 2010). Kant va suposar que les espècies superiors evolucionen a partir de les inferiors, però no va poder veure com es desenvoluparien les espècies inferiors a partir de la matèria desorganitzada (Kováč, 2019).

Més tard, va sorgir la que és la primera teoria general de l'evolució de la vida. Aquesta va ser presentada per Jean Baptiste Lamarck en 1809 en el seu llibre *Philosophie Zoologique*. Els organismes simples es generen espontàniament a partir de matèria inanimada i evolucionen cap a uns altres més complexos. Aquesta tendència intrínseca cap a una major complexitat es veu reforçada per una força adaptativa: l'entorn crea necessitats a les quals els organismes responen utilitzant característiques, que després s'accentuen o atenuen amb l'ús i el desús (Kováč, 2019).

En la primera meitat del s. XIX, Alfred Russel Wallace i Charles Darwin van desenvolupar una de les més importants idees evolutives: la selecció natural. Darwin va publicar la seva teoria en 1859 en el seu llibre sobre l'origen de les espècies per mitjà de la selecció natural. Va proposar que els organismes millor adaptats al seu entorn (mitjà i clima) serien els que aconseguirien transmetre el seu material genètic a la següent generació (Kováč, 2019).

En 1866, Gregor Mendel va publicar la seva teoria sobre l'herència, però els experts no es van adonar de la seva importància fins a 1900 (Kováč, 2019). Un any després, en 1867, Rudolf Clausius va formular la segona llei de la termodinàmica, les implicacions fonamentals de la qual per a la biologia es van fer clares només un segle després (Kováč L., 2019).

Posteriorment, Darwin va publicar la seva pròpia teoria de l'herència en 1868, cridant-la pangènesi (Kováč L., 2019). La suposició essencial de la pangènesi és l'existència de partícules o molècules heretades anomenades gèmmules i la seva producció per les cèl·lules en cada etapa de desenvolupament (Liu Y., 2018). Va proposar que les gèmmules s'agregarien en les gònades per a aportar informació hereditària als gàmetes. Darwin va pensar que els efectes ambientals que alteraven les característiques alterarien les gèmmules, que després serien transferides a la descendència (Kováč, 2019).

Mig segle més tard, en 1940, va néixer la teoria sintètica o neodarwiniana: La combinació de la teoria de l'evolució de Charles Darwin amb els principis de la genètica mendeliana. Finalment, es va desenvolupar la teoria neutral unificada en 2001. Va haver-hi i continua havent-hi molta discussió sobre aquesta teoria, a favor i en contra. La hipòtesi de l'equivalència ecològica és la idea fonamental però controvertida i discutida darrere de la teoria neutral. Es basa a assumir que espècies tròficament similars són demogràficament similars (simètriques) (Stephen P. Hubbell, 2006).

1.2. Filogènia i evidències científiques

Aquest apartat té una finalitat doble. D'una banda, introduir el concepte de filogènia, que és molt important a l'hora de decidir estudiar dues espècies emparentades. D'altra banda, mostrar les evidències científiques que existeixen per a recolzar el tipus d'estudi que serà realitzat de manera pràctica.

1.2.1 Filogènia

La filogènia és la part de la biologia que s'ocupa de les relacions de parentiu entre els diferents grups d'éssers vius. Estudia la derivació d'uns organismes a partir d'uns altres i les relacions que tenen aquests entre si (Biodic). Una vegada publicat "L'origen de les espècies" per Charles Darwin va sorgir un afany per conèixer la història evolutiva de les espècies. La filogènia va néixer amb aquest propòsit: conèixer les relacions evolutives (analitzant la distribució dels caràcters dels tàxons). Per a aconseguir aquesta meta, científics evolucionistes van plantejar un mètode gràfic per a visualitzar, a partir d'homologies i genomes seqüenciats, els enllaços biològics: l'arbre filogenètic (Figura 1). L'arbre filogenètic es un diagrama en forma d'arbre que il·lustra amb les seves ramificacions descendències i grups emparentats (CurtisBiología). En aquest, els genomes haploides existents (tàxons) corresponen a les fulles dels arbres, mentre que els vèrtexs interns corresponen a hipotètics tàxons ancestrals. (Bonnie Kirkpatrick & Kristian Stevens, 2014). És a dir, aquests vèrtexs o nodes interns representen hipotèticament ancestres comuns (Van Iersel et al, 2019).

La mutació és el procés primari en aquests arbres, i cada branca representa mutacions històriques (Bonnie Kirkpatrick i Kristian Stevens, 2014). Per a instaurar les relacions evolutives entre les espècies, s'estudien diverses característiques, entre elles estan: l'ADN, l'anatomia i la morfologia. Comparant les semblances i diferències d'aquestes característiques entre éssers vius s'aconsegueix concretar la seva filogènia.

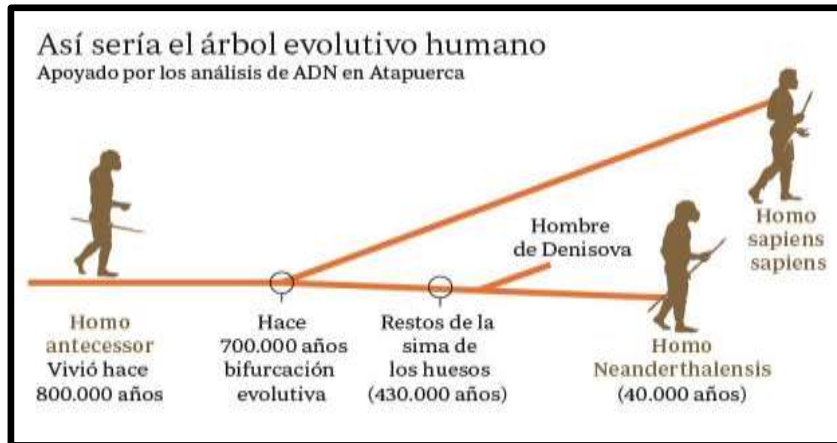


Figura 1. Arbre filogenètic humà construït a partir d'anàlisi d'ADN a Atapuerca (Imatge extreta d'Abc.es, 2016)

Com s'ha explicat amb anterioritat, per a establir relacions evolutives clares entre espècies s'utilitza l'arbre filogenètic. Aquest contempla la durada dels llinatges i els canvis evolutius establint la seva cronologia.

No obstant això, existeix un altre mètode de classificació acceptat conegut com cladística. La cladística és un sistema per a ordenar tàxons mitjançant anàlisis de caràcters primitius i derivats, de manera que l'ordenació reflecteixi relacions filogenètiques (Dicciomed.usal.es). La diferència amb la filogènia és que la cladística ordena i agrupa espècies únicament buscant caràcters derivats compartits (sinapomorfies). Aquesta crea hipòtesis, a partir de trets fisiològics i morfològics, sobre suposades relacions entre espècies i esdeveniments de cladogènesi -el desdoblament d'un llinatge evolutiu en dos o més llinatges separats-. És un dels principals patrons de canvi macroevolutiu; conegut també com a evolució per ramificació, partició o divisió (CurtisBiologia). La seva forma de classificació d'espècies es basa en clades, que són grups o tàxons formats per una sola espècie i tots els seus descendents formant una sola branca (Dicciomed.usal.es).

1.2.2 Fenòmens de divergència, radiació i convergència

El següent apartat pretén explicar fenòmens biològics que ens mostren com s'han separat al llarg de la història evolutiva les diferents espècies.

Dos dels fenòmens que tenim que entendre són: la divergència i la convergència adaptatives. La divergència explica que les espècies poden evolucionar de formes molt diverses per a adaptar-se a entorns diferents tenint un ancestre comú. S'anomena "radiació" a les divergències que succeeixen en conjunt. La convergència adaptativa és un procés d'adquisició d'adaptacions equivalents que es dona en dues o més poblacions que es veuen sotmeses a pressions selectives similars (CurtisBiologia). Si la convergència es manté de generació en generació en dues o més espècies es parla "d'evolució paral·lela".

Altres dels conceptes fonamentals que s'ha d'entendre per poder comprendre l'evolució són "els caràcters biològics". Els caràcters biològics poden ser de dos tipus:

- a) Caràcters compartits: els caràcters que comparteixen dues espècies diferents es denominen "caràcters compartits". No obstant, que un caràcter sigui compartit no implica directament parentiu. A aquests caràcters compartits o semblances se'ls coneix com "homoplàxies" o "analogies", que es tracten d'adaptacions adquirides independentment. Aquestes característiques no pertanyen a un avantpassat comú, sinó que van sorgir en moments diferents (com a resposta a una mateixa pressió ambiental i climàtica).
- b) Caràcters homòlegs: els caràcters homòlegs són els que s'hereten d'un antecessor comú.

Tipus de caràcters homòlegs (Figura 2):

- Plesiomorfes: caràcters primitius que comparteixen diferents espècies per heretar-ho de l'avantpassat comú (Dicciomed.usal.es).

- Simplesiomorfes: conjunt d'expressions de caràcters primitius compartits per dos o més tàxons (Dicciomed.usal.es).

- Apomorfes o caràcters derivats: caràcter derivat, de nova formació, que no es comparteix amb l'espècie ancestral (Dicciomed.usal.es).

- Sinapomorfes: el fet de compartir un caràcter dos o més grups taxonòmics per derivar d'una forma ancestral comuna (Dicciomed.usal.es).

- Autapomorfes: característiques úniques d'un organisme (Dicciomed.usal.es).

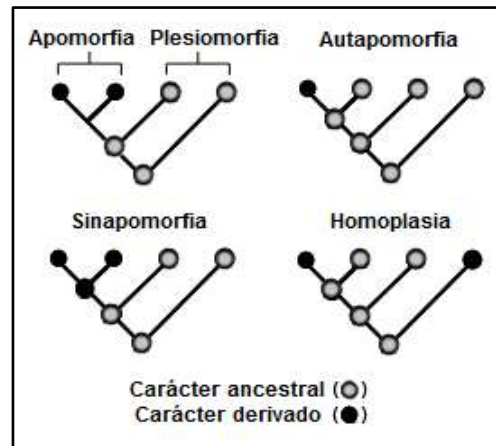


Figura 2. Gràfics sobre els diferents caràcters homòlegs (Imatge extreta i adaptada de Molecular evolution: a phylogenetic approach, Roderick D.M. Page i Edward C. Holmes, 1991)

Els organismes a nivell biològic també es poden separar per grups sobre la base dels seus ancestres comuns (Figura 3):

- Monofilètics: conjunt d'espècies que inclou l'ancestre comú i tots els seus descendents (CurtisBiologia).

- Parafilètics: Subconjunt d'espècies descendents d'un ancestre comú. Un grup parafilètic inclou l'espècie ancestral i només alguns dels seus descendents (CurtisBiologia).

- Polifilètics: conjunt d'espècies descendents de més d'un ancestre comú. Un grup polifilètic no inclou l'ancestre comú de tots ells (CurtisBiologia).

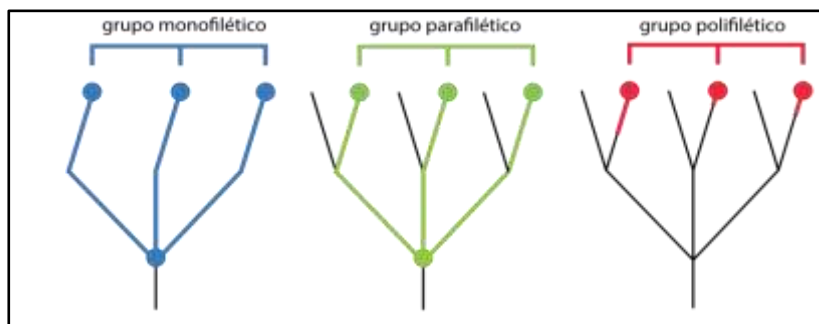


Figura 3. Comparació de grups monofilètics, parafilètics i polifilètics (Dibuixat a partir de Deep phylogeny, ancestral groups and the four ages of life, Thomas Cavalier-Smith, 2010)

1.2.3. Estimacions temporals: el rellotge molecular

A partir del descobriment de Darwin, molts científics es van dedicar a analitzar i classificar diverses espècies. Dins d'aquesta classificació, van intentar trobar la manera de datar especiacions i llinatges. Fins fa poc, l'única manera de fer-ho era a través d'anàlisis estratigràfiques i mètodes absoluts de datació en restes fòssils. Aquests, proporcionaven una cronologia molt àmplia i no massa exacte. No obstant això, gràcies a l'estudi de la genètica, es va poder desenvolupar, fa relativament poc, un sistema per a intentar escurçar i ser més precís en els rangs de temps d'estudis fòssils: el rellotge molecular.

El sistema del rellotge molecular calcula diferències entre seqüències d'ADN (o proteïnes) entre espècies pròximes o en la mateixa espècie (Paz-y-Miño, 2018). Es seqüencia l'ADN o les bases proteíniques de les espècies requerides i es realitza el mateix procés amb un descendent actual. En realitzar aquesta comparació s'observa quina de les espècies és més antiga i s'estableix una cronologia. Una vegada fet això, és necessari l'ús de tècniques de datació relativa i absoluta per a conèixer millor la velocitat de canvi dels gens. Serà més precís el càlcul evolutiu si es tenen registres fòssils coneguts en espai i temps, ja que és una manera de corroborar i donar validesa a la prova molecular. (Paz-y-Miño, 2018)

A més, pot ajudar a saber que durant llargs períodes de temps la taxa de canvis en alguns nucleòtids neutres és directament proporcional al temps transcorregut, si les mesures es limiten a gens adequats i a llinatges molt emparentats (Lawrence, 2003), per la qual cosa coneixent el nombre total de canvis, podria conèixer-se la durada del llinatge.

1.2.4. Evidències científiques

Per a donar validesa a qualsevol teoria científica és necessari trobar proves o evidències. Amb la teoria de l'evolució biològica succeeix el mateix: durant dècades es van buscar indicis que provessin la seva autenticitat. Aquestes evidències són de tipus: homològiques, embriològiques, moleculars, vestigials, fòssils i biogeogràfiques.

Seguidament, seran breument descrites:

- Homològiques: mostren les similituds entre estructures internes, sense sotmetiment a pressions evolutives, heretades d'un ancestre comú.
- Embriològiques: mostren les semblances estructurals en les etapes de diferents embrions que corroboren el seu mateix origen genètic.

- Moleculars: mostren que com més pròximes siguin diferents espècies a presentar el mateix material genètic, la seqüència dels seus gens i la seva forma d'expressió, més pròximes seran evolutivament.
- Vestigials: mostren que existeixen estructures que presentaven utilitat en uns certs avantpassats, però que han deixat de ser necessaris en l'espècie actual i, encara que han perdut la seva funció, segueixen aquí com una mostra evolutiva.
- Fòssils: Mostren l'existència d'organismes que no són de l'època geològica actual (Biodic). Gràcies al seu estudi directe i a l'estudi del context geològic en el qual es troben podrem saber la seva antiguitat.
- Biogeogràfiques: mostren que, en emigrar, per voluntat pròpia o per inclemències geogràfiques o climàtiques, i quedar aïllades un grup d'animals d'una espècie poden divergir, és a dir, per acumulació de mutacions, arribar a convertir-se en una nova espècie.

2. Objectius

Els objectius del treball es divideixen en un objectiu principal (objectiu general), que és el més important, i en una sèrie d'objectius secundaris (objectius específics), que concretaran amb més profunditat la finalitat de la recerca.

2.1. Objectiu general

L'objectiu principal del treball és buscar diferències osteològiques entre els esquelets d'un humà i un ximpanzé. D'aquesta manera, es vol observar si existeixen o no similituds entre ells i, si existeixen, descobrir en què es fonamenten. És a dir, esbrinar si estan emparentats genèticament o si la semblança és deguda a algun factor extern.

2.2. Objectius específics

Els objectius específics són els següents:

- Utilitzar diferents metodologies que s'utilitzen en la investigació científica actual
- Dominar conceptes anatòmics bàsics
- Diferenciar i classificar els diferents ossos del cos humà
- Diferenciar els ossos humans dels d'altres espècies animals (ximpanzé)
- Triar de manera primària entre les metodologies adequades per a resoldre un problema científic
- Justificar amb articles científics els arguments utilitzats en la defensa d'una idea
- Diferir entre la pelvis, la mandíbula i el crani d'un home i d'una dona.

2.3. Hipòtesi

En qualsevol recerca científica és essencial l'ús d'una hipòtesi. Aquesta es situa a l'inici de la recerca i consisteix en la predicció d'una presumpta relació de variables en base a les premisses que es tenen quan comença una investigació. Així doncs, és una formulació que s'accepta en un primer moment per a, posteriorment, corroborar si el plantejament és cert o no. És important establir una hipòtesi inicial de treball perquè és la principal eina que permetrà a l'investigador començar a plantejar-se mètodes i estratègies per a comprovar si la seva predicció és certa o aplicable. La formulació de la hipòtesi en negatiu es deu al fet de que abans de que la investigació es realitzi no existeixen, aparentment, evidències clares de que el que s'està

plantejant sigui cert. Podria ser cert o no, per això és necessari formular una hipòtesis clara i específica en negatiu que no doni lloc a ambigüitats. A més de la formulació de la H0, es planteja una hipòtesi alternativa (H1) que argumenta el contrari a la primera hipòtesi formulada. A l'acabar la investigació es corroborarà si la hipòtesi que acceptem és la H0 o la H1.

Aquesta investigació va partir de la H0: no existeixen diferències anatòmiques significatives, quantitativa i qualitativament, entre humans i ximpanzés. La H1 és: existeixen diferències anatòmiques significatives, quantitativa i qualitativament, entre humans i ximpanzés.

3. Marc teòric

Per a comprendre la base i la fonamentació d'aquest treball, a més de revisar les principals tècniques actuals d'estudi de les restes osteològiques, es considera necessari establir dos principals apartats en els quals s'exploraran, d'una banda, les disciplines principals que en l'actualitat s'utilitzen per a la realització dels estudis evolutius i, d'altra banda, un apartat de conceptes bàsics que es manejaran o que estaran implícits en gran part del contingut d'aquest treball.

