

PALEOGENÈTICA: L'estudi dels gens en peces fòssils.

Cas particular de la Mandíbula de Banyoles.



Treball de Recerca
Autora: Clara Alsius i Ferrer
Tutora: M. Teresa Cels
2n de Batxillerat A
INS Pere Alsius i Torrent
Banyoles, octubre 2025

Tony Bickel

“Ells s’han extingit, però en certa manera segueixen presents.”

Carles Lalueza Fox

Agraïments

En primer lloc, m'agradaria agrair a la M.Teresa Cels, la meva tutora del treball de recerca i professora de Biologia, tot el temps i entusiasme dedicat. Gràcies a la Teresa, he sabut estructurar adequadament aquesta memòria i els seus continguts.

Vull agrair també als professionals amb els quals he contactat per aquest treball, que m'hagin dedicat el seu temps i permetre'm fer-los l'entrevista que forma part de la part pràctica. A Vanessa Villalba Mouco del CSIC de Barcelona, que em va donar l'oportunitat, a més a més, de visitar-la al *laboratori net* de l'Institut de Biologia Evolutiva (IBE). A Julià Maroto i Genover, paleontòleg i professor de la UdG i director de les excavacions arqueològiques de les coves de Serinyà, per guiar-m'hi en la visita a aquestes, i permetre'm de veure en directe el funcionament dels estudiosos i voluntaris. Al matrimoni de paleontòlegs francesos, Henry i Marie-Antoinette de Lumley, que gràcies a la visita que van fer a casa la meva àvia Marta, vaig poder parlar-hi sobre la mandíbula i la paleogenètica.

Agraeixo també a la filòloga catalana, la banyolina Lola Torrent i Pujolàs, per la correcció del català d'aquest treball i a l'Ada Algueró Aumatell, restauradora de patrimoni arqueològic, el fet de permetre'm adjuntar fotografies al treball del dia de l'extracció.

Finalment, i no menys important, vull agrair a tota la meva família tot el suport i paciència que han tingut aquests mesos i la seva ajuda, en alguns moments. M'agradaria donar les gràcies a les meves ties, Rosa i Mercè Alsius, per la seva ajuda en la traducció del francès el dia de l'entrevista al matrimoni Lumley, També vull agrair als meus pares, Esteve Alsius i Clara Ferrer els esforços que han fet per ajudar-me a complementar aquest treball. Ells em van acompanyar a Burgos, a uns 700 km aproximadament d'on vivim, per a la visita al Museu de l'Evolució Humana (MEH), a l'Institut de Biologia Evolutiva de Barcelona i a les coves de Serinyà (Pla de l'Estany). També el meu agraïment als meus dos germans, Irene i Andreu Alsius per la seva paciència i recolzament durant l'elaboració d'aquest treball.

Abstract

The purpose of this work is to explain what paleogenetics is, what it entails, and its importance in the study of prehistory and paleontology. It thoroughly describes the Neanderthals, the species of the genus *Homo* to which our well-known human jawbone has been assigned, and their lifestyle since its discovery. It also presents the history of the discovery of the Banyoles jawbone, the studies it has been subjected to, and the paleogenetic study currently being carried out on this fossil find.

The objective of the practical section, apart from corroborating the aspects described in the theoretical section, is to follow, within the time available for this work, the paleogenetic study of one of Europe's most important fossils by the Max Planck Institute in Leipzig. For this section, interviews were conducted with paleontologists and paleogeneticists, a visit was made to a leading research center, the Institute of Evolutionary Biology (CSIC-UPF) in Barcelona, the Museum of Human Evolution in Burgos, and an archaeological excavation in the Serinyà caves. The participants were also able to witness a very important moment in the paleogenetic study of the Banyoles jawbone: the sample extraction, which was carried out under the hygienic, high-security conditions of a laboratory, but in the Alsius Pharmacy.

This fossil has always been uncertain, with ongoing debate about whether it corresponds to an ante-Neanderthal individual, *Homo neanderthalensis*, or *Homo sapiens*. One of the most notable conclusions reached is that paleogenetics cannot define species as they do in biology. Paleontological species (*Homo sapiens*, *Homo neanderthalensis*, *Homo antecessor*, etc.) are differentiated by their morphology. Biological species are differentiated by their limited ability to interbreed, and if they do, by their ability to produce fertile individuals. Currently, paleontologists prefer to speak of populations, not species.

Finally, this work also reveals the paradox that the better tools science has, the more you realize what remains to be discovered.

Resumen

La finalidad de este trabajo es explicar qué es la paleogenética, en qué consiste y su importancia dentro del estudio de la prehistoria y la paleontología. Se describe a fondo cómo eran y cómo vivían los neandertales, la especie del género *Homo*, a la cual se ha asignado nuestra conocida mandíbula humana, desde su descubrimiento. También se expone la historia del descubrimiento de la mandíbula de Banyoles, los estudios de los que ha sido objeto, y se presenta el estudio paleogenético que se está realizando en estos momentos a este hallazgo fósil.

Así pues, el objetivo de la parte práctica, aparte de corroborar los aspectos descritos en la parte teórica, es hacer un seguimiento, dentro del alcance temporal disponible para este trabajo, del estudio paleogenético del Instituto Max Planck de Leipzig sobre uno de los fósiles más importantes de Europa. Para el desarrollo de esta parte, se han hecho entrevistas a paleontólogos y paleogenetistas, se ha realizado una visita a un centro de investigación puntero, el Instituto de Biología Evolutiva (CSIC-UPF) de Barcelona, al Museo de Evolución Humana de Burgos y se ha visitado una excavación arqueológica en las cuevas de Serinyà. Asimismo, se pudo presenciar un momento muy importante dentro del estudio paleogenético de la mandíbula de Banyoles, como fue la extracción de muestras, que se llevó a cabo emulando las condiciones higiénicas de alta seguridad de laboratorio, pero en la Farmacia Alsius.

Este fósil siempre ha estado situado en un punto incierto, con el debate abierto sobre si corresponde a un individuo ante-neandertal, *Homo neanderthalensis* u *Homo sapiens*. Una de las conclusiones más destacables a las que se ha llegado sobre la definición, es que en paleogenética no se puede hablar de especies como lo hacen en biología. Las especies paleontológicas (*Homo sapiens*, *Homo neanderthalensis*, *Homo antecessor*...) se diferencian por su morfología. Las especies biológicas lo hacen por su poca capacidad de cruzarse entre ellas y, si lo hacen, por su incapacidad de engendrar individuos fértiles. Actualmente, los paleontólogos prefieren hablar de poblaciones, no de especies.

Finalmente, en este trabajo también se manifiesta la paradoja de que, cuanto de mejores herramientas dispone la ciencia, (una de ellas es el análisis genético de ADN antiguo), más te das cuenta de lo que falta por descubrir.

ÍNDIX

1. Introducció.....	3
1.1 Motivació.....	4
1.2 Objectius.....	5
1.3 Metodologia.....	5
 2. PART TEÒRICA.....	6
2.1 Introducció a la Paleogenètica.....	6
2.1.1 L'ADN antic.....	6
2.1.2 Tècniques utilitzades.....	8
2.1.3 Aplicacions de la paleogenètica.....	9
2.1.4 Svante Pääbo.....	10
2.1.5 Institut Max Planck d'Antropologia Evolutiva de Leipzig.....	13
2.2 Paleogenètica aplicada a la mandíbula de Banyoles.....	14
2.2.1 Investigadors de l'Institut Max Planck a Banyoles.....	14
2.2.2 Tècnica d'extracció.....	15
2.3 La Mandíbula de Banyoles.....	16
2.3.1 Descobriment i història.....	18
2.3.2 Cronologia de les diferents datacions.....	22
2.4 Els neandertals.....	23
2.4.1 Els neandertals i el seu lloc en l'evolució humana.....	23
2.4.2 Jaciments arqueològics neandertals.....	26
2.4.3 Com eren físicament els neandertals?.....	28
2.4.4 Com vivien els neandertals?.....	30
2.4.5 Són els neandertals una espècie diferent dels sàpiens?.....	31

3. PART PRÀCTICA.....	33
3.1 Introducció.....	33
3.2 Entrevista a Vanessa Villalba Mouco i visita al laboratori.....	33
3.2.1 Vanessa Villalba de l'Institut de Biologia Evolutiva.....	33
3.2.2 Dia de la visita i entrevista.....	35
3.2.2.1 Transcripció de l'entrevista amb Vanessa Villalba (ANNEX II).....	37
3.2.2.2 Visita a la sala blanca de l'Institut de Biologia Evolutiva.....	37
3.3 Entrevista a Julià Maroto i Genover, de la UdG.....	39
3.3.1 Julià Maroto Genover, una petita presentació.....	39
3.3.2 Guió de l'entrevista.....	40
3.3.3 Transcripció de l'entrevista (ANNEX III).....	40
3.3.4 Visita a les coves de Serinyà, comentada amb Julià Maroto.....	40
3.4 Entrevista al matrimoni Lumley, de visita a Banyoles.....	42
3.4.1 Petita presentació.....	42
3.4.2 Transcripció de la petita entrevista als Lumley.....	44
3.5 Visita al Museu de l'Evolució Humana de Burgos.....	47
3.5.1 Síntesi de la visita.....	48
3.6 Seguiment de l'estudi paleogenètic de la mandíbula de Banyoles.....	52
 4. Conclusions.....	 53
 5. Bibliografia.....	 55
 6. ANNEXOS.....	 58
6.1 ANNEX I.....	58
6.2 ANNEX II.....	68
6.3 ANNEX III.....	80

1. Introducció

Fa 31.000 anys, a Dolni Věstonice, l'actual República Txeca, un grup d'humans va realitzar un triple enterrament, que fou descobert el 1986. Un enterrament molt curiós per la distribució dels cossos i les postures dels tres individus. Es tracta de tres persones (etiquetades com DV13, DV15 i DV14 pels arqueòlegs) enterrades una al costat de l'altra. DV13 tenia un pal gruixut de fusta clavat al maluc i fou trobat amb les mans col·locades a la regió púbica de l'individu central (DV15). Al costat d'aquest últim, fou enterrat un tercer cos (DV14), de bocaterrosa. Tot plegat era bastant intrigant. S'havia suposat sempre, que l'individu central, que és evident que tenia un estatus superior com era costum en actes funeraris del passat, era una dona, encara que el seu sexe no estava del tot clar a causa d'una patologia que afectava la curvatura de la columna vertebral, la pelvis i les dents. Fins fa pocs anys, a mitjans del S.XX, el sexe biològic dels esquelets s'havia de suposar per les seves característiques morfològiques, ja que, de mitjana, els homes tenen ossos més grossos i robustos que les dones, però, en aquest cas, no era suficient. L'explicació més lògica en aquell moment, era que l'individu central era una dona d'estatus superior que va morir donant a llum (perquè tenia ocre sobre la seva pelvis que, en arqueologia, sovint s'interpreta com un gest simbòlic relacionat amb rituals funeraris, fertilitat o sagnat). Una altra interpretació d'aquest triple enterrament fou que es tractava d'un tràgic triangle amorós, essent el personatge central una dona. Durant molts anys, les teories i les suposicions foren nombroses. Les dades del genoma que es va poder extreure d'aquests tres individus i que es van publicar el 2016, van demostrar, finalment, que els tres eren homes i així van acabar totes les teories i hipòtesis que s'havien fet des de 1986. En l'actualitat no només podem saber quin era el sexe genètic, sinó també el parentiu entre els individus. Aquest és, tan sols, un exemple de com la irrupció de la paleogenètica en els últims vint anys ens ajuda, amb una velocitat excepcional, en l'estudi del passat, resolent misteris que fins ara semblaven impossibles de resoldre.

Tal com diu Carles Lalueza-Fox (investigador de l'Institut de Biologia Evolutiva de Barcelona): "Encara que sembli increïble, aquesta revolució tecnològica ha sorprès a persones que, com jo, portem dues dècades treballant amb ADN antic. El que fa deu anys era impossible ara és habitual. Això és el que està passant."

1.1 Motivació

Des que tinc ús de raó, la Mandíbula de Banyoles ha estat molt present a la meua vida, pel fet que el meu avantpassat, el farmacèutic Pere Alsius i Torrent, va ser la primera persona a estudiar i reconèixer el valor d'aquesta peça arqueològica. Des de llavors, ha estat custodiada per les diferents generacions familiars. La meua infantesa i adolescència han estat acompanyades freqüentment de comentaris com: "Avui venen uns científics de l'equip d'Arsuaga", "Demà ve un dentista israelià", "La setmana que ve vindrà un paleontòleg americà a estudiar la mandíbula", entre molts d'altres. Aquesta vinculació personal amb aquesta troballa tan important ha despertat en mí una gran curiositat per l'origen de l'ésser humà, les diferents espècies del gènere Homo, la seva evolució al llarg del temps, les troballes de nous fòssils, i, actualment, les noves tècniques de genètica per desxifrar l'ADN antic que encara conserven alguns fòssils.

El juny de 2024 van venir a Banyoles uns científics de l'Institut Max Planck de Leipzig a extreure mostres de la Mandíbula i buscar-ne l'ADN prehistòric. Vaig tenir el privilegi de poder viure en primera persona aquesta visita i sentir per primera vegada la paraula "Paleogenètica" i començar a veure en què consistia. Em va impressionar el contrast de la utilització de tècniques tan modernes i sofisticades per analitzar peces tan antigues. I també el fet que, gràcies a petits fragments de material genètic conservats durant desenes de milers d'anys, es pot analitzar i reconstruir la història d'una espècie o població humana, i, per tant, saber d'on venim i entendre millor el nostre origen.

Vaig tenir molts dubtes a l'hora d'escollir el tema del treball de recerca, perquè volia que fos original i una mica desconegut. Tenia diferents propostes, però cap em feia el pes fins que la meua mare va fer adonar-me que tenia al meu abast una història única, amb significat familiar i científic. I llavors, va ser quan vaig decidir enfocar el meu treball en aquesta nova vessant científica, la paleogenètica, aplicada a una gran troballa, que forma part del meu relat familiar i de tots els banyolins, com és la Mandíbula de Banyoles.