3.1. La importància del context de les restes en l'estudi osteològic

A l'hora d'estudiar una resta osteològica és fonamental saber d'on procedeix, ja que depenent del seu context la informació que es tindrà per a treballar amb aquesta resta serà diferent. En l'actualitat existeixen estudis osteològics sobre restes de diferents procedències, la gran majoria d'ells procedeixen de jaciments arqueològics, però també existeixen molts estudis que es realitzen sobre ossos d'individus morts que donen el seu cos a la ciència o sobre restes que pertanyen a col·leccions històriques.

Si la resta osteològica que s'estudiarà procedeix d'un jaciment arqueològic és fonamental investigar les dades que hi ha sobre la seva excavació i registre. Autors com Brothwell (1987) afirmen que en el cas de l'estudi de les restes arqueològiques és fonamental saber, com a mínim, la referència de la quadrícula a la qual pertany, la seva localització cartogràfica i el nom de l'excavació d'on ha estat extret. D'aquesta manera, es podrà anar a l'excavació a estudiar el context de les restes estudiades si això fos necessari i es podran realitzar estudis topogràfics i històrics. L'entorn en el qual es troba un os pot contribuir a resoldre determinats problemes (Brothwell, 1987) que d'una altra manera difícilment es poden respondre. Entendre el context de les restes osteològiques pot aportar molta informació sobre la causa de mort o lloc d'enterrament, la seva possible alimentació, la seva mobilitat geogràfica, a més de situar la seva antiguitat amb l'ajuda d'estudis estratigràfics.

L'extracció dels ossos del jaciment és un procés molt complex i requereix molta destresa i habilitat. A l'hora d'excavar, quan apareix en el terra una zona en la qual existeixen ossos, les vores que han quedat exposades hauran de netejar-se suaument amb un pinzell amb l'ajuda d'una petita paleta per apartar el sediment del seu al voltant (Brothwell, 1987). Una vegada delimitades les restes arqueològiques en el terreny, serà necessari realitzar un registre de la disposició que presenten les restes en el jaciment. Per això, generalment s'utilitzen topògrafs o estacions totals que ajuden a obtenir les coordenades exactes d'on s'han localitzat els ossos. A la vegada, un investigador registra amb l'ajuda d'una càmera fotogràfica la col·locació exacta del

material arqueològic i realitza una planimetria de la planta del jaciment. D'aquesta manera, es tindrà la màxima informació possible per a estudiar el context estratigràfic dels ossos.

Una vegada el registre del context dels ossos ha estat realitzat, es procedeix a l'extracció dels ossos. Depenent de la cronologia del jaciment en el qual ens trobem i de l'estat de conservació aquests es consolidaran o no per a la seva extracció. Una vegada extrets, les restes podran netejar-se mitjançant l'ajuda d'un element punxant que ajudi a desprendre el sediment que hi ha en l'os o es registraran amb la màxima precaució i amb mesures estèrils per a ser posteriorment processats en el laboratori.

En el laboratori, seran els especialistes els que determinaran la metodologia mitjançant la qual s'ha de processar l'os. Aquestes metodologies seran les que explorarem i utilitzarem al llarg del treball.

Una vegada estudiades les restes s'hauran de catalogar i identificar per a la seva posterior conservació. Aquesta catalogació dels ossos (siglat) ha d'incloure la data de la troballa, la unitat estratigràfica en la qual ha estat trobat i el nom del jaciment, generalment amb tinta xinesa o indeleble per a evitar el seu removiment en rentar-se (Brothwell, 1987). Encara que el mètode de catalogació és flexible i varia depenent de les institucions, en la actualitat també s'utilitzen codis QR. L'important és que es pugui identificar la seva procedència.

3.2. Tècniques d'imatge per a l'estudi osteològic

En els últims anys la tecnologia ha estat fonamental per a l'avanç dels estudis osteològics. Gràcies a l'aparició de tècniques d'imatge és possible realitzar estudis osteològics sense danyar les restes i sense destruir part de la seva morfologia. A continuació presentaré les tècniques d'imatge que s'utilitzen en l'actualitat per a estudiar restes osteològiques.

3.2.1. Tecnologia 2D i 3D

Dins de la metodologia 2D es troba l'ús de càmeres de fotos per a realitzar, principalment, fotografies de restes arqueològiques i estudis fotogramètrics. La fotogrametria és una tècnica que permet mesurar objectes i, per tant, documentar-los a partir d'imatges perspectives obtingudes per procediments fotogràfics (Caballero *et al.*, 1996). Aquesta tècnica es divideix en cinc passos:

Fotografiar el lloc o objecte requerit, processar les imatges, realitzar un núvol de punts fotorealista amb una aplicació que permet extreure punts intrínsecs de la imatge, triar una imatge model i la resta com a associades i modelar-les totes.

Finalment, amb un visor 3D, obrim les imatges amb els núvols de punts a color per a veure detalls i precisions en la profunditat (Ortiz, 2013) i es reconstrueixen i modelen les imatges en un ordinador.

L'aplicació de la fotogrametria en el camp de l'arqueologia és una opció òptima per múltiples motius: el baix cost de la tècnica (Ortiz, 2013), la rapidesa en la presa de dades, l'estalvi de temps d'excavació, la major precisió que el dibuix manual, la possibilitat de documentar individualment tots els contextos arqueològics (Caballero *et al.*, 1996) ja que es poden realitzar imatges separades entre si de tots els llocs de l'excavació, el registre de les imatges és instantani i es poden veure els objectes d'estudi complets gràcies a fotografies des de diferents perspectives.

Com a tècniques tridimensionals (3D) destaquen els escàners i impressores 3D, explicats a continuació: Un escàner 3D és un dispositiu que analitza un objecte o una escena per a reunir dades de la seva forma i textura (Malik, 2011). Amb l'escaneig en tres dimensions s'obté un model tridimensional digital. Aquest és una representació numèrica de les característiques visuals de l'objecte. L'obtenció d'una imatge 3D consisteix, de manera general, en l'ús dels següents materials: una plataforma giratòria, un LASER que recorre verticalment l'objecte, un circuit de control i un motor (Toranzos *et al.*, 2016). El seu funcionament és el següent: es col·loca l'objecte en la plataforma giratòria -es mourà gràcies al motor, que és controlat pel circuit de control-, s'escaneja la seva imatge amb el LASER de forma vertical -tot l'objecte serà escanejat per la completa rotació de la plataforma- i s'enviarà la informació a l'ordinador a través d'un USB o mitjançant WIFI. Després de tenir la informació processada, instal·lant un programari de modelatge 3D podem processar el model per a obtenir dades quantitatives sobre la seva forma.

A més de l'estudi morfològic del model 3D, també és possible imprimir mitjançant una impressora 3D versions modificades d'aquest model, sent possible, per exemple, ampliar i imprimir regions determinades per al seu estudi.

3.2.2. Tomografia Axial Computeritzada (TAC) i Ressonància Magnètica Funcional (RM)

La Tomografia Axial Computeritzada (TAC) és una tècnica no destructiva que permet visualitzar l'interior dels objectes sòlids opacs (Carretero *et al.*, 2008). En essència un TAC és un aparell que serveix per a explorar el cos humà d'una forma precisa, ràpida, indolora i no invasiva. Utilitza una tecnologia sofisticada de raigs X (Rx) composta per un tub que emet Rx i uns detectors. El tub presenta un sistema de raigs X que travessen l'objecte, sent detectats pels detectors, que a través d'uns sistemes informàtics codifiquen l'energia en una sèrie d'imatges (Hernández *et al.*, 2006)

Una vegada obtingudes les imatges, existeixen softwares integrats que permeten analitzar mil·limètricament les estructures internes i externes de l'os, podent també reconstruir virtualment estructures absents en les restes osteològiques.

Les ressonàncies magnètiques (RM) s'utilitzen principalment per a estudiar teixits tous o òrgans, normalment per a buscar possibles patologies en aquests. No obstant, encara que el seu ús és gairebé nul en estudis osteològics, és necessari quan un os és dins d'un cos amb altres teixits tous que han estat conservats, com per exemple en el cas de les mòmies. És una tècnica complementària al TAC, només requerida en casos específics on l'os està acompanyat d'altres estructures. Així mateix, la imatge per ressonància magnètica aporta una informació morfològica, estructural o funcional amb una alta resolució de contrastos, centenars de vegades superior a altres tècniques d'imatge. (Lafuente *et al.*, 2020).

3.2.3. Estudi d'elements finits

El mètode d'elements finits consisteix en l'estudi del comportament elàstic que presenta un sòlid rígid a partir de la discretització del mateix en subdominis anomenats elements, que es caracteritzen per tenir una geometria més senzilla (Püschel *et al.*, 2020).

Els models són creats basant-se en les propietats mecàniques de cada element (en aquest cas d'ossos). Es trien colors més forts com el taronja o el vermell per indicar zones d'alta densitat i menys fortes com el blanc o el blau per a denotar baixa densitat (Carretero *et al.*, 2008). Així el sistema contempla les possibilitats reals dels material.

Amb aquest mètode és possible crear simulacions de restes, sotmetre'ls a problemes aportant solucions, comparar les seves reaccions i efectes, analitzar la seva estructura amb més exactitud, dissenyar hipòtesis i resoldre problemes geomètrics amb equacions diferenciades.

3.2.4. Morfometria Geomètrica

La Morfometria Geomètrica és la disciplina més popular en l'actualitat encarregada de l'estudi de la forma de les estructures (morfologia). Aquesta disciplina estudia la variància de les formes amb independència de la seva grandària, per la qual cosa és l'eina més fiable per a estudiar les variacions morfològiques reals que presenten els individus. Per a això, el que fa aquesta tècnica és eliminar els efectes de la posició, escala i rotació d'un objecte (Kendall, 1977) per a analitzar la forma independentment d'aquells components que no defineixen la geometria intrínseca de l'objecte (Toro *et al.*, 2010). La idea general d'aquesta tècnica és localitzar, ja sigui en esquelets o en ossos concrets, punts de referència invariables que siguin comparables entre tots els

individus de la mateixa (o de diferents) espècies. D'aquesta manera, les característiques de l'objecte queden quantificades i són comparables a través de distàncies i angles entre les seccions de referència.

3.3. Disciplines principals

Existeixen diferents disciplines que estudien el nostre origen evolutiu, totes elles altament complexes i subespecialitzades. Centrarem aquest treball en l'estudi osteològic de les restes òssies per a poder establir una comparació entre un esquelet de ximpanzé i un esquelet humà. No obstant això, a l'hora de realitzar qualsevol estudi evolutiu és fonamental tenir en consideració, entre altres, les següents especialitats: geologia, genètica, embriologia i osteologia. A continuació, serà desenvolupada una petita introducció de cadascuna d'elles.

3.3.1. Geologia

La geologia és la ciència que tracta de la forma exterior i interior del globus terrestre, de la naturalesa de les matèries que el componen i de la seva formació, dels canvis o alteracions que aquestes han experimentat des del seu origen, i de la col·locació que tenen en el seu actual estat (Dicciomed.eusal.es). Pel que respecta als estudis evolutius, la geologia resulta útil per a establir l'edat cronològica de les restes fòssils que trobem, a través de mètodes de datació absoluts o relatius. Els mètodes de datació absoluts són aquells que analitzen químicament el terreny exacte en el qual es troba dipositat el fòssil. Els mètodes de datació relatius són els que es basen en informació secundària del substrat -com la col·locació de la resta en l'estratigrafia o si és trobat al costat de materials, la datació de les quals es conegui-. Dins la geologia destaca la disciplina de la paleoantropologia que és l'encarregada d'estudiar les restes fòssils que es troben en el substrat (Biodic.net) per a poder conèixer el passat.

3.3.2. Genètica

La genètica és la part de la biologia que estudia l'estructura i la funció dels gens; la seva expressió en individus, famílies i poblacions; la variació genètica i l'herència de trets, caràcters i malalties (Dicciomed.eusal.es). En l'actualitat és una de les disciplines fonamentals per als estudis evolutius, gràcies a l'estudi dels gens es pot arribar a conèixer un gran nombre de trets i caràcters tant individuals com col·lectius. A través d'aquesta disciplina es pot conèixer per què som com som, per què la resta de les espècies estan constituïdes d'una forma determinada i per què heretem característiques fisiològiques dels nostres avantpassats. A més, és necessari tenir en compte que la gran majoria de canvis morfològics que veiem en les restes osteològiques -menys els que es deuen a modificacions estrictament adaptatives- depenen fonamentalment de la

genètica. Malgrat que aquest treball està enfocat principalment des d'un punt de vista anatòmic i morfològic, faré una petita aportació genètica, ja que probablement m'agradaria orientar el meu futur acadèmic en aquesta direcció. Per això, considero que una petita recerca bibliogràfica sobre el tema pot enriquir aquest treball i el meu coneixement personal.

3.3.3. Embriologia

L'embriologia és la ciència que estudia la formació i el desenvolupament dels embrions (Dicciomed.eusal.es). Encara que l'embriologia és una disciplina d'una gran rellevància per a entendre la formació de l'anatomia de les espècies, i intentar diferenciar les analogies biològiques que moltes d'elles presenten, no em centraré en aquesta disciplina al llarg d'aquest treball.

3.3.4. Osteologia

L'osteologia és una branca de l'anatomia especialitzada en l'estudi de l'os. L'os és un òrgan blanquinós dur i transparent, el conjunt del qual constitueix l'esquelet. El cos humà i el ximpanzé estan formats per 206 ossos. Es troben situats entre teixit tou i serveixen de sustentació i protecció per a molts dels òrgans del cos humà (Biodic.net). L'osteologia és la principal disciplina d'interès d'aquest treball ja que mitjançant aquesta disciplina s'analitzaran les diferències anatòmiques entre les dues espècies d'homínids més emparentades genèticament, el ximpanzé i l'humà. S'ha decidit centrar l'estudi en l'osteologia per dos motius fonamentals, en primer lloc, perquè els ossos són la part del cos que millor es conserva al llarg dels anys ja que triga més a descompondre's i aguanta millor les deformacions del terreny, inundacions o altres catàstrofes naturals. En segon lloc, per una qüestió de recursos, ja que a nivell econòmic els estudis macroscòpics que permeten examinar diferències d'una forma visual i quantitativa són els més pràctics i funcionals.

3.4. Conceptes bàsics

En el següent apartat es desenvoluparan de manera breu una sèrie de conceptes biològics, bàsics, que han estat fonamentals per a situar els conceptes que es treballaran de manera implícita en el treball i per a comprendre la complexitat de la disciplina que s'estudiarà al llarg del treball.

3.4.1. Què és l'evolució?

El concepte "evolució" és un terme genèric que pot ser entès com el canvi al llarg del temps de sistemes dinàmics (Tessera & Hoelzer, 2013). Existeixen tres tipus d'evolucions:

1) Evolució biològica: l'evolució biològica és aquella que explica els principals canvis en la informació heretable dins de poblacions al llarg del temps i les dinàmiques dels orígens de població i extincions (Tessera & Hoelzer, 2013). Aquest tipus d'evolució serà fonamental al llarg del meu treball ja que en comparar l'anatomia del ximpanzé i l'humà s'exploraran els canvis biològics implícits en l'evolució de l'anatomia de totes dues espècies.

2) Evolució geològica: l'evolució geològica és aquella que es centra en les modificacions que ha experimentat el medi al llarg del temps. Aquest tipus d'evolució és fonamental per a comprendre l'estratigrafia dels jaciments arqueològics o paleontològics i és l'encarregada de possibilitar una explicació temporal de les troballes que es realitzen. Aquest tipus d'evolució no serà tractada directament en el treball, però es considera que és rellevant destacar la seva importància en pràcticament tots els estudis evolutius.

3) Evolució astronòmica: Es denomina així al transcurs de la història de l'univers i els seus processos transformadors. Aquest desenvolupament comença amb el Big bang i continua duent-se a terme en els nostres dies. Els processos que transformen i modelen l'univers són de tota mena, des de singularitats fins a forats negres o súper noves. És més, l'univers en si mateix és una evolució per la quantitat de canvis que ha patit al llarg dels anys, però cadascuna de les parts que integren al mateix han sofert també una evolució, en aquest cas astronòmica. Aquest tipus d'evolució no serà tractada al llarg d'aquest treball.

3.4.2. Selecció natural

La selecció natural és un procés termodinàmic (Marc Tessera & Guy A. Hoelzer, 2013) que consisteix en la selecció d'unes variants genètiques respecte d'altres en una població biològica que compleixi: variació fenotípica entre els individus d'una població, eficàcia biològica diferencial associada a la variació i herència de la variació (Darwin, 1959; Monod, 1970). Aquest concepte serà fonamental al llarg del treball ja que les característiques morfològiques que seran analitzades en els esquelets de ximpanzé i humà han estat seleccionades per selecció natural.

4. Material i mètodes

En aquest apartat es veurà la mostra que s'ha utilitzat per a realitzar el treball de recerca i la metodologia d'estudi duta a terme.

4.1 Material

Un cop al laboratori es va fer servir com a mostra tres esquelets diferents. El primer era d'un humà mascle (Foto 1), el segon d'una femella (Foto 2) i l'últim d'una ximpanzé femella (Foto 3).



Foto 1. Esquelet humà mascle (Imatge pròpia)



Foto 1a. Ampliació (Imatge pròpia)



Foto 1b. Ampliació (Imatge pròpia)



Foto 2. Esquelet humà femella (Imatge pròpia)



Foto 2a. Ampliació (Imatge pròpia)



Foto 2b. Ampliació (Imatge pròpia)



Foto 3. Esquelet ximpanzé (Imatge pròpia)



Foto 3a. Ampliació (Imatge pròpia)



Foto 3b. Ampliació (Imatge pròpia)

4.2 Mètode

Aquest apartat es subdivideix en dos tipus d'anàlisi: un anàlisi qualitatiu i un altre quantitatiu.

Anàlisi qualitatiu

Primerament, es van muntar els esquelets d'*Homo sapiens* per aprendre de manera pràctica la distribució dels ossos en el nostre cos. S'identificaven els ossos que s'observaven que corresponien a l'individu i se'ls situava en el seu estat original. Després es buscava i comparava cadascun d'ells en el "Atlas de Anatomía Humana" de F.H. Netter.

Un cop fet això, es va replicar en els ossos del ximpanzé (*Pan troglodytes*) ara que ja es tenia la referència clara en els humans. D'aquesta forma va ser possible veure les diferències a nivell morfològic subjectivament.

Anàlisi quantitatiu

Per poder corroborar les diferències observades, van ser preses mesures òssies (posant especial èmfasi en els cranis i les mandíbules) amb diferents instruments (Foto 4).

Aquests van ser: un peu de rei, que va ser utilitzat per mesures directes -un fet a destacar, explicat més endavant, és que les primeres van ser preses amb un de manual i les següents amb un de digital-, un craniòmetre, per mesurar punts de curvatura o de grans distàncies -impossibles de mesurar amb un peu de rei- i un goniòmetre que va ser útil per calcular els angles d'inclinació de les mandíbules.

A més, va ser escanejada una vertebra d'*Homo sapiens* amb un escàner 3D (Foto 5) i mesurada de forma digital. Es van localitzar dos punts i el programa d'escanejat va calcular la distància entre ells. Així, també es va poder comprovar per què els laboratoris en l'actualitat han canviat la manera de prendre mesures: la forma digital és molt més ràpida i amb menys risc d'error que la manual.



Foto 4. Pressa de mesures òssies de l'esquelet humà femella



Foto 5. Escaneig 3D d'una vertebra

5. Resultats

Per conèixer de manera profunda la morfologia d'una resta esquelètica el primer que cal fer és familiaritzar-se amb la seva forma general. Per a això, és important comparar la forma de cada os i fixar-se bé en el lloc que li correspon dins del cos humà. Per a la consecució d'aquest objectiu es va procedir al muntatge anatómic dels esquelets basant-nos en el llibre “Compendio de métodos antropológico forenses para la reconstrucción del perfil osteo-biológico” de Udo Krenzer.

El primer que es va realitzar va ser una estimació de l'edat i el sexe per conèixer les restes esquelètiques que es tenien davant. Per quantificar les diferències entre els esquelets és important observar de forma específica la pelvis, el coxal, el crani i la mandíbula tal com es mostra a les figures 4, 5 i 6.

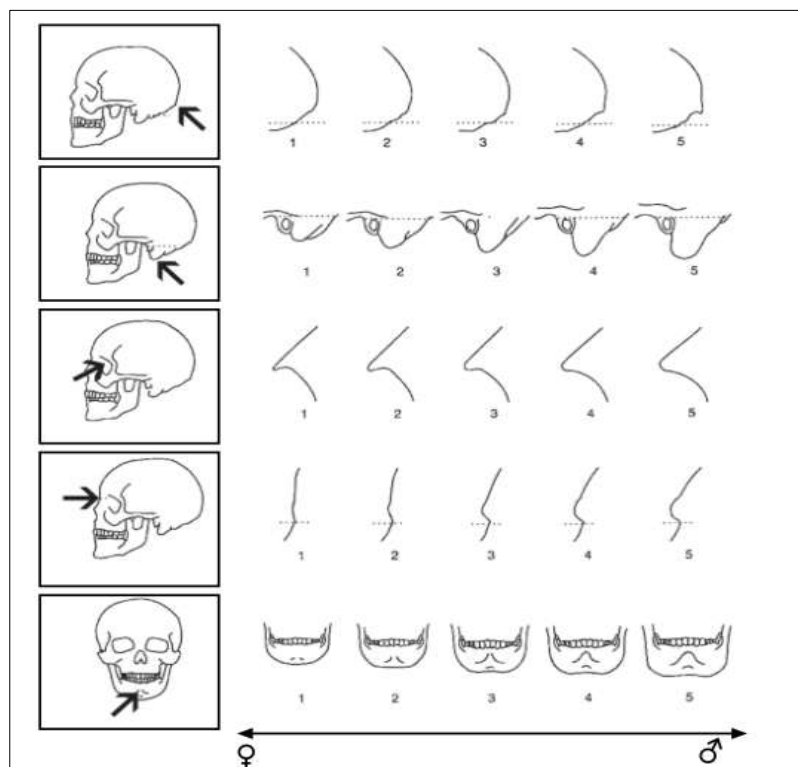


Figura 4. Comparació sexe cranial i mandíbula (Imatge extreta i adaptada de Compendio de métodos antropológico forenses, Udo Krenzer, 2006)

En la figura 4 es pot observar una escala de l'1 al 5, sent l'1 una marca clara de dona i el 5 una d'home. Es pot veure que, respecte al crani, els homes presenten la protuberància occipital més pronunciada i definida que la de les dones, que la tenen menys visible i en alguns casos pràcticament inexistent. Els homes posseeixen un apòfisis mastoidees més extens i ample, que surt de la cavitat cranial en oposició a les dones, que és més petit i estret. A més, els primers tenen un torus supraorbitari més pronunciat. En canvi el torus supraorbitari de les segones es

més gràcil i fi. L'última diferència important del crani és la glabella. Els homes la presenten més pronunciada, formant una convexitat, les dones la tenen més aplanada.

Sobre la mandíbula es important destacar que en els homes l'amplitud de la mandíbula és major, especialment el mentó. La mandíbula de les dones és més gràcil, estreta i baixa que la dels homes.

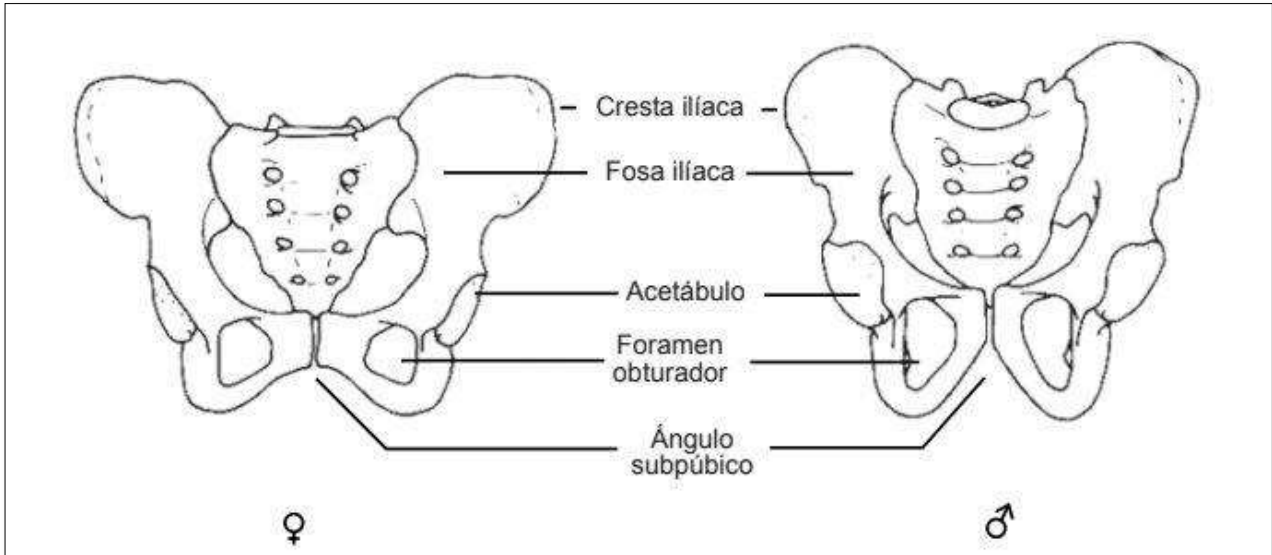


Figura 5. Comparació de sexe entre pelvis frontal (imatge extreta i adaptada de 'Compendio de métodos antropológico forenses', Udo Krenzer, 2006)

La pelvis proporciona la informació més fiable de cara a la determinació del sexe, i és probable que pugui aconseguir-se fins a un 96% d'exactitud en la identificació diferencial (Krenzer, 2006). És una de les parts en què diferim més perquè durant la pubertat la pelvis femenina és preparada pels parts mentre que la dels homes guanya vigorositat per continuar carregant vísceres. És per aquest motiu que en un estudi de sexe, el primer que s'estudia és la pelvis. Si no hi és tota i està a trossos, s'intenta reconstruir a ordinador resseguint la forma original que tindria.

Observant la pelvis d'una forma frontal (Figura 5) podem observar, a grans trets, com els homes presenten unes crestes ilíaques més altes, però menys amples que les dones. També, l'acetàbul femení és molt més petit que el masculí, que és més voluminós. El foramen obturador en les dones és més arrodonit i menys alt que el dels homes.

Per últim, l'angle subpúbic varia notablement entre sexes. El femení és obert, fet que comporta una distància major entre els foràmens obturadors, i el masculí tancat (menor distància entre els foràmens).

El coxal de les dones difereix del dels homes sent en les dones en forma de “V” i en els homes en forma de “U”.

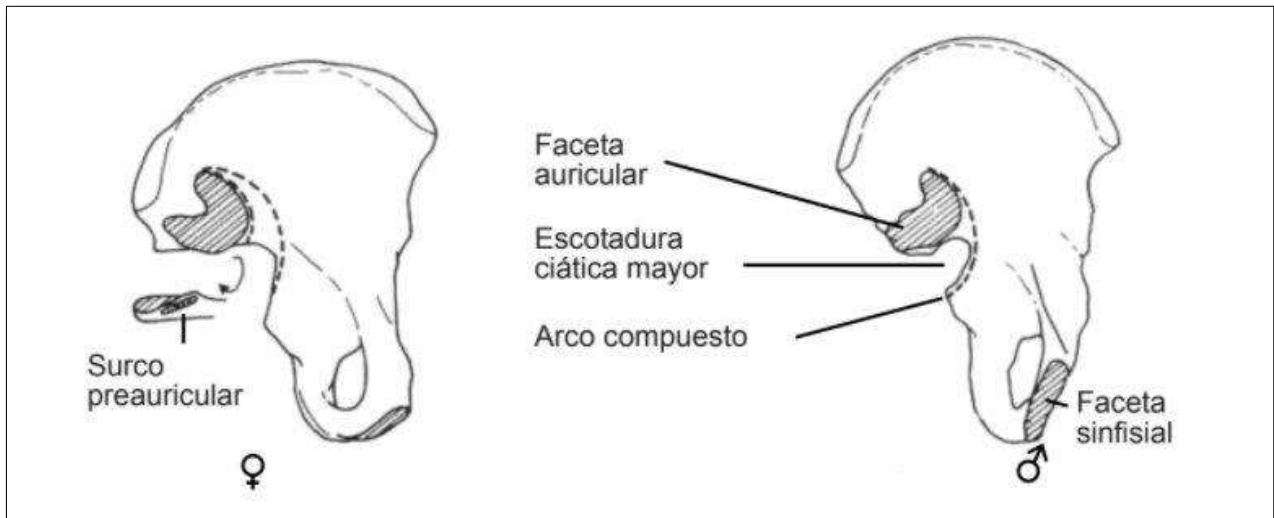


Figura 6. Comparació de sexe entre pelvis lateral (imatge extreta i adaptada de 'Compendio de métodos antropológico forenses', Udo Krenzer, 2006)

Observant la pelvis lateralment (Figura 6), es possible adonar-se que les dones presenten una faceta auricular més pròxima a la cresta ilíaca i més arrodonida. Els homes la tenen més allunyada de la cresta ilíaca i més ampla. Igualment, l'escotadura ciàtica major masculina és més tancada que la femenina, que es més oberta, pràcticament formant una “L”. L'arc compost és en les dones doble i més gran i en els homes simple i més curt. Així mateix, el surc preauricular femení és profund a diferència del masculí que és gairebé inexistent. Per últim, els homes tenen una faceta sinfisial verticalment visible. En canvi, les dones la tenen corbada i més aplanada.

Una manera ràpida i útil de classificar una pelvis és utilitzant una taula comparativa (Taula 1): consisteix, de forma senzilla, en multiplicar la suma d'importàncies pel grau del sexe expressat (expressió femenina per -2 i masculina per 2) i dividit novament per la suma de les importàncies. Els resultats menors a 0 indicaran sexe femení i els majors a 0, masculí.

Taula 1. Grau d'importància de les característiques de la pelvis (Taula extreta i adaptada de Compendio de métodos antropológico forenses de Udo Krenzer)

característica	importancia
surco preauricular	3
escotadura ciática mayor	3
ángulo subpúbico	2
foramen obturador	2
arco compuesto	2
coxal	2
cuerpo del isquion	2
cresta ilíaca	1
fosa ilíaca	1
pelvis mayor	1
acetábulo	1
	Σ

5.1 Resultats de l'anàlisi metodològic: part qualitativa

El primer esquelet analitzat, que posteriorment va ser identificat com a dona, es van identificar els següents ossos (Figura 7): un crani, una mandíbula, dues clavícules, dues escàpules, un estènum, dos húmer, dos radis, dos cúbits, una pelvis, un sacre, dos fèmurs, dues ròtules, dues tíbies, dos peronés, vint-i-un tarsos (quatre que semblaven d'altres individus), onze metatarsos, vuit metacarps (un presentava necrosi), dos carps, catorze falanges, vint-i-tres costelles, i vèrtebres classificades de la següent forma: un atlas C1, tres vèrtebres lumbar (amb possibles patologies), sis toràciques unides (amb un possible desgast entre discs interlineals i la unió del cos de les vèrtebres. També, amb una certa inclinació descendent), sis vèrtebres toràciques separades, tres cervicals i un Axis C2.

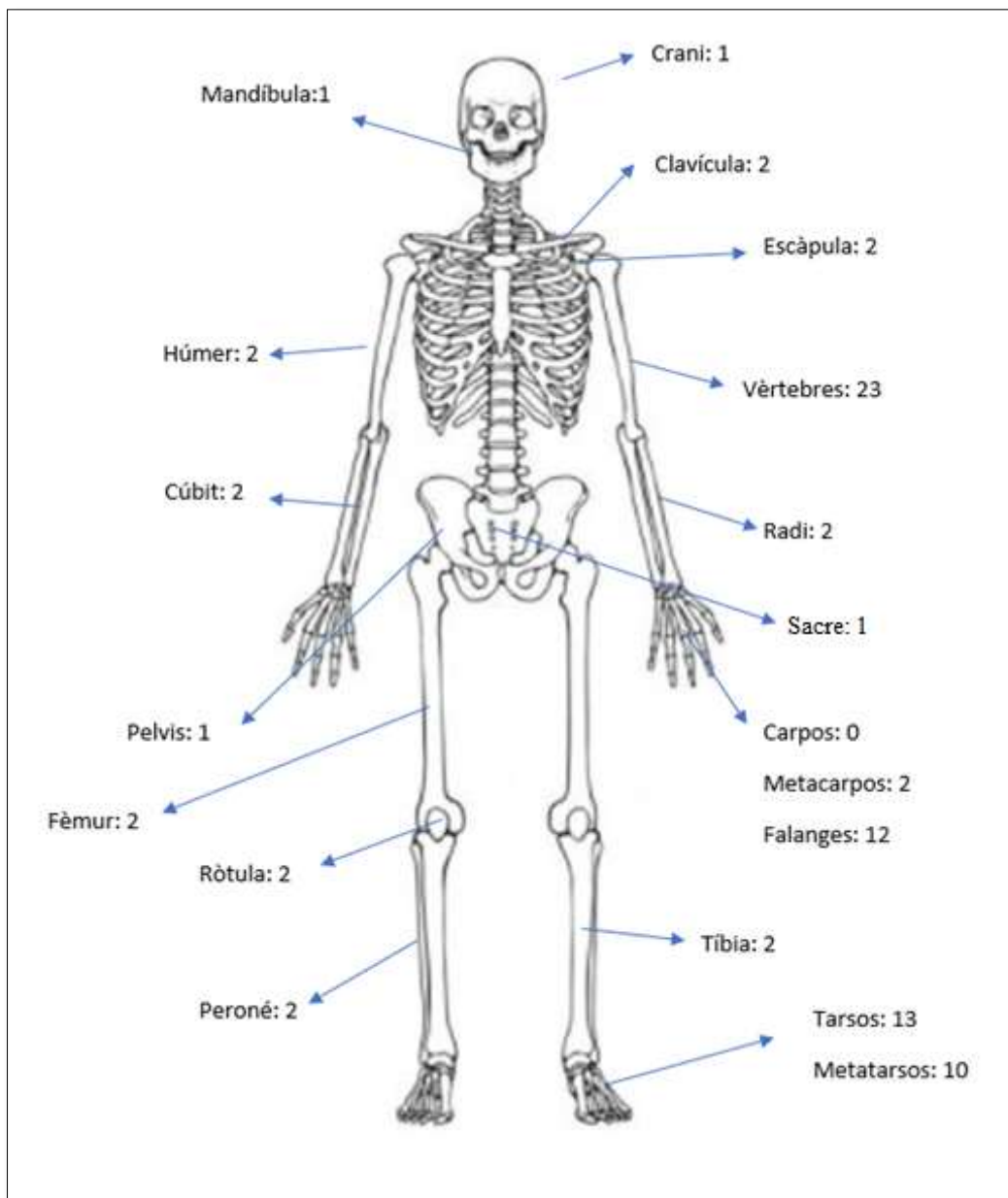


Figura 7. Plantilla d'identificació d'ossos humans realitzada a través d'una imatge extreta d'imatges de google (Educaplay). Correspon als ossos identificats en l'individu de sexe femení

Després es va prosseguir amb les restes osteològiques de l'individu que posteriorment es van classificar com un home, classificant el següent (Figura 8): un crani, una mandíbula, dues clavícules, un húmer, un cúbit, un radi, un fèmur, una pelvis, un sacre, dues ròtules, dues tíbies, dos peronés i aquestes vèrtebres: set vèrtebres cervicals (un atlas C1, un axis C2, dos C3, una C4 i altres tres), onze vèrtebres toràciques i cinc lumbar, vint-i-tres en total.