1.2 Objectius

1. Conèixer els fonaments sobre paleogenètica, les seves tècniques i aplicacions en l'estudi d'antigues espècies humanes.
2. Entendre com es recupera i analitza l'ADN en fòssils.
3. Fer un seguiment de l'estudi paleogenètic de la Mandíbula de Banyoles.
4. Reflexionar sobre les diferents opinions que han tingut els científics sobre l'espècie taxonòmica d'aquesta troballa fòssil.
5. Realitzar una part pràctica del treball, on pugui corroborar tots els aprenentatges de la part teòrica i, si cal, treure'n alguna valoració personal

1.3 Metodologia

Per a la realització d'aquest treball, primer s'ha fet una recerca d'informació a través de llibres i de vídeos de xerrades informatives de Carles Lalueza i Ignacio Martínez. S'han utilitzat llibres com: *¿Quienes somos y como hemos llegado hasta aquí?*, de David Reich. *Neandertales: La vida, el amor, la muerte y el arte de nuestros primos lejanos*, de Rebecca Wragg Sykes. *Desigualdad: Una historia genética*, de Carles Lalueza Fox, entre d'altres. D'aquests llibres, seleccionant-ne capítols concrets, s'ha pogut desenvolupar una gran part de la teoria d'aquest treball, especialment un coneixement bastant a fons sobre els *Neandertals* contraposant-los amb els *Homo sapiens*. Seguidament, gràcies als contactes que s'han anat adquirint al llarg dels anys d'estudi del fòssil, s'ha pogut parlar amb diferents professionals com Vanessa Villalba, Julià Maroto i el matrimoni Lumley, Henry i Marie-Antoinette. S'ha fet una entrevista a cada una d'aquestes persones, amb les quals s'ha pogut obtenir molta informació sobre el tema. Amb la Vanessa Villalba, també es va tenir l'oportunitat de visitar un centre d'investigació de referència, que més tard s'explicarà, en el treball. A la part pràctica, a part de les entrevistes i les diferents visites a centres punters, s'està seguint l'estudi paleogenètic de la mandíbula de Banyoles a través de la Vanessa Villalba, que està en contacte amb Elena Essel i Merlin Szymansk, investigadors alemanys de l'Institut Max Planck de Leipzig. D'aquest seguiment no s'ha pogut desenvolupar l'estudi al complet, per problemes de contaminació creuada amb ADN modern, creació i selecció de llibreries genètiques i perquè cal més temps encara d'estudi de l'ADN de la mandíbula.

2. PART TEÒRICA

2.1 Introducció a la Paleogenètica

És important definir la paleontologia, l'arqueologia i la paleogenètica. La paleontologia és la ciència que estudia els fòssils d'éssers vius per comprendre l'evolució de la vida a la Terra. L'arqueologia és l'estudi de les restes materials de societats humanes passades per entendre'n la cultura, la vida quotidiana i l'organització social. Finalment, la paleogenètica és la branca de la genètica que analitza l'ADN antic conservat en restes fòssils o arqueològiques per estudiar l'evolució i les relacions entre espècies o poblacions.

La paraula "paleogenètica" prové del grec "*palaios*" (antic) i la paraula "*genos*" (origen o raça) i "*geneticos*" (referent a la genètica).

Els estudis actuals són possibles gràcies a noves tècniques de seqüenciació de l'ADN, que permeten llegir i interpretar fragments genètics molt antics. Aquest avenç ha estat essencial per analitzar ADN en restes fòssils que, només fa vint anys, no hagués estat possible. "*Per primera vegada els esquelets humans anònims poden parlar-nos a través del seu ADN i explicar-nos la seva història.*" (*¿Quiénes somos y cómo hemos llegado hasta aquí?*, David Reich, 2018)

2.1.1 L'ADN antic

L'ADN_a o ADN antic és el conjunt de restes de cadenes d'ADN que conté un fòssil. Normalment, aquest material genètic es troba molt fragmentat i amb un alt grau de degradació. Son poquíssims els ossos apropiats per a una seqüenciació, ja que, per realitzar-la, l'ADN ha d'estar ben conservat. La radiació, la calor i la humitat són els seus pitjors enemics, i el major de tots ells, és el temps. Com més anys tingui un os, menor serà la probabilitat de trobar-hi ADN aprofitable. Sempre es detecta ADN. Aquest prové dels bacteris que colonitzen els ossos, o dels arqueòlegs que ho excaven i tot aquell que en algun moment ha estat pròxim a l'objecte, com, per exemple, en un museu. L'ADN es reparteix d'una manera tan efectiva com la sorra en una casa de vacances a la vora del mar, és a dir, incessantment i fins a l'últim racó.

Els 4 grans problemes que pateix aquest ADN antic són la contaminació creuada, la baixa eficiència de seqüenciació (la majoria de les seqüències són d'ADN ambiental), els danys químics després de la mort de l'individu (el sol, les condicions climàtiques entre altres factors) i finalment, també la fragmentació de l'ADN.

La contaminació és un gran problema perquè el nostre material genètic pot ser molt semblant al dels neandertals, per això s'ha d'anar molt amb compte a l'hora de manipular les mostres. Quant a la baixa eficiència de seqüenciació, la majoria de seqüències que s'obtenen d'una resta neandertal no són seqüències del propi individu, sinó que són seqüències d'origen ambiental. És a dir, de bacteris coexistents en l'època de l'organisme o més actuals, formant un ecosistema que fa que sigui molt complicat trobar seqüències d'ADN només neandertal. Per fer-nos-en una idea, si hem seqüenciat poques cadenes d'ADN del món eucariota, doncs del món procariota encara menys, és molt més desconegut. D'aquí ve aquesta baixa eficiència. Per trobar ADN antic interessant, hem de seqüenciar molts milions d'ADN ambiental. Per suposat, a tot el gran problema de la contaminació i la baixa eficiència de la seqüenciació, cal afegir-hi tots els danys químics post-mortem que rep l'individu al llarg del temps. El gran nivell de fragmentació que pateix l'ADN fa que es requereixi nivells de supercomputació molt més elevats per extreure'n conclusions vàlides.

Per això, la paleogenètica requereix tècniques molt complexes, i sobretot protocols de neteja molt exhaustius. Només es poden desenvolupar aquestes tècniques en laboratoris que compleixin el protocol de "sala blanca". "Sala blanca" vol dir un laboratori amb neteja molt profunda i amb condicions quasi d'esterilitat, amb la finalitat d'evitar la contaminació creuada entre la mostra i altre material genètic provinent dels investigadors o altres persones.

Algun exemple d'òs més antic en el qual s'ha trobat ADN fòssil amb suficient qualitat com per ser analitzat és un de la Sima de los Huesos, de fa 400.000 anys. També un mamut congelat a l'Àrtic de més de 1.000.000 d'anys i un cavall d'Alaska de fa 700.000 anys.

2.1.2 Tècniques utilitzades

Primer de tot es fa l'extracció de la mostra o extracció de l'ADN_a. Aquesta consisteix a recuperar la màxima quantitat de DNA de la mostra fòssil. Els millors ossos fòssils per trobar ADN antic són les dents i molars de les mandíbules i la part petrosa de l'os temporal del crani, ja que són les que millor el conserven.

El segon pas és la utilització de tècniques de PCR (polymerase chain reaction) per a l'amplificació de petites regions específiques de l'ADN. Aquesta tècnica descoberta als anys 80 permet fer milions de còpies d'una petita seqüència d'ADN per poder fer-ne una anàlisi correcta. Una fita en el desxiframent de l'ADN, és a dir, en la capacitat de llegir-lo, va ser el desenvolupament als anys vuitanta de la reacció en cadena de la polimerasa. Aquest procediment és un dels fonaments de les màquines actuals de seqüenciació que realitzen la lectura completa de la successió de les bases dins d'una molècula d'ADN. Les màquines seqüenciadores s'han desenvolupat a gran velocitat des de principis d'aquest segle.