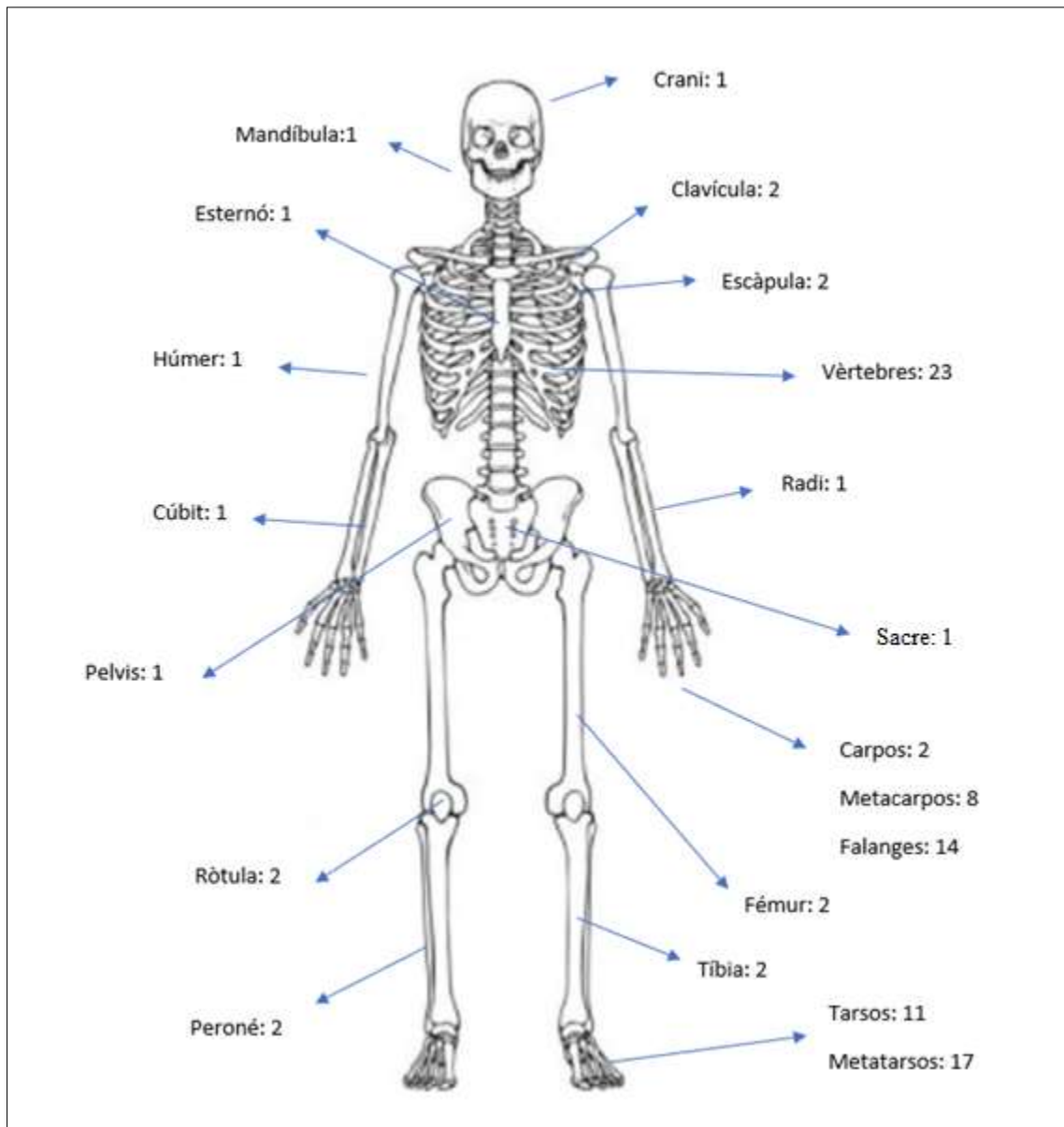


Figura 8. Plantilla d'identificació d'ossos humans realitzada a través d'una imatge extreta d'imatges de google (Educaplay). Correspon als ossos identificats en l'individu de sexe masculí

Per últim, van ser reconeguts els ossos de la ximpanzé (Figura 9): un crani, una mandíbula, dues clavícules, dues escàpules, dos húmer, un esternum, dos cúbits, dos radis, una pelvis, un sacre, dos fèmurs, una ròtula, dues tíbies, dos peronés i les successives vèrtebres: set vèrtebres cervicals (un atlas C1, un axis C2 i altres cinc), tretze toràciques i quatre lumbars, vint-i-quatre en total.

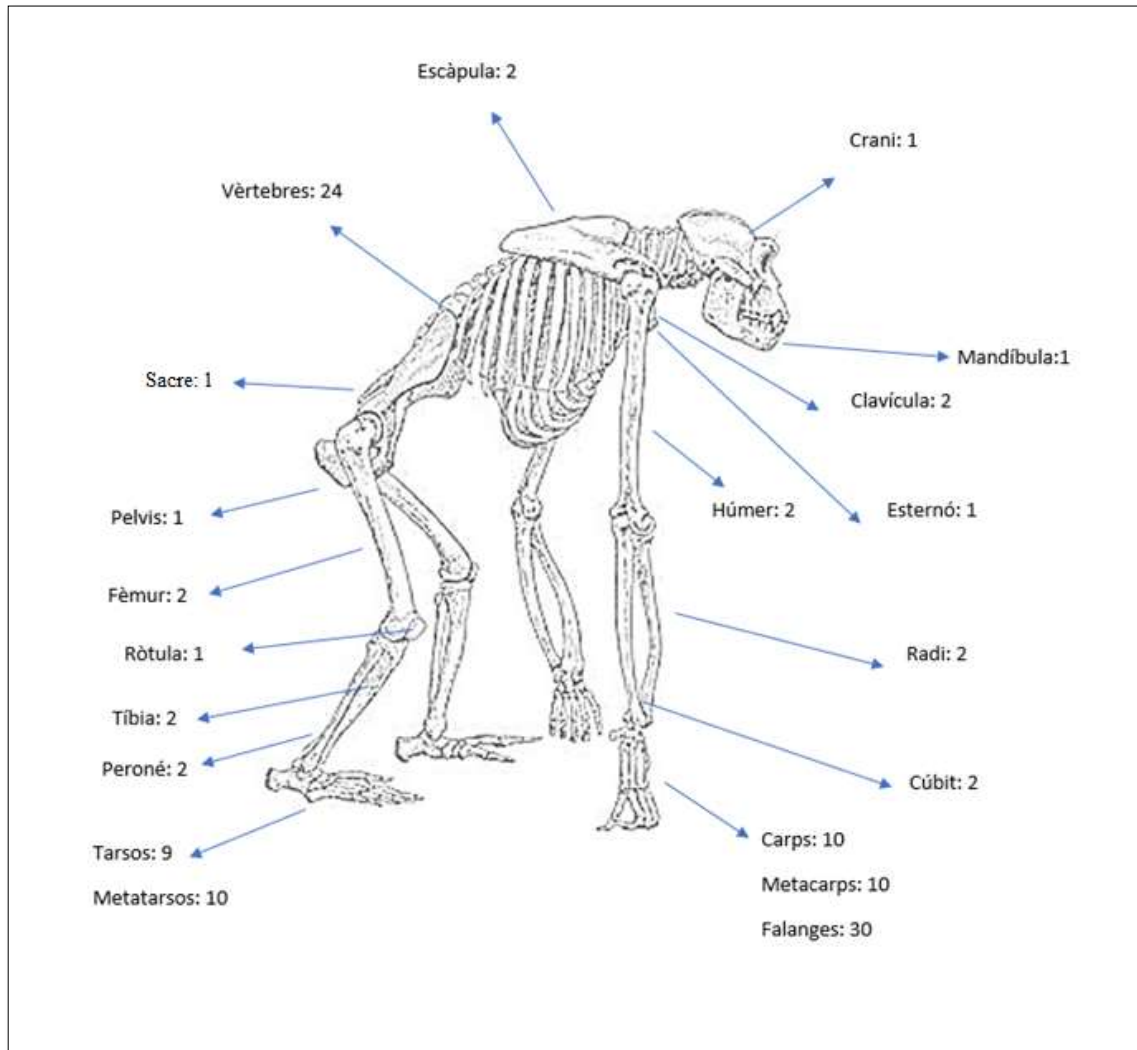


Figura 9. Plantilla d'identificació d'ossos de ximpanzé (Imatge extreta i modificada de Hickman, C. P., Roberts, R. G. & Larson, A. C. (1997). Zoología. Principios integrales. McGraw-Hill-Interamericana. Madrid).

Un cop es va tenir clara la morfologia humana i les diferències de sexe, va ser possible començar a diferenciar entre les espècies. A nivell quantitatiu aquesta diferenciació es va realitzar principalment entre els cranis (Fotos 6 i 7), les mandíbules (Fotos 8 i 9) i les pelvis (Fotos 10, 11 i 12). A continuació s'adjunten aquests ossos:

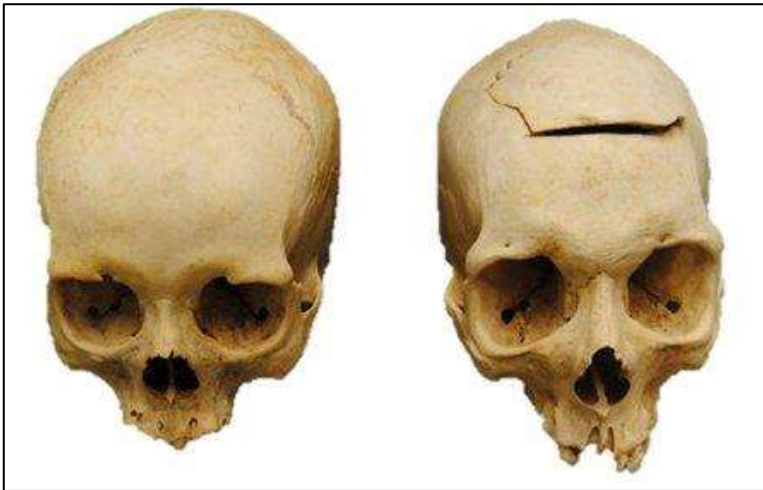


Foto 6. Cranis humans (Dona i home) (Pròpia)



Foto 7. Crani ximpanzé (Pròpia)



Foto 6a. Crani humà dona (Imatge pròpia)



Foto 6b. Crani humà home (Imatge pròpia)



Foto 7a. Crani ximpanzé (Imatge pròpia)

Una de les primeres diferències que són observades és que la ximpanzé presenta a la part superior del crani una cresta sagital des del bregma fins el lambda (Foto 7a). També podem observar un arc zigomàtic molt més distant al crani en la ximpanzé que en els humans (Foto 7). Un altre element destacat es la apòfisis mastoides que es molt més allargada i prominent en l'humà que en la ximpanzé, on es troba molt curt al costat interior dels arcs, quasi absent (Fotos 6a, 6b i 7a). La ximpanzé també té per sobre de les cavitats orbitals un elevació important respecte als humans (torus supraorbitari). La ximpanzé es caracteritza per tenir una mandíbula superior allargada, els humans, per la seva part, la tenen més aplanada (Foto 8 i 9). Igualment, la ximpanzé presenta una cavitat nasal més ample. Així mateix, l'humà experimenta una rotació anteroinferior en el foramen màgnum i d'aquesta manera esdevé més llarg i ample. Finalment, a grans trets, el crani de la ximpanzé és més llarg, però menys alt que l'humà.



Foto 8. Mandíbules humanes (Dona i home) (Pròpia)



Foto 9. Mandíbula ximpanzé (Pròpia)



Foto 8a. Mandíbula humana dona (Imatge pròpia)



Foto 8b. Mandíbula humana home (Imatge pròpia)



Foto 9a. Mandíbula ximpanzé (Imatge pròpia)

L'amplada mínima de la branca ascendent (la distància mínima entre les vores anterior i posterior de la branca ascendent) és d'una longitud major en la ximpanzé que en els humans. A més, s'ha de tenir en compte que observant les més similars amb comparació amb aquest tret són les de les dues femelles.

La ximpanzé presenta una projecció del cos mandibular molt més elevat que els humans. També, té una amplada entre els gonions superior als humans. L'home i la dona té una mandíbula en forma de "U" mentre que el ximpanzé la té en forma de "V".



Foto 10. Pelvis humana dona (Imatge pròpia)



Foto 11. Pelvis humana home (Imatge pròpia)



Foto 12. Pelvis ximpanzé (Imatge pròpia)



Foto 10a. Pelvis humana dona (Imatge pròpia)



Foto 11a. Pelvis humana home (Imatge pròpia)



Foto 12a. Pelvis ximpanzé (Imatge pròpia)

Les pelvis humanes es diferencien amb la de la ximpanzé en diverses parts: les ales ilíaques humanes són més arrodonides (Foto 10, 11 i 12), endinsades, tancades i amb una torsió lateral, metre que les de la ximpanzé són obertes, sense un arrodoniment tan profund i sense presentar aquesta torsió lateral pronunciada humana. A més, la part interior horitzontal és menys ample en els ximpanzés que en els humans, però verticalment més ample, amb més distància entre la part d'unió frontal de les ales ilíaques i el sacre. Tot seguit, és observable el fet que la pelvis ximpanzé és, conjuntament, més allargada que la humana, més aplanada. Igualment, el sacre humà és més ample, però quasi la meitat de curt que el ximpanzé (que també és més fi).

La ximpanzé presenta un forat obturador alt, en canvi el dels humans és més baix i rodó (Foto 10a, 11a i 12a).

Tanmateix, es van observar ossos llargs com els húmer, els fèmurs i les tíbies a més de les vèrtebres i les costelles:



Foto 13. Comparació d'húmers (Humà esquerre, ximpanzé dreta (Imatge pròpia)



Foto 13a. Comparació d'húmers (Imatge pròpia)



Foto 13b. Comparació d'húmers (Humà esquerre, ximpanzé dreta (Imatge pròpia)

Sobre els hùmers (Foto 13), la llargada absoluta (del cap humeral al còndil de l'húmer) és superior en l'humà que en la ximpanzé. Tot i això, la ximpanzé presenta una cresta supracondilea lateral més ampla i pronunciada que la humana, que és més subtil i regular. Entre els caps humerals no s'aprecia una gran diferència respectivament, són més bé pràcticament iguals en mida. A més, es pot observar que els humans tenen un epicòndil medial aplanat mentre que el de la ximpanzé acaba en una punta. El capítol del ximpanzé té un arrodoniment més definit que el de l'humà. També, la intersecció entre la tròclea i el capítol és més ampla en l'humà. Per últim, la ximpanzé té una amplada màxima de l'húmer més gran que la humana.



Foto 14. Comparació de fèmurs entre humà i ximpanzé (Imatge pròpia)



Foto 14a. Comparació de fèmurs entre humà i ximpanzé (Imatge pròpia)



Foto 14b. Comparació de fèmurs entre humà i ximpanzé (Imatge pròpia)

La primera diferència important és, novament, la longitud absoluta entre els fèmurs (Foto 14): l'humà presenta una longitud més elevada que el ximpanzé. Igualment, el cap femoral té un volum més gran en l'humà que en la ximpanzé. L'humà té un coll més ample que la ximpanzé. El trocànter major és també més ample en l'humà, formant una corba subtil, però més definit en forma de punta en el ximpanzé. Tant el còndil medial com el còndil lateral són més voluminosos. A més, el còndil medial de la ximpanzé es troba més arrodonit que el de l'humà,

més informe. El grau de curvatura de l'os respecte de l'humà és molt major en el ximpanzé. Aquest, presenta el trocànter menor més rodó i gran que l'humà. Tanmateix, el ximpanzé té una superfície rotuliana més extensa que la de l'humà. Finalment, l'osca intercondilar és major en l'*Homo sapiens* que en el *Pan troglodytes*.



Foto 15. Comparació de tíbies entre humà i ximpanzé (Imatge pròpia)



Foto 15a. Comparació de tíbies entre humà i ximpanzé (Imatge pròpia)

Sobre les tíbies (Foto 15), l'humà presenta una llargada absoluta superior al ximpanzé. Igualment, el mal·lèol medial és més gran i pronunciat en l'humà. Els ossos de les dues espècies tenen una curvatura, però com es pot veure, la corba que forma la tíbia ximpanzé és més marcada que la humana. No obstant, tant la cara anterior com la part superior humanes són més voluminoses que les de la ximpanzé, les quals són molt més aplanades. Tot i això, la cara articular és major en la ximpanzé. També, aquesta té una cresta anterior més marcada. Per finalitzar, la ximpanzé presenta la cresta del soleo més ample que la de l'humà.

A més, es va observar que hi havia variacions morfològiques en les vèrtebres i les costelles:

El nombre de vèrtebres a les dues espècies és el mateix (Figura 10): 26, però canvia la seva distribució. Els ximpanzés presenten: 7 cervicals, 13 toràciques, 4 lumbar, 1 sacres i 1 del còccix. Mentre que els humans tenen: 7 cervicals, 12 toràciques, 5 lumbar, 1 sacres i 1 del còccix.

Respecte a les costelles (Figura 11), es característic en l'humà (que en té 24) la seva disposició en forma de cilindre i en el ximpanzé (que en té 26) en forma de campana. Així, es pot observar que les costelles inferiors ximpanzés s'obren més i són més llargues que les humanes. Igualment l'*Homo sapiens* presenta una caixa toràcica amb un major nombre (7) de costelles vertebrocostals (verdaderes) i vertebrocondrals (falses) (3) però amb un menor nombre de costelles lliures (2) (flotants) que el ximpanzé.

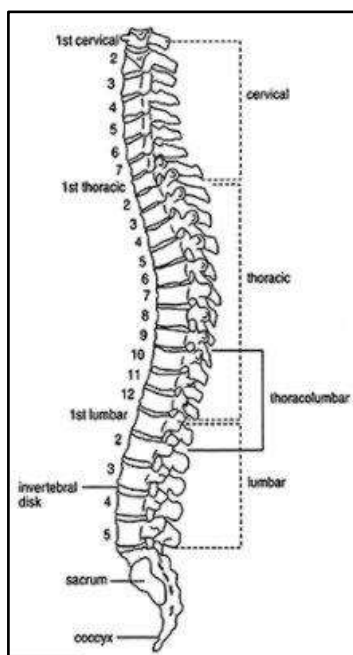


Figura 10. Vèrtebres humanes (imatge de <http://ortotik-prostetik.blogspot.com/2014/04/tanya-jawab-tentang-skoliosis-pada-anak.html>)

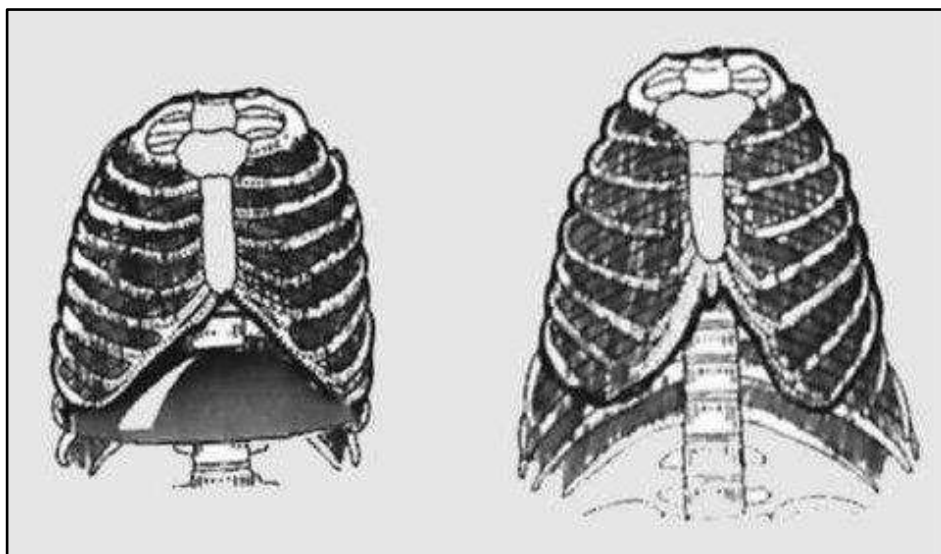


Figura 11. Vèrtebres humanes (imatge modificada de <http://ortotik-prostetik.blogspot.com/2014/04/tanya-jawab-tentang-skoliosis-pada-anak.html>)

5.2 Resultats de l'anàlisi metodològic: part quantitativa

Un cop van ser muntats els esquelets, van ser classificats els seus ossos i van ser enteses les seves diferències, es van prendre mesures mètriques amb l'ajut d'un peu de rei, un craniòmetre i un goniòmetre. Es van utilitzar les indicacions mètriques cranials i mandibulars del llibre “Compendio de métodos antropológico forenses para la reconstrucción del perfil osteobiológico”,

Udo Krenzer (Figura 12 i 13). La part quantitativa és molt important ja que així es poden corroborar si els resultats qualitatiu són certs o erronis.

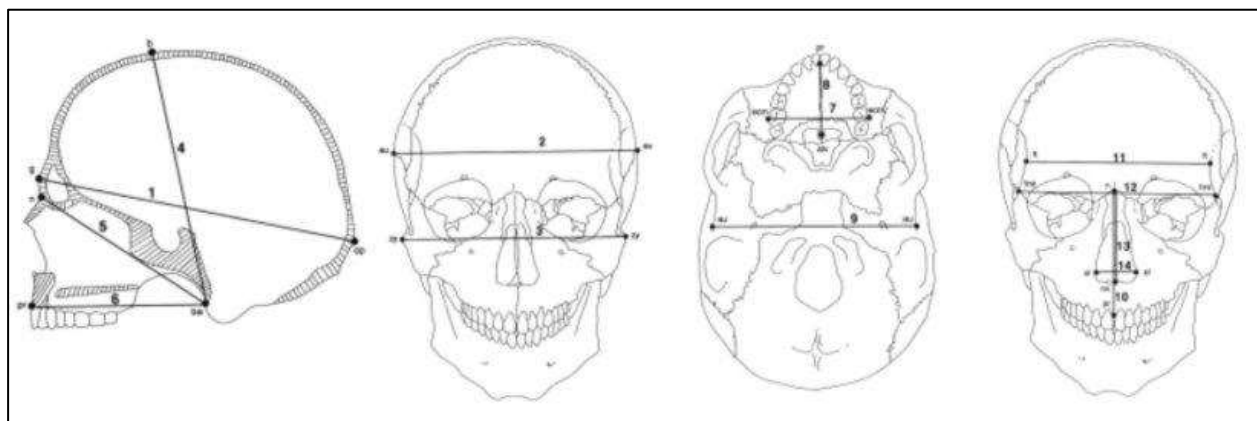


Figura 12. Mesures mètriques mandibulars (Buikstra y Ubelaker, 1994)

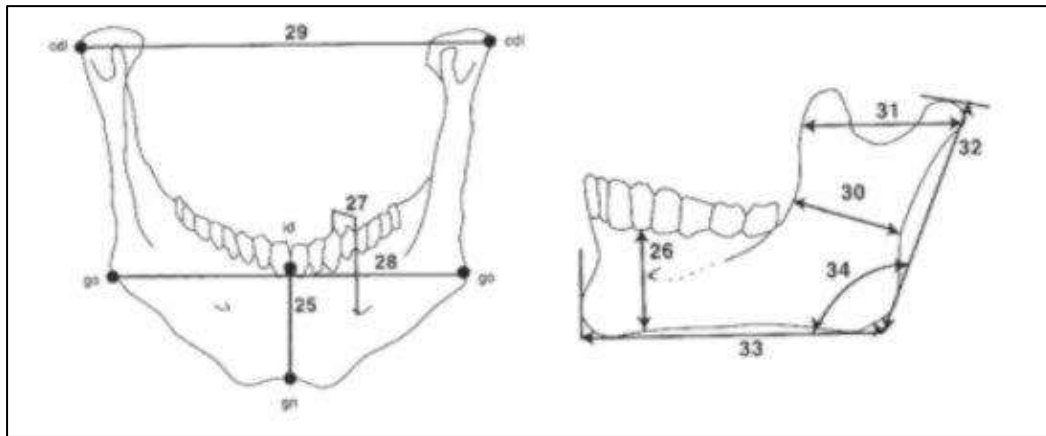


Figura 13. Mesures mètriques cranials (Buikstra y Ubelaker, 1994)

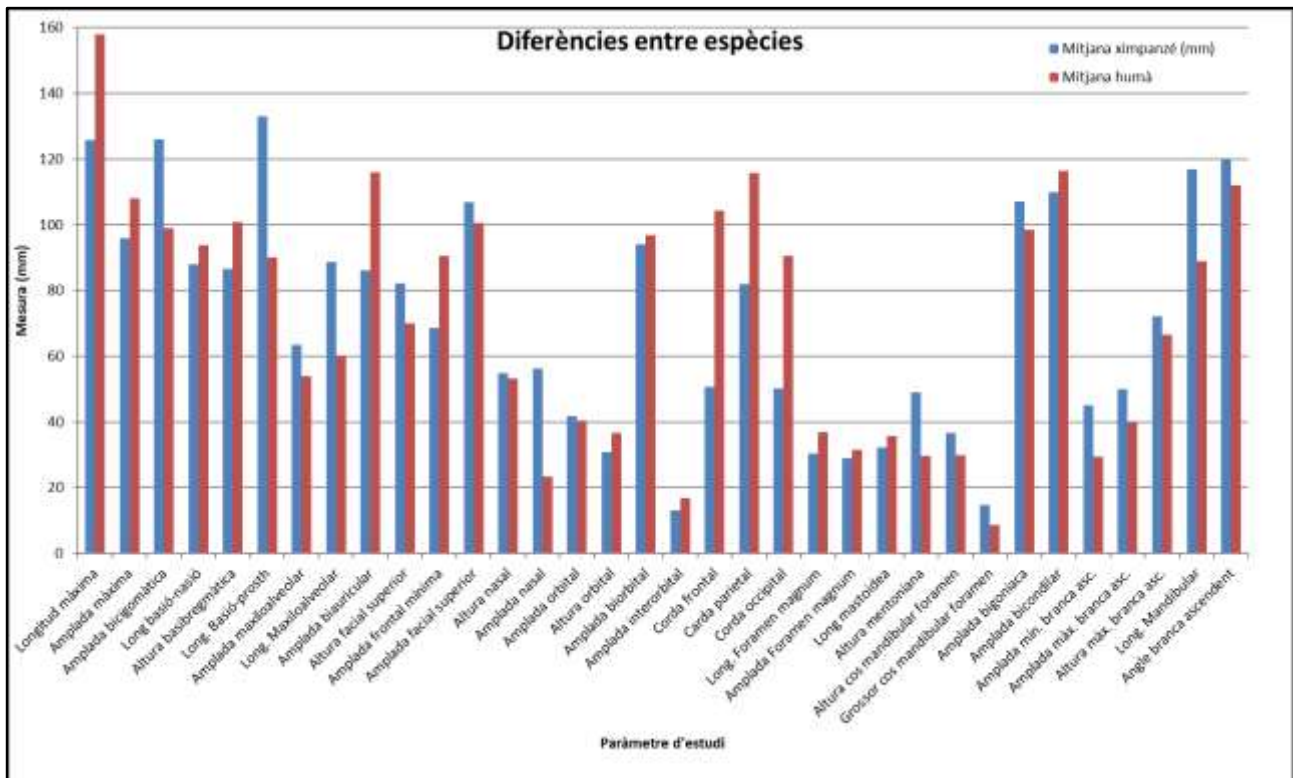
En un treball minuciós s'haurien de prendre mesures de gran quantitat d'ossos. Tant és així que si no s'haguessin donat les condicions de dificultat temporal degudes a la pandèmia, s'haurien pres més mesures de la pelvis, els húmer, les tíbies, etc. però el treball va ser centrar en el crani de manera exhaustiva i precisa prenen moltes longituds, amplituds i altures per quatre motius: és la part més fascinant, és una estructura òssia que es conserva en la majoria de cassos prou bé (si alguna part es troba fracturada és senzill reconstruir-la amb ordinador), és un signe referent de la nostra espècie, allò que en gran mesura ens diferencia de la resta d'animals i és una part molt rellevant en la història de l'evolució humana.

Es va començar mesurant multitud de distàncies del crani i la mandíbula de l'esquelet masculí. Un cop fet això, es va realitzar amb la dona i la ximpanzé. Llavors, es va repetir el procés dos cops més, l'últim dels quals es va fer per corregir errades mètriques.

Després, amb el programa "Excel" de Microsoft Office van fer-se les mitjanes de les mesures de l'home, de la dona i de la ximpanzé, d'aquesta manera va quedar una única taula per individu. Així, es podia veure la comparació de mesures entre sexes de la mateixa espècie (*Homo sapiens*).

Més tard, es va realitzar la mitjana humana amb les dues taules resultants i es va disposar al costat de la de la ximpanzé per poder comparar les seves diferències mètriques (Annexos 1. Taules mètriques). A continuació, es va fer el següent gràfic per veure les dades de forma més visual (Gràfic 1).

Gràfic 1. Comparació de mesures entre la mitjana humana i la mitjana ximpanzé



De forma general, seran descrites les mesures més representatives i importants per la diferència entre humana i ximpanzé:

La longitud màxima de la ximpanzé és de 125,75mm i la de l'humà 158. Es veu que la longitud humana en aquest aspecte és més gran, fet que ens deixa entendre que presenta un crani més allargat des de la part de la glàbula fins a l'occipital.

L'amplada màxima de l'humà és de 108mm, mentre que la de la ximpanzé és menor, de 96. Es pot observar quantitativament, per tant, que l'amplitud cranial humana és superior en mida respecte a la de la ximpanzé.

La ximpanzé presenta un diàmetre bizigomàtic major (126mm) que l'humà (99mm) degut a que la distància dels arcs zigomàtics al propi crani és més gran. Tal i com s'ha pogut observar de manera qualitativa, la part posterior de la mandíbula de la ximpanzé és més allargada. Per això, la longitud basio-pronh és més pronunciada en la ximpanzé. Sobre l'amplada maxil·lo-alveolar, la ximpanzé té una mida de 63,4mm, davant dels 53,83mm que té l'humà. L'amplada mandibular ximpanzé serà més espaiosa i, per tant, amb més capacitat. Pel mateix motiu, la longitud maxil·lo-alveolar és superior en la ximpanzé (28,42mm més)

Sorprenentment, i contrari a la hipòtesi inicial, l'amplada biauricular (longitud entre els punts auriculars) de l'humà (115,88mm) és més extensa que la de la ximpanzé (86,2mm). És observable que els punts auriculars en els humans tenen una separació major. Igualment, l'amplada frontal mínima (distància entre les dues línies temporals de l'os frontal) és més folgada en l'humà amb 90,53mm que en la ximpanzé amb 68,6mm molt possiblement per l'augment en la capacitat cranial. D'altra banda, la ximpanzé té una amplada facial superior de 106,85mm i l'humà de 100,48 ja que la primera presenta per sobre de les vores orbitals un torus supraorbital molt pronunciat (es poden percebre una mica en l'home, en la dona són pràcticament menyspreables). Com es va veure quan es va fer l'estudi identificatiu i, doncs, amb les imatges, l'altura nasal no és gaire diferent entre les espècies, però sí que ho és l'amplada nasal: 23,3mm la humana i 56,15mm la ximpanzé. Això ens indica que els segons presentaran un nas més gran.

L'amplada orbital és similar, però difereixen en l'altra. L'humà la té de 36,7mm i la ximpanzé de 30,8. Encara que a simple vista semblin més o menys iguals, la concavitat humana inferior és més profunda. A més, una de les diferències més abruptes es troba en el frontal, parietal i occipital, sobretot en la frontal. L'humà presenta una distància entre el nàcion i el bregma de 104,25mm, una de 115,83 entre el bregma i el lambda i una entre el lambda i l'opístion de 90,43, mentre que les de la ximpanzé simultàniament són: 50,65 i 81,8 i 50,2. D'igual forma que l'amplada frontal mínima, aquestes dades reflecteixen que la capacitat cranial humana és molt superior en els humans. La situació més clara es veu amb la corda frontal, la de l'humà és una mica més de dues vegades la de la ximpanzé.

També, l'humà té una longitud del foramen màgnum (36,85mm) superior a la de la ximpanzé (30,35). Això implica que la distància entre el bàsion i l'opístion és més ampla en l'humà segurament pels canvis en les vèrtebres (la ximpanzé té 13 vèrtebres toràciques i 4 lumbar, a diferència de l'humà, que en té 12 i 5).

Entrant en la mandíbula en detall, l'única mesura en la que l'humà sobrepassa a la ximpanzé és en l'amplada bicondilar. La de l'humà és de 116,48 i la de l'altre individu de 109,8. Com es pot observar quantitativament, els còndils mandibulars resten més separats en l'humà, en concret en la dona, i més junts en la ximpanzé. El cos mandibular humà és menys llarg, però més ample. Altrament, la ximpanzé té una altura mentoniana de 48,95mm enfront dels 29,53 humans. Coincideix amb les fotografies ja que es pot veure que la inclinació mandibular del ximpanzé cap a l'exterior produeix un augment dels mm de recorregut entre el gnàtion i l'infradentale. Tanmateix, les amplades màxima i mínima de la branca ascendent són més voluminoses en la ximpanzé (49,9 i 45,1). Es pot veure en les fotografies com aquestes dades mostren que la part lateral de la ximpanzé és més ampla que la humana. Un fet a remarcar, és que en aquesta part de

la mandíbula s'assemblen més entre femelles que no pas entre la ximpanzé i l'home. Així mateix, la ximpanzé té una longitud mandibular més gran (116,9) que l'humà (88,93) perquè la seva mandíbula té exagerada la llargada en la part anterior.

Per últim, l'angle de branca ascendent és de 120° en la ximpanzé i de 112° en l'humà. Quantitativament s'observa que la branca ascendent és més oberta en la ximpanzé, per tant, l'angle serà igualment més obert.

5.3 Càlcul de l'error intra-observador

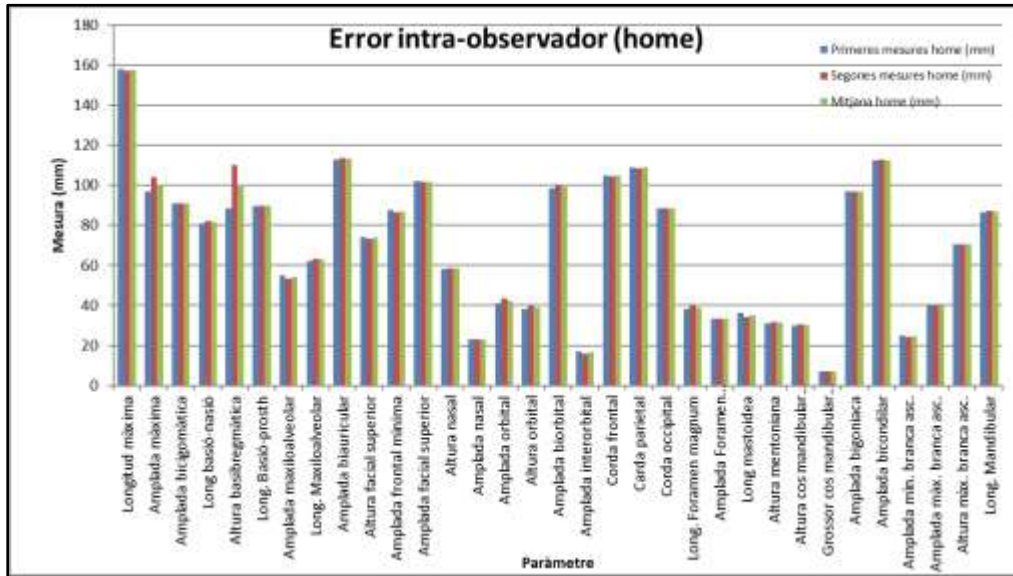
Posteriorment al càlcul de les diverses mesures mètriques mitjanes es va calcular l'error intra-observador. Es va realitzar per assegurar que els resultats comparatius eren fiables a l'hora de prendre les mesures.

Aquest error es basa en el fet que mesurant dues o més vegades la distància entre dos punts, amb un cert interval de temps (en aquest cas de dues setmanes), cadascuna donarà valors lleugerament diferents per un error mil·limètric en el posicionament dels estris com el peu de rei o el craniòmetre.