De totes maneres, aquesta tècnica té com a inconvenient principal que a vegades no funciona del tot bé amb ADN antic, perquè pot estar molt contaminat i fragmentat. Actualment, per evitar això, s'utilitzen les tècniques de seqüenciació massiva o NGS (Next Generation Sequencing), que permeten obtenir la seqüència de nucleòtids de milions de fragments d'ADN. Això genera una gran reducció de costos humans i econòmics i fan més accessibles els estudis genètics als grups d'investigadors. Amb aquestes tècniques més modernes, es poden reconstruir genomes en la seva totalitat, a partir d'ADN molt degradat i alhora ens permeten discernir entre ADN antic i ADN nou o contaminat.

Una altra fase molt destacada de les tècniques paleogenètiques és la captura híbrida (target enrichment), que possibilita separar l'ADN antic del contaminant, és a dir, enriquir la mostra de material genètic. També ens permet separar l'ADN per tipus (mitocondrial o nuclear). Això n'incrementa la precisió i redueix els costos d'aquestes tècniques paleogenètiques.

Llavors cal fer l'anàlisi bioinformàtic, que són tota una sèrie de tècniques computacionals on es reconstrueixen els genomes, s'identifiquen mutacions, es comparen seqüències entre espècies i es filtren contaminants. Sovint els grups d'investigació subcontracten aquestes anàlisis computacionals a empreses especialitzades.

Una altra de les tècniques molt emprades en la part final dels estudis paleogenètics és l'anàlisi dels danys de l'ADN_a. Per exemple, la pèrdua del grup -amino de la citosina, provoca un canvi a base nitrogenada uracil, que és una marca característica de l'ADN antic. És realment útil per discernir entre si es tracta d'ADN antic o ADN nou. Per altra banda, aquest tipus de danys es pot considerar una tècnica de datació precisa de l'ADN.

2.1.3 Aplicacions de la paleogenètica

La jove branca científica de la paleogenètica aprofita els mètodes desenvolupats en medicina per desxifrar genomes antics de restes fòssils de desenes i centenars de milers d'anys. La paleogenètica s'utilitza en diferents vessants de la ciència. Per una banda, l'estudi de l'evolució de malalties antigues extingides, com per exemple, el patògen que origina la pesta bubònica o pesta negra, una epidèmia que es va declarar durant l'edat mitjana, al segle XIV, i que es calcula que va matar entre 80 i 100 milions de persones, entre la Xina i Europa. Gràcies a la paleogenètica, s'ha pogut identificar l'ADN del patògen que la va provocar (*Yersinia pestis*) i el recorregut que va fer la malaltia des del lloc d'origen.

Aquesta ciència ajuda també a entendre molts conceptes de biologia evolutiva com, per exemple, aspectes importants dels mamífers extingits, com els llops antics, els ossos de les caveres o els mamuts. En el cas d'aquests animals, se n'han trobat moltes restes en el permagel de l'Àrtic totalment congelats i, per tant, en molt bon grau de conservació del seu ADN.

Finalment, com és lògic, té moltes aplicacions en els camps de l'antropologia, la paleontologia i sobretot, en l'estudi de l'evolució humana, ja que permet explicar els moviments migratoris, parentius, canvis culturals i el descobriment de noves espècies.

Per posar alguns exemples, gràcies a la paleogenètica se sap si una societat o comunitat era patriarcal o matriarcal. Si en un enterrament comunitari s'identifiquen els genomes dels cossos, es pot saber si les dones venien de fora i eren elles les que es movien per formar família lluny del seu origen. Se sap gràcies a l'anàlisi de l'ADN mitocondrial. Només ella i els seus fills comparteixen el mateix. Un altre exemple és que la paleogenètica ha permès descobrir una nova espècie o població amb un sol fòssil d'una falange infantil. Es tracta dels denissovans, a la cova de Denisova, a les muntanyes Altai, a Rússia. La ciència pot confirmar que van existir perquè els ha identificat genèticament, no perquè tingui troballes fòssils.

2.1.4 Svante Pääbo

Fill d'un premi Nobel de Medicina, Sun Karl Bergström (1916-2004), es va consolidar en l'època d'eufòria sobre el potencial de la genètica pel fet de donar explicacions simples a grans misteris. És un biòleg suec especialista en genètica evolutiva humana, nascut l'any 1955 a Estocolm. Va obtenir el seu doctorat a la Universitat d'Uppsala i des de 1997 és director del departament de genètica de l'Institut Max Planck d'Antropologia Evolutiva de Leipzig, Alemanya. És considerat per a tothom el pare de la paleogenètica. Parlar o escriure sobre Svante Pääbo no és fàcil, de fet, se'l pot considerar un revolucionari de l'evolució humana. Si busquéssim algú altre que hagi tingut un impacte tan gran a la ciència, ja parlaríem de Darwin.



Figura 1. Svante Pääbo
Font: Wikimedia Commons

Svante era un gran estudiant i l'egiptologia va despertar en ell la curiositat per l'antropologia humana, per això va començar la carrera d'egiptologia, però ràpidament es va frustrar, pel fet d'haver d'estudiar llengües mortes i jeroglífics.

Després va cursar la carrera de Medicina amb èxit, i va començar la seva tesi doctoral. La genètica i la seqüenciació de l'ADN, en aquell moment, estaven en un moment incipient i va tenir la idea de seqüenciar l'ADN de les mòmies egípcies. Era una idea molt original, però el seu professor de tesi no ho veia amb bons ulls, i per això, va haver de fer l'estudi una mica d'amagat, tot i això, va publicar un article a la revista Nature.

Ell va resoldre el problema de la contaminació. Com diferències l'ADN antic de la mòmia i el de l'investigador? Svante Pääbo va solucionar aquest problema. Després d'això, el va fitxar Allan C. Willson, biòleg i bioquímic neozelandès, un dels pioners en l'estudi de l'evolució humana, que en aquell moment treballava a Califòrnia, Berkeley, i es va emportar Pääbo. Allà va començar a treballar de manera intensa amb la paleogenètica, utilitzant normalment animals extingits, ja que el problema de la contaminació en aquests fòssils era menor. A partir d'aquí la seva carrera va anar a més. Amb el temps, Pääbo ha anat descobrint moltes de les eines fonamentals d'aquesta revolució genòmica i va aconseguir una fita històrica l'any 2010, quan va publicar a la prestigiosa revista "Cell" la seqüenciació completa del genoma neandertal. Aquest avenç va permetre demostrar, per primera vegada, que els humans moderns es van creuar amb els neandertals, i que totes les poblacions actuals no africanes conserven entre un 1 % i un 2 % del seu ADN. Fins aquell moment, ni genetistes ni paleontòlegs, haguessin imaginat que això passaria. Va ser una autèntica revolució.

El mateix any 2010, Pääbo va publicar un nou article a la revista "Science" donant a conèixer l'obtenció d'ADN mitocondrial en un fòssil. També sota la direcció de Pääbo, l'Institut Max Planck va analitzar genèticament una falange infantil trobada a una cova a Denisova, a les muntanyes Altai, al centre sud de Sibèria. Els resultats van ser espectaculars, doncs van identificar una nova espècie humana extingida, els denisovans. Era un genoma que no era sàpiens antic ni neandertal.

El 2021, el mateix equip publica un nou article a la revista “Nature” amb el descobriment de la troballa d'ADN antic, ara en els sediments de la cova Denisova. Novament, una autèntica revolució. També en aquesta cova, es troba un fòssil antic híbrid, fill en primera generació d'una mare neandertal i un pare denisovà. Això l'equip de Svante Pääbo ho va publicar al Research Letter i al mateix article confirmen que a la humanitat actual hi ha hibridacions amb gens denissovans a Àsia i Oceania. A Europa les hibridacions són amb els neandertals. I aquestes hibridacions, segons han demostrat, eren la norma, no una excepció. Dels 10 genomes sàpiens antics, de fa uns 40.000 anys, que tenen seqüenciats, la meitat són híbrids amb neandertals

Per a la paleogenètica, aquells primers anys de Pääbo al Max Planck van ser i estan sent encara ara, un no parar de troballes i de resultats inesperats.

Per últim, el genetista descobreix en el genoma neandertal, la versió del gen FOXP2, que provoca, igual que als sàpiens, la capacitat de parla. Això ho va publicar també en un article i va acabar per sempre amb la idea que els neandertals eren una espècie primitiva i poc evolucionada. Els neandertals parlaven com nosaltres. Parlant de gens neandertals, Pääbo també va identificar els gens que els *Homo sapiens* actuals tenim dels neandertals i que ens augmenten la immunitat. Concretament, ell explica com, davant l'epidèmia mundial de la covid-19, aquests gens ens han protegit de les complicacions greus de la malaltia.

Pääbo ha estat fundador i director del Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology a Leipzig (Alemanya), des d'on ha liderat els avenços més importants en la genòmica dels homínids extints. En reconeixement a la seva contribució excepcional a la ciència, Svante Pääbo va rebre el Premi Nobel de Medicina o Fisiologia l'any 2022. El jurat va destacar el seu paper a “fer possible comprendre millor la història evolutiva de l'espècie humana” i obrir les portes a una nova manera d'estudiar el passat humà a través de la genètica.

Cal destacar que, dos anys abans, se li va concedir el premi Princesa d'Astúries d'investigació científica i tècnica. És dels pocs casos on a una persona se li concedeix primer el Princesa d'Astúries i després obté el Nobel de Medicina i Fisiologia.

2.1.5 Institut Max Planck d'Antropologia Evolutiva de Leipzig

L'Institut Max Planck d'Antropologia Evolutiva és un centre de recerca científica situat a Leipzig, Alemanya, fundat l'any 1997. Forma part de la prestigiosa Societat Max Planck, una institució que agrupa diversos instituts científics d'alt nivell arreu d'Alemanya. Aquest institut en concret es dedica a l'estudi de l'evolució humana, combinant moltes disciplines diferents.

Un dels aspectes més importants d'aquest centre és que treballa des de diferents àmbits alhora per entendre millor l'evolució humana. Això vol dir que no només s'analitzen fòssils o restes antigues, sinó que també s'estudien els primats actuals (com els ximpanzés i els bonobos), el comportament humà, el llenguatge i, sobretot, l'ADN antic. Aquesta visió global permet als investigadors entendre millor com som, d'on venim i per què som diferents d'altres espècies animals.

L'investigador més conegut d'aquest institut és Svante Pääbo, considerat el pare de la paleogenètica. Com ja s'ha comentat anteriorment, des del Max Planck de Leipzig, ell i el seu equip han aconseguit seqüenciar el genoma complet dels neandertals i descobrir una nova espècie humana, els denisovans, a partir d'un petit fragment d'os. Aquests descobriments han canviat completament la manera com entenem l'evolució humana, ja que han demostrat que els humans moderns es van creuar genèticament amb altres espècies humanes ara extingides.

El laboratori de Pääbo a Leipzig ha estat pioner desenvolupant tècniques extremadament sofisticades per extreure i analitzar ADN de restes molt antigues, sovint molt degradades. Això ha estat fonamental per superar un dels grans reptes de la genètica antiga: la contaminació de les mostres amb ADN modern. Una idea de Pääbo per descartar ADN contaminat d'una mostra antiga, fou la de seleccionar l'ADN més degradat i més fet malbé, per assegurar-se que realment correspon al fòssil i no a l'ADN de l'investigador o d'altres persones que l'hagin manipulat.

En definitiva, l'Institut Max Planck d'Antropologia Evolutiva de Leipzig és un centre clau en la recerca sobre l'origen i l'evolució dels humans. Amb el lideratge de científics com Pääbo, aquest institut s'ha convertit en una referència mundial en el camp de l'antropologia i la genètica evolutiva.

2.2 Paleogenètica aplicada a la mandíbula de Banyoles

2.2.1 Investigadors de l'Institut Max Planck a Banyoles

El mes de juny de 2024, Julià Maroto ens va comunicar a la família, via correu electrònic, que vindrien uns científics de l'Institut Max Planck de Leipzig per extreure mostres de la mandíbula. La finalitat era poder obtenir mostres de la dentina de la mandíbula que poguessin contenir ADN antic. Abans, però, calia treure una petita peça d'esmalt que tapava la dentina interior, d'on s'obtidria la mostra per analitzar. Això ho faria Ada Algueró Aumatell, conservadora-restauradora especialitzada en patrimoni arqueològic. L'extracció de mostres necessitava una sala sense corrents d'aire, al màxim de tancada i neta possible. La saleta d'atenció personalitzada de la Farmàcia Alsius reunia aquestes condicions.

El matí abans, es van retirar tots els aparells (mesura de pressió, glucèmia...) i qualsevol objecte que pogués entrebancar la feina dels científics. També es va realitzar una curosa neteja i desinfecció de la sala i les superfícies. Per la nostra part, ja teníem la sala a punt per a l'arribada dels científics.

Aquella mateixa tarda va venir l'Ada a realitzar la seva part: retirar un trosset d'esmalt d'una dent de la mandíbula. En Julià Maroto hi era present per donar les indicacions corresponents. Ada va realitzar l'extracció del tros d'esmalt en un queixal de la mandíbula. És com obrir una porteta, per permetre als investigadors del Max Planck entrar amb les seves eines dins el molar i extreure'n les mostres necessàries de dentina, que és on pot haver-hi encara matèria orgànica, i, per tant, material genètic.



Figura 2. Ada fent l'extracció del trosset d'esmalt

Font: Pròpia

Aquest tros d'esmalt ja havia estat obert anteriorment, per un altre estudi. L'Ada només havia de treure el tros enganxat i ho va fer amb l'acetona com a dissolvent de la resina acrílica que feia de cola de la petita peça d'esmalt.



Figura 3. Obertura de
l'esmalt 1.
Font: pròpia



Figura 4. Obertura de
l'esmalt 2.
Font: pròpia



Figura 5. Obertura de
l'esmalt 3.
Font: pròpia

2.2.2 Tècnica d'extracció

L'endemà van venir els dos científics alemanys, Elena Essel i Merlin Szymanski, al migdia, cap a les 13:30 hores, quan la farmàcia ja estava tancada. Com que ja ho tenien tot net i preparat, es van canviar per no contaminar la mostra. Van seguir el protocol de "sala blanca" i van començar el procés d'extracció de les mostres.



Figura 6. Elena Essel i Merlin Szymanski fent el mostreig
Font: Pròpia

Els dos investigadors, amb una perforadora de mostreig especial, van anar fent petites perforacions i amb un paper de plata a sota anaven recollint la pols que extreien. Van fer això en diferents direccions, i cada una donava una mostra de pols diferent, en total en van fer unes 6 o 7. Cada una d'elles les guardaven en un tub eppendorf amb aproximadament 50 mg de mostra de pols d'os.

Totes aquestes mostres, van ser guardades curosament en un estoig, per ser transportades l'endemà cap a Leipzig, al Max Planck, a Alemanya.