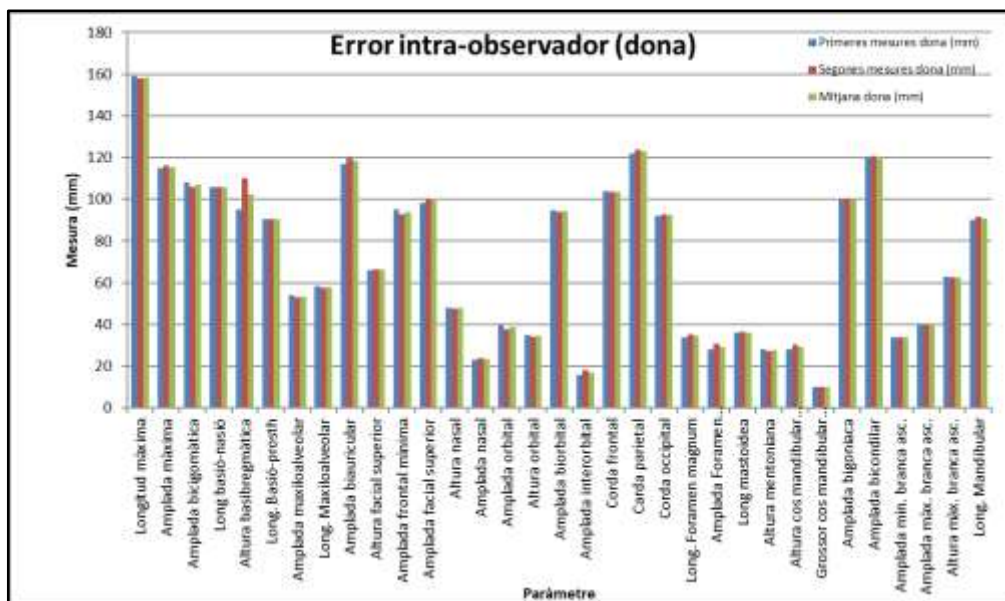
L'error intra-observador (Annexos 1. Taules mètriques) va ser calculat a partir de la prova U de Mann-Whitney. Es va utilitzar aquesta prova perquè en ser de caràcter no paramètric donava una bona resposta davant les que no seguien una distribució normal. Aquesta distribució no normal es deu a la falta d'individus per l'estudi i de mesures. Com més mesures es facin, més fiables serà la distribució estadística.

Una distribució de dades classifica la seva fiabilitat entre 0 i 1, sent 0 no fiable i 1 molt fiable. Les distribucions sortiren fiables per ser una comparació entre tres individus, com he explicat anteriorment. La distribució de l'home va sortir d'un 0,83, la de la dona (la més fiable) d'un 0,917 i la de la ximpanzé d'un 0,84. Les mitjanes pels errors intra-observador es van realitzar en forma de taules (Annexos 1. Taules mètriques) i, posteriorment, en forma de gràfiques (Gràfic 2, Gràfic 3 i Gràfic 4):

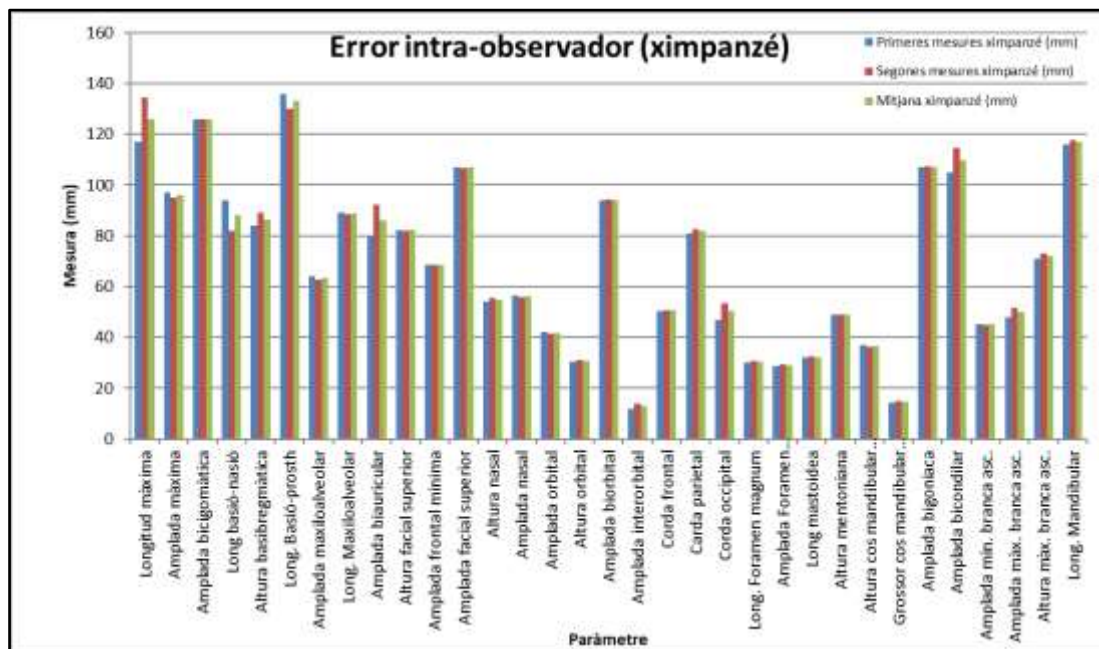
Gràfic 2. Mesures de l'home per calcular l'error intra-observador



Gràfic 3. Mesures de la dona per calcular l'error intra-observador



Gràfic 4. Mesures de la ximpanzé per calcular l'error intra-observador



6. Discussió

Un cop realitzat l'anàlisi de les dades (l'estudi quantitatiu) i en haver comprovat que no existeix error intra-observador, es pot observar que hi ha diferències quantitatives entre ximpanzés i humans en molts dels ossos estudiats -tot i que a causa de la baixa mostra d'anàlisi no són estadísticament significatives-. L'observació de les mitjanes cranials humanes mostra que els cranis són considerablement diferents entre espècies.

A més, les diferències qualitatives observades també evidencien l'existència de modificacions generals en l'esquelet dels ximpanzés i humans, com per exemple l'alçada i l'amplada de les extremitats. Juntament amb aquestes diferències generals, trobem una sèrie de modificacions específiques en els ossos que generen modificacions generals en la seva anatomia. Totes les similituds observades entre les espècies es deuen al parentiu filogenètic de les dues (Young *et al.*, 2015), mentre que les seves diferències s'expliquen pels canvis epigenètics i genètics que pateixen.

A nivell genètic els canvis morfològics observats són conseqüència de mutacions aleatòries que presenta el genoma de les espècies on l'expressió pot ser diversa. Una evidència dels canvis que observem en la genètica dels ximpanzés i els humans es pot observar en els seus cromosomes. Aquest tipus de mutacions que acaben generant canvis cromosòmics tenen repercussió en tot l'organisme tant anatòmica com molecularment. Els principals canvis que trobem en els cromosomes dels ximpanzés i el humans son el següents (Pásaro *et al.*, 1993):

- Parell cromosòmic 1: Estable i amb un grau d'elevada semblança amb el ximpanzé. L'única diferència és que el ximpanzé veu reduïda la constricció secundària (regió extrema del cromosoma on es transcriuen gens a ARN).
- Parell cromosòmic 2: Important en la diferenciació de l'home. En el ximpanzé està expressat per una parella de cromosomes acrocèntrics. La seva fusió en l'espècie humana va comportar el pas entre un nombre cromosòmic diploide $2n=48$ a $2n=46$.
- Parell cromosòmic 4 i 5: Difereixen significativament entre l'home i els grans primats, entre ells el ximpanzé. L'home té una inversió pericèntrica ocorreguda durant la filogènesi.
- Parell cromosòmic 7: Ha patit reestructuracions complexes en l'evolució dels homínids perquè té una freqüència elevada d'aparicions de translocacions somàtiques entre ell i el 14.
- Parell cromosòmic 9: és metacèntric en el ximpanzé i submetracèntric en l'home. La resta de grans simis el tenen acrocèntric. En aquest cromosoma es troba la informació del grup sanguini.
- Parell cromosòmic 12, 15 i 16: El ximpanzé presenta una inversió pericèntrica

- Parell cromosòmic 18: L'home presenta una inversió pericèntrica
- Parell cromosòmic 22: Ha sigut estable al llarg de l'evolució en tots els grans simis menys en un tipus de espècie de ximpanzé, el *Pan paniscus*.

A més de les variacions concretes en els parells cromosòmics, és notable destacar que els humans moderns tenen 46 cromosomes mentre que els ximpanzés en tenen 48. El fet de presentar l'expressió d'un gen diferent canvia completament els individus, però, evidentment, tenir 2 cromosomes de diferència altera substancialment les espècies.

A nivell epigenètic les diferències i similituds observades en els nostres resultats són conseqüència d'adaptacions a l'ambient, l'hàbitat o el clima. Evolutivament els individus més ben adaptats a unes condicions concretes en un determinat ambient sobreviuen, mentre que els menys adaptats moren. A més, els canvis de dieta derivats de noves condicions ambientals van determinar la condició mandibular actual. També, com que els humans van desenvolupar l'habilitat de fabricar eines i amb elles tallar carn entre altres aliments, les grans mandíbules i dents ja no eren necessàries i tampoc ho era la seva funció; havien caigut en desús. Per tant, es van anar atrofiar i van esdevenir verticalment aplanades amb una mandíbula i unes dents més fines. Les conseqüències d'aquestes adaptacions són una influència en l'expressió dels gens dels seus descendents (Sejian *et al.*, 2015).

La influència de la epigenètica en l'anatomia dels nostres individus analitzats es pot observar en les diferents parts del cos. A nivell d'esquelet apendicular, els resultats mostren que les extremitats superiors dels ximpanzés són més llargues que les dels humans i les extremitats inferiors són més curtes.

Per una banda, la llargada de l'extremitat superior es deu al fet que els ximpanzés utilitzen l'extremitat superior com a element locomotor, ja que presenten un tipus de marxa anomenada "knuckle-walking" que consisteix a caminar recolzant el pes en les falanges de les mans (Casado *et al.*, 2019). L'escurçament de l'extremitat superior és considerada una adaptació a la locomoció arbòria ja que les extremitats inferiors del ximpanzé l'ajuden a enfilarse pels arbres (Ruff & Runestad, 1992).

Per altra banda, l'escurçament de l'extremitat inferior també és conseqüència de la morfologia de la pelvis (Foto 16 i Foto 17). Els ximpanzés tenen una pelvis primitiva, amb les ales ilíaqües aplanades, com la gran majoria de quadrúpedes.



Foto 16. Pelvis ximpanzé (Imatge pròpia)



Foto 17. Pelvis humana (Imatge pròpia)

Aquesta forma de la pelvis facilita el part. L'humà, a conseqüència del bipedisme i de l'encefalització modifica la pelvis primitiva i genera adaptacions (descrites a resultats) perquè la pelvis serveixi com a base de suport per a les vísceres corporals, tenint com a repercussió problemes al part (Aiello & Wheeler, 1995).

En relació a aquests canvis les extremitats inferiors (Foto 16 i Foto 17) es van tornant evolutivament més robustes i allargades per permetre que la musculació corporal creixi i generi més resistència al pes del cos i als canvis d'aquest que es generen al tornar-nos bípedes (Ruff & Runestad, 1992).

A nivell d'esquelet axial, veiem dues principals modificacions, les del crani i les del tòrax.

Els canvis morfològics cranials son causats per tres factors: l'expansió encefàlica, la reducció de l'aparell mastegador i la posició bípeda.

Gran part de la cara dels humans moderns va ser girada cap endarrere i cap a baix per sota de la cavitat craniana. A més el cervell va créixer en la part superior de l'esquelet facial. Els ossos de les bases cranials dels humans moderns, aquells que resten entre la cara i el cervell, tenen una corba més llarga (Foto 18).

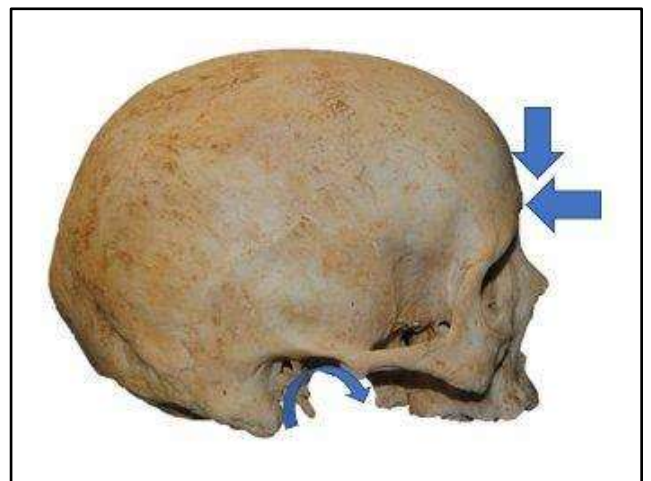


Foto 18. Crani humà (Imatge pròpia)

És a dir, la base cranial està més flexionada (Aiello & Dean, 1990).

En conseqüència de l'augment del cervell humà, la cavitat cranial va haver d'expandir-se, per poder suportar el pes i les noves dimensions. Per aquest motiu els resultats relacionats amb l'altura i l'amplitud cranials són sempre més grans en l'humà que en el ximpanzé. A nivell ocular, es modifica la visió: els haplorrins (entre ells l'humà i el ximpanzé) presenten unes òrbites tancades per l'expansió de les ales majors de l'esfenoide i de la fosa temporal que produeix el guany de camp ocular (a més es forma la macula lútea i la fovea central). No obstant, no comptem amb la capacitat de síntesi lluminosa dels strepsirrins (presenten tapetum lucidum) (Aiello & Dean, 1990).

L'amplitud i longitud cranianes superiors del humà al ximpanzé són degudes a la rotació anteroinferior del foramen màgnum (Foto 19 i 20). El forat magne es reposiciona en l'humà a causa de la recol·locació dels ossos cranials que es dona amb l'encefalització. A mesura que el cervell humà creix, les estructures que l'envolten s'han de modificar perquè es pugui donar lloc al seu creixement, la rotació anteroinferior del forat magne permet una major expansió cranial de l'os occipital i una recol·locació dels ossos parietals (Aiello & Dean, 1990).



Foto 19. Foramen màgnum humà (Imatge pròpia)

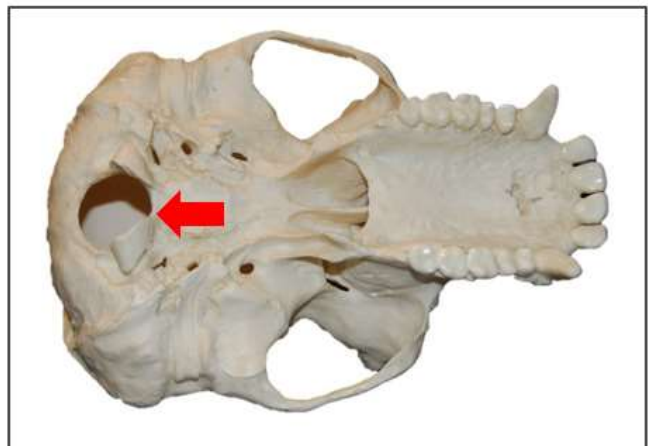


Foto 20. Foramen màgnum ximpanzé (Imatge pròpia)

Molts homínids (entre ells el ximpanzé) tenen crestes sagitals (d'utilitat sexual i estructural) (Foto 21) per fixar els seus músculs temporals i aquestes convergeixen a la part posterior fusionant-se amb la cresta nucal per formar crestes temporal-nucals. Des d'una visió superior, el contorn cranial del ximpanzé és extremadament ample amb els arcs zigomàtics acampanats -27 mm més àmplia segons l'amplada bizigomàtica dels nostres resultats- això és causa de l'augment del múscul temporal. A més, tenir arcs zigomàtics amples aporta al múscul pterigoide masetero-medial (Figura 14) un avantatge en dur a terme moviments transversals amb la

mandíbula (DuBrul, 1977). També, la base cranial ximpanzé té grans superfícies d'inserció dels músculs llargs del cap.

Aquestes adaptacions cranials estan associades amb la generació i dissipació d'altres forces de mossegada i ocorren a través d'evolució convergent. El tipus d'articulació que ocorre entre els ossos temporals, occipitals i parietals reflecteix aquestes grans forces mossegadores generades al voltant del crani (DuBrul, 1977) i la mandíbula. Una conseqüència directa, mesurada i observada, és que els ximpanzés presenten una mandíbula allargada precisament per això, perquè tenen un gran suport muscular (Figura 14), al contrari que els humans, que en no tenir tanta musculatura és fisiològicament impossible que els

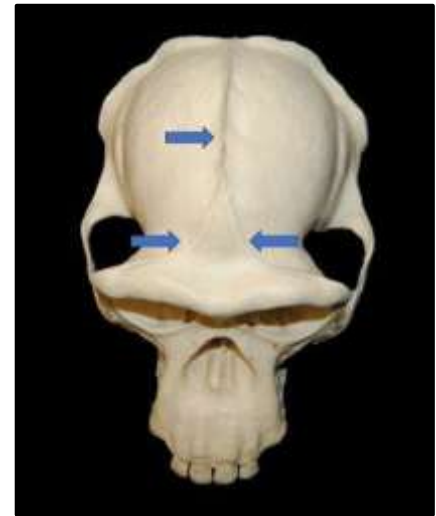


Foto 21. Crani ximpanzé (imatge pròpia)

còndils i, per tant, el crani aguantessin aquest pes.

Per tant, com a canvis més destacats del crani podem remarcar que l'expansió de l'encèfal i la reducció de l'aparell mastegador van permetre als humans modificar la morfologia cranial de les normes occipital i vertical i la base cranial va quedar més curta, ample i corbada per la posició bípeda (Aiello & Dean, 1990).

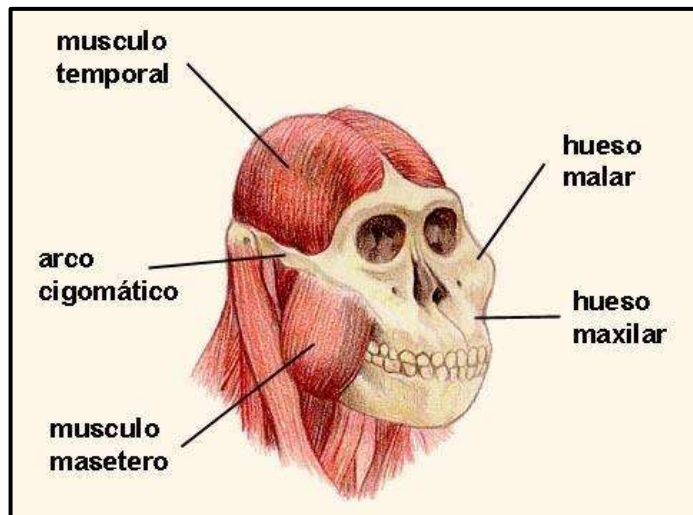


Figura 14. Músculs i ossos del crani ximpanzé (Figura extreta de: http://personal.iesvegadelturia.es/jvaluena/Evolucion/m3/m3_u3_texto/m3_u3_035.html)

A nivell toràcic, podem destacar dos elements principals. La columna vertebral (Figura 15), que encara que pertany a l'esquelet axial, és fonamental per a la delimitació de la caixa toràcica, i les costelles (Figura 16). La columna vertebral dels ximpanzés difereix amb la dels humans en la curvatura de la columna i la distribució del nombre de vèrtebres, però no en el seu nombre (les dues espècies tenen 26 vèrtebres). En els humans la vèrtebra T-13 es transforma en L1 i la vèrtebra S1 (integrada al sacre) es transforma en L5 (Aiello & Dean, 1990). Per tant, els ximpanzés presenten: 7 cervicals, 13 toràciques, 4 lumbar, 1 sacres i 1 del còccix. Mentre que els humans tenen: 7 cervicals, 12 toràciques, 5 lumbar, 1 sacres i 1 del còccix -tanmateix, les vèrtebres del sacre i

del còccix són fusions d'un nombre de vertebres major tant en el ximpanzé com en l'humà- (Aiello & Dean, 1990).