L'endemà, al matí, va tornar a venir l'Ada Algueró a encolar una altra vegada el tros d'esmalt al seu lloc, per tapar el petit forat del molar.

2.3 La Mandíbula de Banyoles

La Mandíbula de Banyoles és un dels fòssils prehistòrics més importants d'Europa. Aquesta mandíbula és gairebé completa, no presenta mentó, té algunes zones erosionades o trencades. El seu estat de conservació és correcte i no mostra cap fragment de l'os maxil·lar superior. És robusta i de mida relativament grossa en comparació amb altres mandíbules modernes. La no presentació d'un mentó prominent va fer pensar a priori que es tractava d'una mandíbula neandertal o, fins i tot, preneandertal. Malgrat això tampoc no evidencia una morfologia neandertal totalment coincident.



Figura 7. Vista anterior de la Mandíbula



Figura 8. Vista superior de la Mandíbula

Font: Alejandro Bonmatí i Almudena Alcázar de Velasco 2010

L'angle mandibular és ample, presenta la majoria de les molars i premolars. Aquestes presenten un gran desgast a causa del tipus de pràctiques manuals amb l'ús constant de la boca i una alimentació agressiva. L'arc dental té una forma parabòlica més pròpia d'*Homo sapiens* que de *Neandertal*, que sol ser més ovalada.



Figura 9. Vista lateral dreta



Figura 10. Vista lateral esquerra

Font: Alejandro Bonmatí i Almudena Alcázar de Velasco 2010

A causa de la combinació de trets de *Neandertals* i *Homo sapiens*, durant molts anys la classificació taxonòmica de la mandíbula ha estat qüestionada. Els estudis més recents, basats en anàlisis detallades de la seva estructura (Brian Keeling, 2022), indiquen que probablement pertany a un *Homo sapiens* que va viure fa uns 65.000-45.000 anys. Els *Homo sapiens* són l'única espècie d'*Homo* a la Terra actualment.

Aquesta mandíbula és una peça clau per entendre l'evolució humana i la interacció entre aquestes dues espècies abans esmentades, en el passat prehistòric. Veurem en els propers anys, i després de conèixer els resultats que probablement ens proporcionarà la paleogenètica, si podrem, d'una manera definitiva, classificar la mandíbula de Banyoles com a neandertal, com a home modern antic (*Homo sapiens*) o com a un híbrid entre tots dos, teoria que fins ara ha estat més aviat especulativa, però que va agafant força.

2.3.1 Descobriment i història

Fa 138 anys, més concretament l'abril del 1886, un picapedrer anomenat Llorenç Roura, estava treballant en una pedrera de Banyoles, al Pla de la Formiga, actualment municipi de Porqueres. Va observar la traça de dues dents que semblaven humanes i li ho va comunicar al farmacèutic Pere Alsius i Torrent (1837-1915), el qual, prèviament, ja havia demanat que se l'avisés en cas de qualsevol troballa que pogués semblar interessant. Aquest va anar a la pedrera i va extreure un bloc de travertí que contenia l'empremta de les dents. Se'l va emportar a casa i amb molta precaució i calma en va extreure tot el travertí extern. Amb el temps, paciència i amb molta cura, el que semblava un simple bloc de travertí amb marques brillants, esdevingué una mandíbula humana prehistòrica.

Pere Alsius creia que la mandíbula era la resta humana més antiga de la comarca, però en el moment de l'estudi ell desconeixia les descobertes de fòssils neandertals a Europa i sobretot al sud de França, que eren poc divulgades i sense possibilitat que fossin al seu abast. Va comparar la seva troballa fòssil amb mandíbules conegudes en aquell moment, i les similituds morfològiques eren notablement afins a mandíbules *Neandertals* o *Preneandertals*, tot i que Pere Alsius, primerament, la va comparar amb altres mandíbules de l'espècie *Homo sapiens*.

Cal ser conscient que els materials, eines i proves de què es podia servir Pere Alsius a finals del segle XIX, eren bastant rudimentaris i limitats.

Santiago Alcobé i Noguer (1903-1977), catedràtic d'Antropologia de la Universitat de Barcelona, va netejar, consolidar i restaurar la mandíbula. Fou ell qui n'inicià el primer estudi, un cop la va alliberar del tot de travertí.

Els seus apunts mostren aspectes molt interessants de l'estudi (1956-1958), que consta de notes manuscrites i d'un bon nombre d'il·lustracions (dibuixos i fotografies) i també de radiografies. Ell destaca els caràcters morfològics que considera més significatius i presenta taules de mesures.

Tot i això, en els últims anys de vida de Pere Alsius, la classificació de la mandíbula va anar sent corroborada per la comunitat científica de l'època i es va anar confirmant la teoria, segons els coneixements d'aquells anys, que pertanyia a un *Homo neanderthalensis*.

Aquesta va ser també la teoria de Marie-Antoinette de Lumley qui, juntament amb el seu marit, Henry de Lumley, van fer la primera publicació sobre la mandíbula el 1966, després d'una estada a Banyoles (a la casa familiar del carrer Girona). Aquests estudis són els més complets i més ben il·lustrats sobre la mandíbula. El matrimoni va venir acompanyat d'un dibuixant i d'un aparell de raigs X.

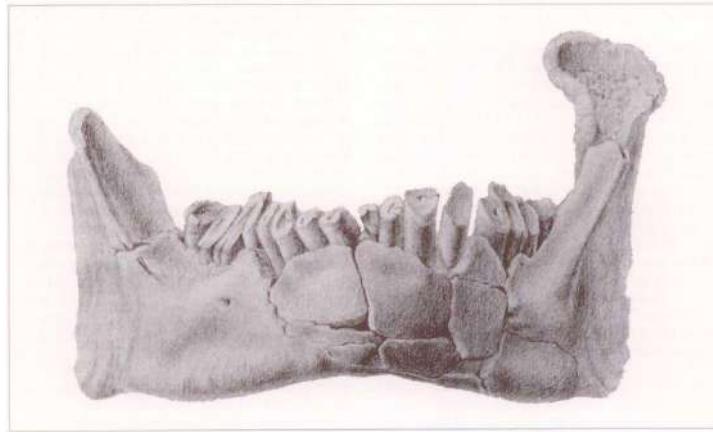


Figura 11. Il·lustració de la Mandíbula de Banyoles

Font: Dibuix d'Henri Puech de la mandíbula de Banyoles, en vista anterior, procedent de Lumley

Pel que fa a l'individu, ells el van considerar de sexe femení per la poca amplada de la mandíbula, per ser una mandíbula baixa i gruixuda, per la presència d'un sol forat mentonià, però sobretot, per les dimensions relativament petites de les dents i pel seu desgast. Aquest desgast el van atribuir a la realització d'activitats artesanals, com la preparació de pells a la manera dels esquimals, feina que consideraven més pròpia de la dona.

El matrimoni Lumley es va atrevir, en el seu moment, a determinar l'edat de l'individu. Li va atribuir poc més de cinquanta anys. Això ho dedueixen per la importància del desgast dentari. I eren més partidaris de parlar d'una mandíbula anteneandertal, que neandertal pròpiament dit.

De totes maneres, l'anàlisi paleogenètica pendent, que actualment està realitzant l'Institut Max Planck de Leipzig, aclarirà el sexe de l'individu amb seguretat.

L'any 1987, va tenir lloc a Banyoles, el col·loqui internacional *La mandíbula de Banyoles en el context dels homes fòssils d'Europa*. La majoria dels participants van estar d'acord a classificar la mandíbula com a anteneandertal. Però alguns estudiosos eren més partidaris d'utilitzar el terme preneandertal, és a dir, no només pensar que és anterior als neandertals, sinó també que hi està en la línia.

Aquestes idees formulades en el col·loqui, actualment es consideren totalment desfasades perquè la línia investigadora dels últims anys apunta a un possible origen *Homo sapiens* del fòssil com es pot comprovar els estudis citats a continuació:

- *Revisión de la mandíbula humana de Bañolas, Gerona, España* de Almudena Alcázar de Velasco, Juan Luis Arsuaga, Ignacio Martínez i Alejandro Bonmatí. 2011.
- Article publicat a la revista "Journal of Human Evolution" fruit de la tesi doctoral d'un alumne de Rolf Quam, en Brian Keeling. *Reassessment of the human mandible from Banyoles (Girona, Spain)*. 2023.

L'investigador Rolf Quam, professor d'Antropologia de la Universitat de Binghamton, als Estats Units, va estar molts anys a Madrid treballant amb l'equip d'Atapuerca. Justament quan va arribar a Europa, abans de l'any 2000, va contactar amb Julià Maroto Genover, professor titular de la Universitat de Girona (UdG) del departament d'Història i Història de l'art, especialista en Prehistòria, per anar a veure la mandíbula i el va acompanyar a Banyoles.

El desembre de 2022, Rolf va proposar, sota la seva direcció, a un deixeble seu, Brian Keeling, de fer la tesi doctoral sobre la Mandíbula de Banyoles. Va utilitzar la metodologia coneguda amb el nom de morfometria geomètrica en 3D, que permet quantificar la forma geomètrica i fer comparacions morfològiques amb altres mandíbules de forma més matemàtica.

Per a això, primer van reconstruir virtualment la mandíbula usant el TAC existent, i i després van poder comparar la forma sencera de la de Banyoles amb la de mandíbules de neandertals i de sàpiens. És a dir, van aplicar la idea clàssica de la comparació, però amb noves eines.

El TAC, realitzat a Sabadell a l'Institut Català de Paleontologia (ICP), els el va proporcionar Juan Luis Arsuaga, com a membre també de l'equip d'Atapuerca. El mateix Arsuaga i el seu company Ignacio Martínez, van participar en l'estudi. També es va convidar en Julià Maroto a participar en la publicació.



Figura 12. Preparació per a la tomografia computaritzada, feta a l'ICP, Miquel Crusafont de Sabadell
Font: pàgina web de l'ICP

El resultat al qual va arribar Brian Keeling respecte a la morfometria geomètrica és que la mandíbula de Banyoles no és *Homo neanderthal* i que es correspon amb un *Homo sapiens*, si bé un *sàpiens* sense mentó (és el caràcter que tradicionalment frena la seva assignació com a *sàpiens*). Per tant, s'apunta la possibilitat que alguns *sàpiens* antics europeus no en tinguessin.

La diferència de ressò d'aquest estudi respecte a treballs anteriors que apunten que la mandíbula podia ser d'un humà modern (l'últim el del mateix equip d'Atapuerca, encapçalat per Almudena Alcázar de Velasco) fou que sortia publicat a la revista *Journal of Human Evolution*, que és la màxima referent en evolució humana. A partir d'aquell moment (2022) queda bastant oficialitzada la nova taxonomia de la mandíbula com a *Homo sapiens*, i passa a ser el fòssil d'*Homo sapiens* més antic d'Europa.

Els avaluadors de la revista van demanar que el TAC fos accessible a tothom a través d'una plana web especialitzada, <http://www.morphosource.org/>.

2.3.2 Cronologia de les diferents datacions

L'any 1987 l'investigador Yuji Yokoyama de l'Institut de Paleontologia de París publica a la revista *Cypselia* de Girona, *Datation du travertin de Banyoles à Gérone, Espagne*. Els resultats de la seva datació definitiva de la mostra de travertí van donar una antiguitat al voltant de 80.000 anys. El mètode utilitzat fou el mètode de U-Th.

El mètode U-Th (Urani-Tori) és una tècnica de datació radiomètrica. El procediment es basa en el fet que els fòssils ossis poden incorporar petites quantitats d'urani després de quedar enterrats, mentre que inicialment pràcticament no contenen tori, ja que aquest element és insoluble. Amb el temps, part de l'urani incorporat es desintegra i es transforma en tori radioactiu. Analitzant la proporció actual entre urani i tori dins l'os, es pot calcular quant de temps fa que el fòssil es va mineralitzar. Aquest mètode és especialment útil perquè permet datar restes molt més antigues que les que es poden estudiar amb el carboni-14, arribant fins a uns 500.000 anys.

El 1991, Ramon Julià, un geòleg català, i James L. Bischoff, geòleg i geoquímic nord-americà, publiquen un article titulat *Radiometric Dating of Quaternary Deposits and Hominid Mandible of Lake Banyolas, Spain*, publicat al *Journal of Archaeological Science* sobre el context geològic de la troballa i la datació de la mandíbula. Presenten les anàlisis de les sèries d'urani de la matriu travertínica que envoltava la mandíbula, que els permeten establir una edat de 45.000 ± 4.000 BP (before present). Aquesta unitat de temps s'utilitza molt en arqueologia, paleontologia i geologia per datar esdeveniments del passat on es fa servir el present, que és la data en què es fa la datació com a data de referència. Els ± 4.000 BP indica el marge d'error de la datació.

Els resultats isotòpics en correcte ordre estratigràfic que han obtingut de les mostres procedents de dues pedreres de la mateixa formació, reforcen la validesa de la datació del travertí de la mandíbula. Ni la composició isotòpica d'aquestes mostres, com ja s'ha dit, ni les de la matriu presenten cap evidència d'un comportament de sistema obert (pot haver guanyat o perdut elements radioactius com urani i tori amb el pas del temps). Tampoc no contempnen la possibilitat que la mandíbula hagi estat remobilitzada i conclouen que l'edat de la ganga de travertí és l'edat de la mandíbula.

2.4 Els neandertals

2.4.1 Els neandertals i el seu lloc en l'evolució humana

Hi ha més de vint espècies d'homínids identificades només en els últims 3,5 milions d'anys (Ma). Les seves arrels són encara més profundes. La transformació de petits mamífers en homínids, i finalment, en neandertals, va tardar molt més temps.

Fa 25 Ma boscos immensos estaven plens de simis i en aquell moment ja s'obria la branca que va originar els primats. A Àfrica, fa 10 Ma, es varen separar les branques que ens separen dels actuals goril·les i ximpanzés, i també en aquesta època, es comencen a veure individus caminant sobre dues cames. No tots eren homínids (avantpassats directes entre *neandertals* i *sàpiens*), però el bipedisme va marcar un punt d'inflexió.