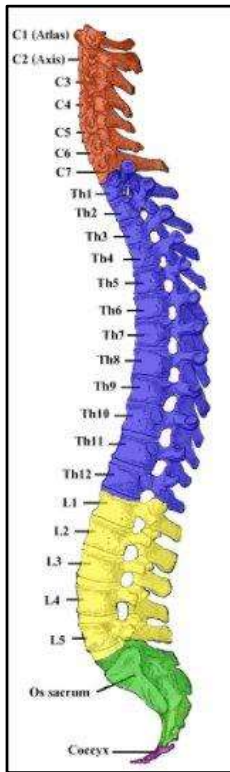


Figura 15. Vèrtebres humanes (Imatge extreta de <https://www.saberpractico.com/anatomia/cuantas-vertebras-tenemos/>)

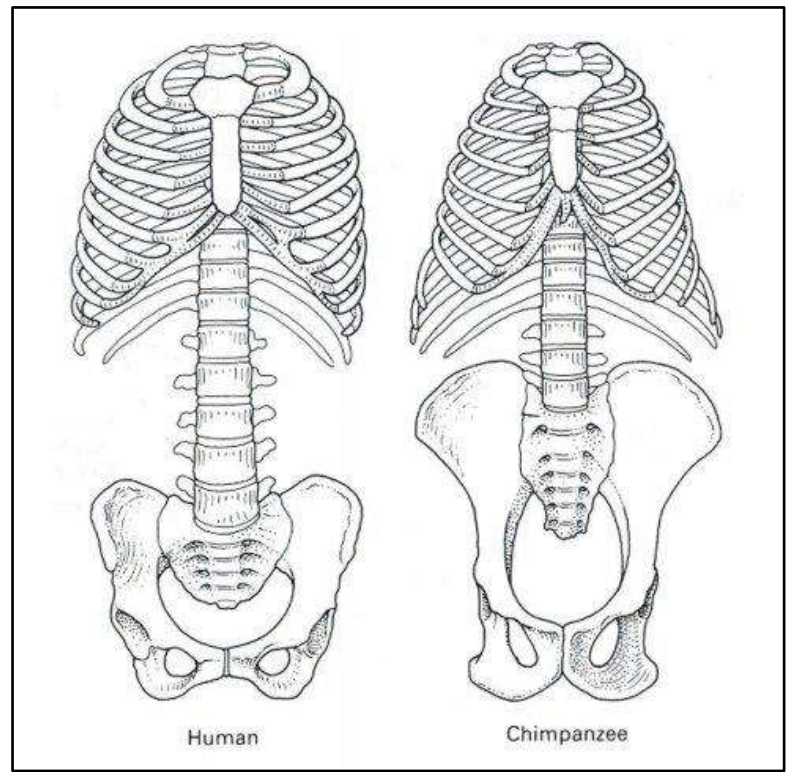


Figura 16. Comparació entre vèrtebres humanes i ximpanzé (Imatge modificada de Aiello & Dean, 1990)

També podem observar que la morfologia de les costelles de les dues espècies és visualment diferent.

Els principals canvis anatòmics que apreciem a nivell de tòrax tenen relació amb les modificacions realitzades en l'extremitat superior i la pelvis. Com a conseqüència de l'encefalització, el bipedisme i l'alliberament de les mans (per a la manipulació d'objectes i creació d'eines) la columna vertebral es recol·loca verticalment i genera un sistema de curvatura on es produeix una lordosi cervical, un cifosi toràcica i una lordosi lumbar perquè es pugui suportar tot el pes del cos en l'extremitat inferior. El ximpanzé presenta una caixa toràcica (Figura 17) acampanada (per distribuir millor el pes) amb un major nombre de costelles lliures (flotants), mentre que l'humà presenta una caixa toràcica en forma d'embut, amb un major nombre de costelles vertebrocostals (verdaderes) i vertebrocondrals (falses) però amb un menor nombre de costelles lliures (flotants)-els ximpanzés tenen en tenen més de lliures perquè la caixa toràcica sigui més flexible- (García-Martínez et al., 2015). En base a aquesta remodelació

derivada del bipedisme i com a necessitat per a un correcte funcionament de l'aparell respiratori i digestiu, es produeixen també els canvis en les costelles observats anteriorment (Aiello & Dean, 1990; Aiello & Wheeler, 1995; García-Martínez et al., 2015).

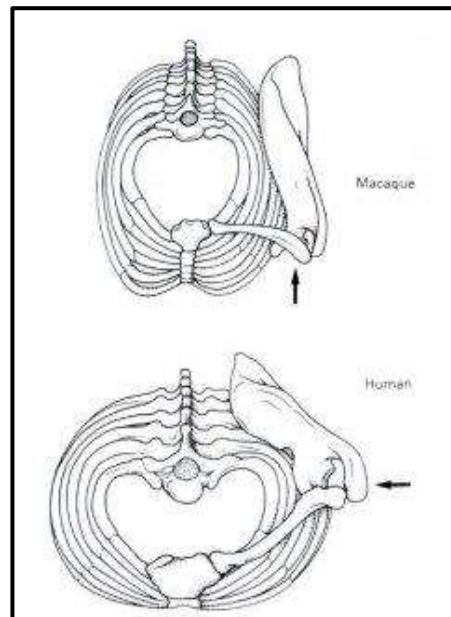


Figura 17. Comparació entre vèrtebres humanes i ximpanzé (Imatge modificada de Aiello & Dean, 1990)

7. Conclusions

Durant els últims mesos, es va realitzar un estudi comparatiu per determinar les semblances i diferències entre *Homo sapiens* i *Pan troglodytes*. Aquest es va dividir en una part qualitativa i en una quantitativa. Primerament, es van muntar tres esquelets (home, dona i ximpanzé) i es van identificar els ossos. Després, es van observar i anotar les diferències osteològiques a cop d'ull (entre home i dona i després amb la ximpanzé) i, finalment, es corroboraren aquests resultats prenent mesures mètriques de múltiples distàncies i angles. Les mesures van ser realitzades en diversos punts de del crani i la mandíbula perquè són aspectes característics de cada espècie i, perquè encara que es fragmentin, poden ser reconstruïts fàcilment. Tot i això, van ser estudiades qualitativament la pelvis, les vèrtebres i els ossos llargs com l'húmer, la tibia i el fèmur pel fet de presentar canvis morfològics molt grans.

Es va poder observar que les similituds entre els esquelets són sorprenents. Això, resulta en el fet que ambdues espècies presenten un parentiu filogenètic.

Respecte les diferències, es poden dividir en canvis succeïts per un factor genètic i un de filogenètic. Genèticament, les espècies van patir mutacions que alteraren el seu genotip i filogenèticament, les adaptacions a l'ambient influïren en l'expressió dels gens. A grans trets, es va determinar que la llargada dels ossos llargs era superior en els humans que en els ximpanzés per permetre un creixement de la musculació corporal i generar més resistència al pes corporal entre altres canvis derivats del bipedisme. El crani humà, a més, va patir una encefalització deguda a l'augment de la capacitat cerebral, un bipedisme i una reducció de l'aparell mastegador. Això se'ns mostra als resultats; entre altres mesures identificatives, es pot observar que el foramen màgnum és més ample i llarg en l'humà (pel bipedisme), l'altura màxima cranial és superior en l'humà (per l'encefalització) i la longitud mandibular és superior en el ximpanzé per adaptacions a l'ambient i distribució muscular. Els humans no presenten aquest prognatisme perquè en desenvolupar eines, van perdre volum muscular mandibular i, per tant, la mandíbula es va anar adaptant i recol·locant. També, els humans presenten una columna vertebral més verticalitzada, amb una vèrtebra toràcica menys i una lumbar més respecte els ximpanzés degut al bipedisme. Pel mateix motiu, la pelvis humana varia disminuint en alçada i obtenint una forma còncava.

Un cop feta una recerca bibliogràfica sobre el tema i estudi complert comparant ossos d'humans (home i dona) i d'una ximpanzé de forma qualitativa i quantitativa, els resultats analitzats i les seves argumentacions, es pot concloure que existeixen diferències significatives en tots els ossos estudiats. A través del treball s'ha corroborat que l'H₀ és errònia i, per tant, queda invalidada. Per aquest motiu, s'ha d'acceptar l'H₁ ja que existeixen diferències significatives, quantitatives i qualitatives entre l'anatomia del ximpanzé i l'humà.

Per tant, es pot concloure l'assoliment de l'objectiu principal: buscar diferències osteològiques entre els esquelets d'un humà i un ximpanzé. S'han determinat les semblances i les diferències així com els seus fonaments.

Igualment, a través de l'estudi qualitatiu i quantitatiu dels esquelets humans s'han pogut establir les diferències osteològiques entre les pelvis, els cranis i les mandíbules. També, s'han utilitzat diferents metodologies que es fan servir en la investigació científica actual mesurant distàncies amb un peu de rei, un goniòmetre i un craniòmetre. Igualment, s'han comparat els cranis, les mandíbules i les pelvis d'un *Homo sapiens* dona i d'un home observant qualitativament les seves diferències. S'han entès conceptes anatòmics bàsics relacionats amb els ossos i els seus respectius punts de mesura a més d'entendre a diferenciar i classificar els diferents ossos del cos humà. Així mateix, s'han comprès les tècniques científiques d'estudi osteològic actuals de forma teoritzada com l'estudi d'elements finits o la morfometria geomètrica i de forma pràctica com l'escàner 3D -utilitzat per comprovar que les tecnologies actuals de mesura són més precises i cometen un error menor que les metodologies quantitatives d'anàlisi antropològica tradicionals-. S'ha destriat de manera primària entre les metodologies adequades per resoldre un problema científic; com són les que impliquen una recerca bibliogràfica, un posterior disseny experimental, una discussió dels resultats obtinguts i, finalment, la seves conclusions. Per tant, s'han assolit satisfactòriament els objectius abans explicats.

A més de per les raons esmentades anteriorment, es creu important entendre la morfologia humana i ximpanzé per primerament comprendre com són i per què estan constituïts d'aquesta manera. En haver trobat uns resultats i discutir-los s'ha pogut entendre la importància d'una bona recerca científica. En segon lloc, perquè a partir d'aquest moment, tenint una base anatòmica establerta, es podrà seguir investigant d'una forma més especialitzada i concreta. Així mateix, es va partir d'un coneixement molt limitat de l'osteologia humana i ximpanzé i s'ha arribat a entendre un temari tant teòric com pràctic ample.

Un altre punt a destacar són les incidències ocorregudes, totes elles degudes a la pandèmia del SARS-CoV-2. En un inici, les pràctiques a la universitat anaven a ser realitzades entre el juny i el juliol, però van ser endarrerides pels tancaments perimetrals fins al novembre. Aquest succés va comportar poder anar a la universitat només tres dies i prendre un nombre de mesures limitat. Per tant, es pensa que una forma de millorar la recerca seria prenent més mesures, entre quinze i vint, dels ossos estudiats. Així la fiabilitat estadística augmentaria i els resultats serien més consistents. Una altra forma de millorar compatible amb l'anterior seria augmentant el nombre total de mostres esquelètiques (com a mínim tres humans més i quatre ximpanzés més), d'aquesta forma es podria comprovar millor que existeixen característiques compartides dins de l'espècie i les mesures preses no es fonamentarien en ossos amb una morfologia alterada.

Personalment, he trobat el treball molt enriquidor. Aquest tema m'apassionava des que vaig començar el batxillerat i poder fer recerca sobre aquest, estar en un laboratori treballant i aprendre sobre una multitud d'elements m'ha encantat. Per finalitzar, penso que aquesta recerca m'ha sigut útil per entendre l'evolució dels humans i els ximpanzés i, de cara al futur, com que em voldria dedicar a la genètica, comprendre la influència i els canvis que han produït la genètica i l'epigenètica m'ha permès ampliar la meua visió.

8. Agraïments

En aquest apartat vull agrair en primer lloc a la Universitat de Barcelona per haver convocat una vegada més el programa Forces i haver estat partícip d'aquest.

També, encara que no crec que aquestes línies facin justícia a tota l'ajuda que m'ha donat, a la meva tutora en la universitat, l'Aroa Casado, qui m'ha ajudat en les meves dificultats, explicant-me amb cura qualsevol dubte que em sorgia. Ens vam comunicar des de maig per correu electrònic i, després, cara a cara els tres cops que vaig tenir l'oportunitat d'anar a la Universitat.

He pogut comprovar que li agrada veritablement la seva feina amb l'entusiasme en que explica.

Així mateix, a la meva tutora del centre, la Rosa Llop, qui em va donar suport aportant la seva visió al treball i explicant-me elements que havia de tenir en compte.

Per últim, a la meva mare i al meu pare per haver-me portat a Barcelona sempre que es va poder i pel seu suport sempre inigualable.

9. Bibliografía

- Aiello, L. & Dean, C. (1990). *Human Evolutionary Anatomy*. Academic Press. doi:10.1016/C2009-0-02515-X
- Aiello, L.C. & Wheeler, P. (1995). *The expensive-tissue hypothesis: the brain and the digestive system in human and primate evolution*. *Current Anthropology*; 36: 199–221. doi:10.1086/204350
- Brothwell, D.R. (1987). *Desenterrando huesos. La excavación, tratamiento y estudio de restos del esqueleto humano*. ISBN: 84-375-0367-1
- Caballero, L., Fernando, A. & Feijoo, S. (1996). *Fotogrametría y análisis arqueológico*. *Revista de Arqueología*; 17: 186. ISSN 0212-0062
- Carretero, J.M., Santos, E., Rodríguez, L., García, R. & Juez, L. (2010). *La Tomografía Axial Computarizada (TAC) y su utilidad para el estudio, conservación y difusión del patrimonio Paleontológico. Algunos ejemplos de la Sierra de Atapuerca*. ISBN: 978-84-8181-461-3
- Casado, A., Punsola, V., Gómez, M., De Diego M., Barbosa, M., De Paz, F.J. & Potau, J.M. (2019). *Three-dimensional geometric morphometric analysis of the distal radius insertion sites of the palmar radiocarpal ligaments in hominoid primates*. *American Journal of Physical Anthropology*; 170: 24–36. doi:10.1002/ajpa.23885
- Darwin, C. (1959). *The origin of species*. Cambridge: Harvard University Press.
- García-Martínez, D., Recheis, W. & Bastir, M. (2015). *Ontogeny of 3D rib curvature and its importance for the understanding of human thorax development*. *American Journal of Physical Anthropology*; 159: 423–431. doi:10.1002/ajpa.2289
- Hernández, S. & Mitjavila, M. (2006). *Introducción a la tomografía computarizada*. *Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular*; 25: 206–214.

- Hubbell, S.P. (2006). *Neutral theory and the evolution of geological equivalence*. Ecology; 87: 1387–1398. doi:10.1890/0012-9658(2006)87[1387:ntateo]2.0.co;2
- Kendall, D.G. (1977). *The diffusion of shape*. Advances in Applied Probability; 9: 428–430.
- Kirkpatrick, B. & Stevens, K. (2014). *Perfect Phylogeny Problems with Missing Values*. Transactions on Computational Biology Bioinformatics; 11: 928–941. doi:10.1109/TCBB.2014.2316005
- Kovác, L. (2019). *Lamarck and Darwin revisited*. EMBO reports; 20: e47922. doi:10.15252/embr.201947922
- Krenzer, U. (2006). *Compendio de métodos antropológico forenses para la reconstrucción del perfil osteo-biológico*. Tomo V: Características Individualizantes. Serie de Antropología Forense. CAFCA, Guatemala.
- Lafuente, J., García, M.A. & Hernando, A. (2020). *La imagen por resonancia magnética, sus fundamentos*. Revista Española de Física; 34: 17–24. <http://revistadefisica.es/index.php/ref/article/view/2635/2115>
- Lawrence, E. (ed.) (2003). *Diccionario Akal de Términos Biológicos*. ISBN 10: 844601582X / ISBN 13: 978-8446015826
- Liu, Y. (2018). *Darwin's Pangenesis: A Theory of Everything?*. Advances in Genetics; 101: 1–30. doi:10.1016/bs.adgen.2018.05.001
- Malik, A.S. (Ed.) (2011). *Depth Map and 3D Imaging Applications: Algorithms and Technologies: Algorithms and Technologies*. IGI Global.
- Monod, J. (1970). *L'atzar i la necessitat*. Tusquets, Barcelona.
- Netter, F. (2014). *Atlas de anatomia humana*. 6a Ed. ISBN 10: 8445826077/ ISBN 13: 978-8445826072

- De la Rosa, L. & Etxeberria, A. (2010). *¿Fue Darwin el «Newton de la brizna de hierba»? La herencia de Kant en la teoría darwinista de la evolución*. *Revistas científicas UNED*; 24 .doi:10.5944/endoxa.24.2010.5217

- Ortiz, P. (2013). *Digitalización automática del patrimonio arqueológico a partir de fotogrametría*. *Virtual Archaeology Review*; 4: 46–49. <https://doi.org/10.4995/var.2013.4287>

- Pásaro E., Fernández R., Méndez J. (1993). *Optical density profile analysis of trypsin- Giemsa bands in human X- chromosomes*. *Wiley Online Library*; 117-121. doi: 10.1111/j.1469-1809.1993.tb00893.x

- Paz-y-Miño, C., Karina, A. & Leone, P. (2018). *El caminar de los genes y el reloj molecular: Realidad del Ecuador*. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*; 39: 85–91. e-ISSN 2477-9148

- Püschel, T.A., Marcé-Nogué, J., Chamberlain, A.T., Yoxall, A. & Sellers, W.I. (2020). *The biomechanical importance of the scaphoid-centrale fusion during simulated knuckle-walking and its implications for human locomotor evolution*. *Scientific Reports*; 10: 3526. doi:10.1038/s41598-020-60590-6

- Ruff, C.B. & Runestad, J.A. (1992). *Primate Limb Bone Structural Adaptations*. *Annual Review of Anthropology*; 21: 407–433. doi:10.1146/annurev.an.21.100192.002203

- Sejian, V., Gaughan, J., Baumgard, L., Prasad, C. (eds.) (2015). *Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation*. Springer. doi:10.1007/978-81-322-2265-1

- Tessera, M. & Hoelzer, G.A. (2013). *On the thermodynamics of multilevel evolution*. *Biosystems*; 113: 140–143. doi: 10.1016/j.biosystems.2013.05.011.

- Toranzos, V., Zini, L., & Busso, A. (2016). *Desarrollo de un scanner 3D*. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*; 3: 129–137. doi: 10.30972/eitt.303001

- Toro, M.V., Manríquez, G. & Suazo, I. (2010). *Morfometría Geométrica y el Estudio de las Formas Biológicas: De la Morfología Descriptiva a la Morfología Cuantitativa*. *International Journal of Morphology*; 28: 977–990. doi:10.4067/S0717-95022010000400001

- Van Iersel, L., Jones, M., Kelk, S. (2019). *A Third Strike Against Perfect Phylogeny*. *Systematic Biology*; 68: 814–827. doi: 10.1093/sysbio/syz009

10. Webgrafia

- Diario ABC: <https://www.abc.es/> [consulta: 20.06.2020].
- Educaplay: <https://es.educaplay.com/> [consulta: 01.07.2020].
- Blogger: <http://ortotik-prostetik.blogspot.com/2014/04/tanya-jawab-tentang-skoliosis-pada-anak.html> [consulta: 02.12.2020].
- IES Vega del Turia.
http://personal.iesvegadelturia.es/jvaltuena/Evolucion/m3/m3_u3_texto/m3_u3_035.html [consulta: 04.12.2020].
- Saber es práctico. *Cuántas vértebras tenemos.*
<https://www.saberespractico.com/anatomia/cuantas-vertebras-tenemos/> [consulta: 02.12.2020].
- Curtis Biología (2008). *Glossari de l'Editorial Panamericana. 7a Ed.*
<http://www.curtisbiologia.com/glossary/term/94> [consulta: 23.09.2020].
- BioDic. (2020). *Diccionari de Biologia.* www.biodic.net [consulta: 20.09.2020].
- Cortés F. & Ureña J. (2013). *Diccionari mèdic-biològic, històric i etimològic.*
<https://dicciomed.usal.es/> [consulta: 01.10.2020].

ANNEXOS

1. Taules mètriques

Taula 1. Mitjana de les mesures del crani de dona, home i ximpanzé (Taula pròpia)

Mesures	Mitjana home (mm)	Mitjana dona (mm)	Mitjana ximpanzé (mm)	Mitjana humà
<i>Longitud màxima</i>	157,50	158,50	125,75	158,00
<i>Amplada màxima</i>	100,50	115,50	96,00	108,00
<i>Amplada bicigomàtica</i>	91,00	107,00	126,00	99,00
<i>Long basió-nasió</i>	81,50	106,00	88,00	93,75
<i>Altura basibregmàtica</i>	99,20	102,50	86,50	100,85
<i>Long. Basió-prosth</i>	89,60	90,45	133,00	90,03
<i>Amplada maxiloalveolar</i>	54,10	53,55	63,40	53,83
<i>Long. Maxiloalveolar</i>	62,75	57,80	88,70	60,28
<i>Amplada biauricular</i>	113,25	118,50	86,20	115,88
<i>Altura facial superior</i>	73,75	66,25	82,15	70,00
<i>Amplada frontal mínima</i>	87,05	94,00	68,60	90,53
<i>Amplada facial superior</i>	101,80	99,15	106,85	100,48
<i>Altura nasal</i>	58,35	47,85	54,80	53,10
<i>Amplada nasal</i>	23,10	23,50	56,15	23,30
<i>Amplada orbital</i>	42,15	38,75	41,75	40,45
<i>Altura orbital</i>	38,85	34,55	30,80	36,70
<i>Amplada biorbital</i>	99,15	94,45	94,10	96,80
<i>Amplada interorbital</i>	16,55	17,15	13,00	16,85
<i>Carda frontal</i>	104,80	103,70	50,65	104,25
<i>Carda parietal</i>	108,65	123,00	81,80	115,83
<i>Carda occipital</i>	88,50	92,35	50,20	90,43
<i>Long. Foramen magnum</i>	39,10	34,60	30,35	36,85
<i>Amplada Foramen magnum</i>	33,45	29,35	29,00	31,40
<i>Long mastoidea</i>	35,20	36,25	32,30	35,73
<i>Altura mentoniana</i>	31,35	27,70	48,95	29,53
<i>Altura cos mandibular foramen</i>	30,35	29,15	36,70	29,75
<i>Grossor cos mandibular foramen</i>	7,10	9,95	14,60	8,53
<i>Amplada bigoniaca</i>	96,95	100,05	107,15	98,50
<i>Amplada bicondilar</i>	112,60	120,35	109,80	116,48
<i>Amplada mín. branca asc.</i>	24,70	33,90	45,10	29,30
<i>Amplada màx. branca asc.</i>	39,90	39,95	49,90	39,93
<i>Altura màx. branca asc.</i>	70,45	62,75	72,00	66,60
<i>Long. Mandibular</i>	86,95	90,90	116,90	88,93
<i>Angle branca ascendent</i>	100,00	124,00	120,00	112,00

Taula 2. Mesures home i error intra-observador

Mesures	Primeres mesures home (mm)	Segones mesures home (mm)	Mitjana home (mm)
Longitud màxima	158	157	157,5
Amplada màxima	97	104	100,5
Amplada bicigomàtica	91	91	91
Long basió-nasió	81	82	81,5
Altura basibregmàtica	88,4	110	99,2
Long. Basió-prosth	89,6	89,6	89,6
Amplada maxiloalveolar	55	53,2	54,1
Long. Maxiloalveolar	62	63,5	62,75
Amplada bioauricular	112,9	113,6	113,25
Altura facial superior	74,2	73,3	73,75
Amplada frontal mínima	87,6	86,5	87,05
Amplada facial superior	102	101,6	101,8
Altura nasal	58	58,7	58,35
Amplada nasal	23	23,2	23,1
Amplada orbital	41	43,3	42,15
Altura orbital	38	39,7	38,85
Amplada biorbital	98,3	100	99,15
Amplada interorbital	17,2	15,9	16,55
Corda frontal	105	104,6	104,8
Corda parietal	108,9	108,4	108,65
Corda occipital	88,5	88,5	88,5
Long. Foramen magnum	38	40,2	39,1
Amplada Foramen magnum	33,3	33,6	33,45
Long mastoidea	36,1	34,3	35,2
Altura mentoniana	31	31,7	31,35
Altura cos mandibular foramen	30	30,7	30,35
Grossor cos mandibular foramen	7	7,2	7,1
Amplada bigoniaca	97	96,9	96,95
Amplada bicondilar	112,5	112,7	112,6
Amplada mín. branca asc.	25	24,4	24,7
Amplada màx. branca asc.	40	39,8	39,9
Altura màx. branca asc.	70,4	70,5	70,45
Long. Mandibular	86,6	87,3	86,95
Angle branca ascendent	100°	100°	100°

Pruebas no paramétricas

[Conjunto_de_datos1]

Prueba de Mann-Whitney

Rangos			
v2	N	Rango promedio	Suma de rangos
Hombre	1	34	33,89
	2	34	35,01
Total	68		1190,50

Estadísticas de contraste^a

	Mujer
U de Mann-Whitney	569,500
W de Wilcoxon	1164,500
Z	-.215
Sig. asintót. (bilateral)	.830

^a Variable de agrupación: v2

Taula 3. Mesures dona i error i intra-observador

Mesures	Primeres mesures dona (mm)	Segones mesures dona (mm)	Mitjana dona (mm)
Longitud màxima	159	158	158,5
Amplada màxima	115	116	115,5
Amplada bicigomàtica	108	106	107
Long basió-nasió	106	106	106
Altura basibregmàtica	95	110	102,5
Long. Basió-prosth	90,5	90,4	90,45
Amplada maxiloalveolar	54	53,1	53,55
Long. Maxiloalveolar	58,2	57,4	57,8
Amplada bioauricular	117	120	118,5
Altura facial superior	66	66,5	66,25
Amplada frontal mínima	95	93	94
Amplada facial superior	98	100,3	99,15
Altura nasal	48	47,7	47,85
Amplada nasal	23	24	23,5
Amplada orbital	39,7	37,8	38,75
Altura orbital	35	34,1	34,55
Amplada biorbital	94,9	94	94,45
Amplada interorbital	16	18,3	17,15
Corda frontal	104	103,4	103,7
Corda parietal	122	124	123
Corda occipital	91,9	92,8	92,35
Long. Foramen magnum	34	35,2	34,6
Amplada Foramen magnum	28	30,7	29,35
Long mastoidea	36	36,5	36,25
Altura mentoniana	28	27,4	27,7
Altura cos mandibular foramen	28	30,3	29,15
Grossor cos mandibular foramen	10	9,9	9,95
Amplada bigoniaca	99,6	100,5	100,05
Amplada bicondilar	120	120,7	120,35
Amplada mín. branca asc.	34	33,8	33,9
Amplada màx. branca asc.	40	39,9	39,95
Altura màx. branca asc.	63	62,5	62,75
Long. Mandibular	90,3	91,5	90,9
Angle branca ascendent	124°	124°	124°

Pruebas no paramétricas

[Conjunto_de_datos1]

Prueba de Mann-Whitney

Rangos			
v2	N	Rango promedio	Suma de rangos
Mujer	1	34	34,25
	2	34	34,75
Total	68		1181,00

Estadísticas de contraste^a

	Mujer
U de Mann-Whitney	569,500
W de Wilcoxon	1164,500
Z	-.104
Sig. asintót. (bilateral)	.917

^a Variable de agrupación: v2

Taula 4. Mesures ximpanzé i error intra-observador

Mesures	Primeres mesures ximpanzé (mm)	Segones mesures ximpanzé (mm)	Mitjana ximpanzé (mm)
Longitud màxima	117	134,5	125,75
Amplada màxima	97	95	96
Amplada bicigomàtica	126	126	126
Long basió-nasió	94	82	88
Altura basibregmàtica	84	89	86,5
Long. Basió-prosth	136	130	133
Amplada maxiloalveolar	64	62,8	63,4
Long. Maxiloalveolar	89	88,4	88,7
Amplada biauricular	80	92,4	86,2
Altura facial superior	82,4	81,9	82,15
Amplada frontal mínima	68,7	68,5	68,6
Amplada facial superior	106,9	106,8	106,85
Altura nasal	54	55,6	54,8
Amplada nasal	56,4	55,9	56,15
Amplada orbital	42	41,5	41,75
Altura orbital	30,3	31,3	30,8
Amplada biorbital	94	94,2	94,1
Amplada interorbital	12	14	13
Carda frontal	50,5	50,8	50,65
Carda parietal	80,9	82,7	81,8
Carda occipital	47	53,4	50,2
Long. Foramen magnum	30	30,7	30,35
Amplada Foramen magnum	28,6	29,4	29
Long mastoidea	32,2	32,4	32,3
Altura mentoniana	49	48,9	48,95
Altura cos mandibular foramen	37	36,4	36,7
Grossor cos mandibular foramen	14,3	14,9	14,6
Amplada bigoniaca	107	107,3	107,15
Amplada bicondilar	105	114,6	109,8
Amplada mín. branca asc.	45,3	44,9	45,1
Amplada màx. branca asc.	48	51,8	49,9
Altura màx. branca asc.	71	73	72
Long. Mandibular	116,1	117,7	116,9
Angle branca ascendent	120°	120°	120°

+ Pruebas no paramétricas

[Conjunto de datos]

Prueba de Mann-Whitney

Rangos

y2	N	Rango asignado	Suma de rangos
Chimpa - 1	34	34,01	1158,50
2	34	34,95	1189,50
Total	68		

Estadísticos de contraste^a

	Chimpa
U de Mann-Whitney	501,500
W de Wilcoxon	1158,500
Z	1,202
Sig. asintótic (bilateral)	,840

^a Variable de agrupación: y2

2. Definicions punts craniomètrics i mandibulars (Udo Krenzer, 2006)

- **Glabela (g)** El punt més pronunciat en projecció en el pla sagital mitjà del marge inferior del frontal, entre els arcs supercilis, a sobre de la raïz nasal i la sutura frontonasal, en la posició del pla de Francfort. Quan el cràneu està molt deformat aquest punt coincideix amb el nasion, metopion o supraorbitale.
- **Prosthion (pr)** El punt més anterior i pronunciat del marge alveolar del maxilar entre els incisius centrals maxilars en el pla mitjà sagital. Per mesures de longitud s'utilitza el punt més anterior i per mesures de l'altura s'utilitza el punt més inferior en la superfície del procés alveolar.
- **Opisthion (o)** Punt mitjà en el marge posterior del foramen magnum, en la intersecció del pla mitjà sagital amb el marge.
- **Nasion (n)** Intersecció de la sutura frontonasal amb el pla mitjà sagital (se marca amb làpiz). El nasion correspon a la raïz nasal.

- **Lambda (l)** Punto ectocranial de unión del occipital con los parietales. Se traza en la intersección de las suturas sagital y lambda.
- **Infradentale (id)** El punto de la intersección en el plano medio sagital entre los incisivos mandibulares con el borde anterior del proceso alveolar.
- **Gonion (go)** Punto en la mandíbula donde se encuentran el borde inferior del cuerpo y el posterior de la rama ascendente; es decir, constituye el punto en el ángulo mandibular más inferior, posterior y lateral.
- **Gnathion (gn)** Punto más inferior en el borde inferior externo de la sínfisis mandibular, en el plano medio sagital. Con frecuencia cuando la mandíbula posee un mentón ancho y cuadrangular el punto gnathion no es el más inferior sino el más lateral.
- **Basion (ba)** Punto del borde anterior del foramen magnum donde se cruza con el plano sagital medio. Se localiza directamente enfrente de la Opisthion. En caso de medidas de la altura del cráneo se usa el punto anterior inferior del borde (Hypobasion), en casos de medidas de la longitud se usa el punto más posterior (Endobasion).
- **Bregma (b)** Punto ectocraneal de la intersección de las suturas coronal y sagital. Cuando la sutura coronal presenta irregularidades o se halla obliterada se continúa el curso a lápiz. Si se conforma una depresión en el lugar del bregma el punto se establece en el vacío a nivel de la superficie ósea.

3. Imatges complementàries (Totes les imatges són pròpies)



Foto 1. Presa de mesures de l'esquelet humà femella



Foto 2. Presa de mesures de l'esquelet humà femella

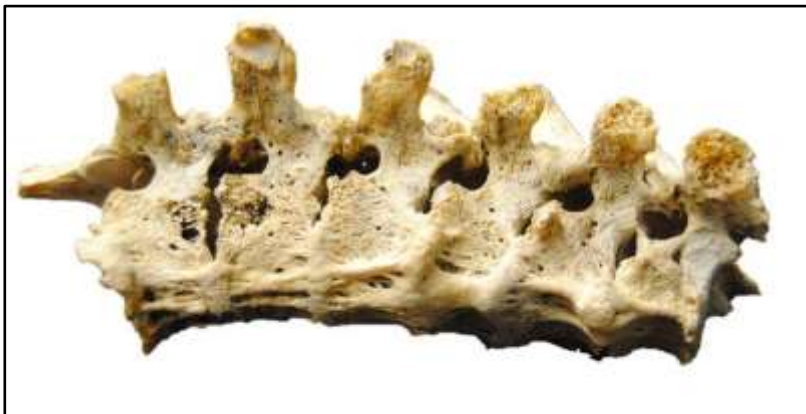


Foto 3. Vèrtebres toràciques de l'esquelet humà femella



Foto 4. Crani humà femella



Foto 5. Clavícula humana i ximpanzé

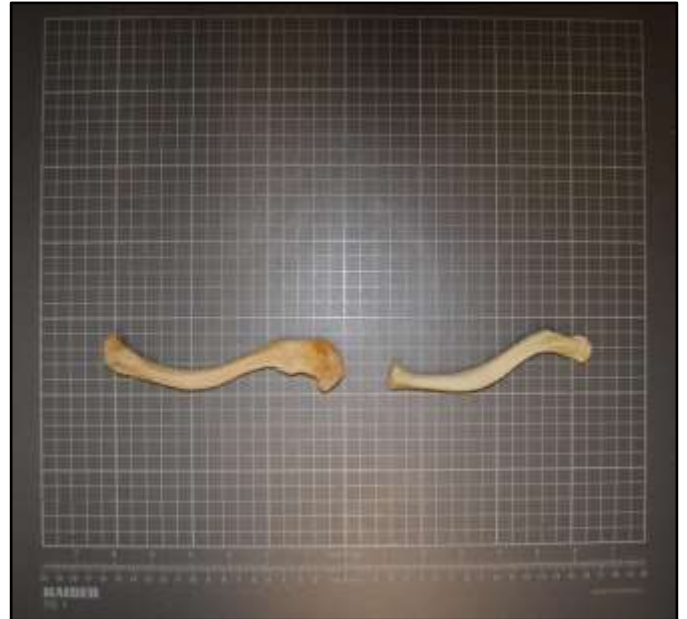


Foto 6. Clavícula humana i ximpanzé



Foto 7. Ròtula ximpanzé i humà



Foto 8. Cúbit ximpanzé i humà



Foto 9. Radi humà i ximpanzé



Foto 10. Escàpula ximpanzé i humà



Foto 11. Escàpula ximpanzé i humà



Foto 12. Sacre ximpanzé i humà



Foto 13. Sacre ximpanzé i humà