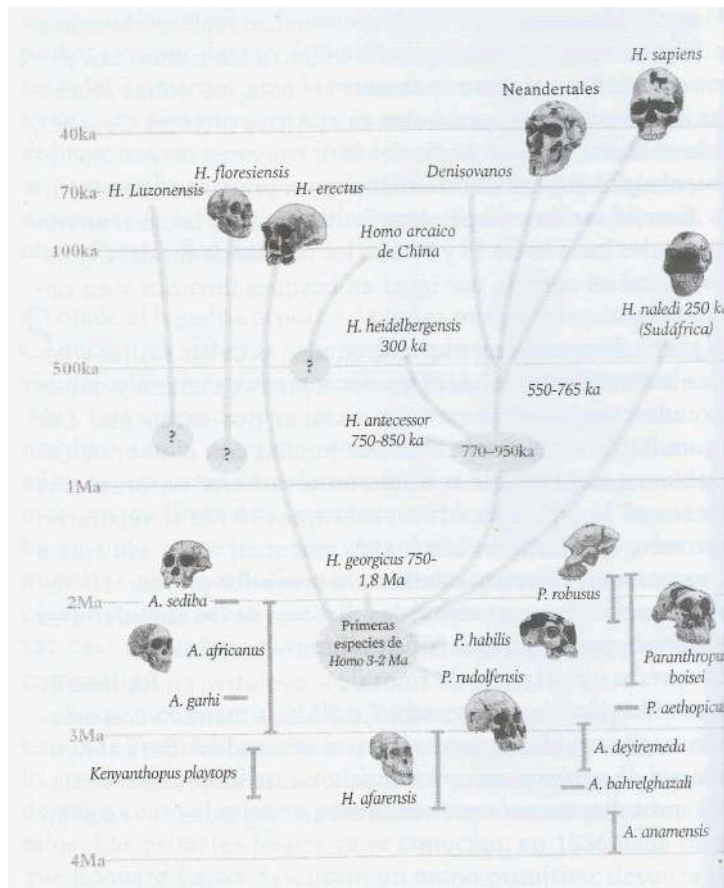


Figura 13. Context evolutiu dels neandertals com a membres de la família dels homínids

Font: Llibre "Neandertales" de Rebecca Wragg Sykes. Pàgina 38

No queda clar de quin grup homínid anterior va sorgir el gènere “homo”, però el primer avantpassat comú que sens dubte, compartim amb els neandertals, apareix fa 2 Ma. Era L'*Homo ergaster* i fa 1 Ma aquests humans arcaics ja vivien com autèntics caçadors - recol·lectors. Ells van fabricar els primers bifaços (pedres treballades per dues cares) en un context d'unes vides més organitzades i amb més vincles socials. Els individus d'*Homo ergaster*, tenien un cos essencialment humà. Eren alts, bons corredors, amb cara relativament petita i extremitats proporcionades. Però d'on venen exactament els neandertals?

Al jaciment de la Gran Dolina, a Atapuerca (Burgos), s'han trobat ossos de fa entre 800.000 - 850.000 anys, denominats com a *Homo antecessor*, que podrien ser els avantpassats comuns de *sàpiens* i *neandertals*.

A la Sima de los Huesos (Figura 14), s'ha descobert l'acumulació més gran de fòssils humans de la història. És una petita cavitat de set metres de llarg per tres d'ample, situada al peu d'un profund conducte vertical de tretze metres d'alçada. De fet, té una forma que sembla un mitjó. En aquest jaciment d'Atapuerca, es van trobar 28 cossos d'homínids que van caure pel precipici accidentalment, o també hi ha la teoria que pogués haver estat una fossa mortuòria. La seva antiguitat és de 450-439 milers d'anys (Ka) i la seva anatomia els converteix en sospitosos de ser vertaders protoneandertals segons va confirmar l'anàlisi d'ADN el 2016 del “Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology”, liderat per Svante Pääbo. Són els fòssils més antics que han proporcionat material genètic.

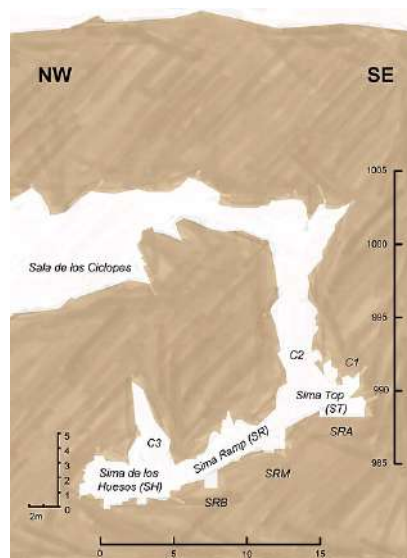


Figura 14. La Sima de los Huesos

Font: Wikimedia Commons

Els neandertals es converteixen en una espècie diferenciada fa 400 - 450 milers d'anys, no es pot precisar més per ara. Van tenir una àmplia distribució geogràfica tal com demostren els nombrosos jaciments que van ocupar, i que més endavant s'exposaran.

Van existir durant més de 350.000 anys i van desaparèixer fa uns 40.000, certesa que actualment es té perquè ja no tenim fòssils de neandertals des d'aquesta data.

Els neandertals van viure des del nord de Gal·les fins a la Sibèria Occidental i des de la península Ibèrica fins a l'Orient mitjà.

Els neandertals deuen el seu nom a l'esquelet Neandertal 1 o home de neandertal trobat a la cova Fedhover, a la vall del riu Neander, a Alemanya, l'agost del 1856. És un esquelet d'uns 160 cm, que es pot veure al museu de la ciutat de Bonn, Alemanya.

L'explotació de pedreres, per la demanda de les indústries del marbre i calç, va devorar la zona del sud-oest de Düsseldorf. A la part alta de les parets de roca es va descobrir una cavitat (la cova Kleine Feldhofer) tapada per espessos sediments.

Els ossos grossos, que els obrers van llençar des de la boca de la cova, van cridar l'atenció d'un dels propietaris de la pedrera. Com que era membre d'una societat d'història natural, va suposar que podrien ser restes d'animals amb un cert interès científic i va rescatar-los tots incloent-hi una volta cranial. El fundador de la societat, Johann Carl Fuhlrott, va visitar la pedrera i va advertir que els ossos eren humans; a més a més, eren fòssils, i per tant, va deduir que devien ser molt antics.

Sembla ser que el descobriment de Feldhofer va encendre la imaginació de la gent dels voltants, segons es veu en els diaris de l'època, i els estudiosos més importants van demanar permís per veure els misteriosos ossos.

A principis de 1857 es va enviar un motlle de la volta cranial a l'anatomista Hermann Schaaffhausen de Bonn, amb les idees obertes a la possibilitat que es tractés de fòssils humans. Al final, una capsa de fusta amb les restes, custodiada per Fuhlrott va viatjar cap a Bonn, amb tren.

L'ull expert de Schaaffhausen es va fixar de seguida en el tamany dels ossos, especialment del crani i el front inclinat i li va recordar els cranis dels simis. Donada la seva evident antiguitat, s'inclinava a pensar que haurien de pertànyer a una espècie humana primitiva. Pocs anys després, els ossos es convertirien en el primer fòssil humà amb nom científic, *Homo neanderthalensis*.

2.4.2 Jaciments arqueològics neandertals

Existeixen milers de jaciments arqueològics, tot i així, tan sols es comentaran els més importants, els que constitueixen fites en la història neandertal.

Al centre de França, a la comarca del Perigord, a la regió d'Occitània, es troba la cova de la Madeleine, una meravella de la prehistòria i un jaciment arqueològic declarat patrimoni de la humanitat per la UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization).

També en aquesta zona, hi ha la cova de Le Moustier. El 1908 s'hi descobrien fòssils de neandertal. A Le Moustier 1 s'hi va trobar l'esquelet d'un adolescent neandertal d'uns 11-15 anys. A Le Moustier 2, l'esquelet d'un nadó neandertal. A la Ferrassie 1, a pocs quilòmetres, un esquelet adult quasi sencer. També a La Chapelle-aux-Saints, el 1908 es va trobar un esquelet neandertal complet. I a la Roche-à-Pierrot, prop de Saint Césaire, el 1960, un cos de dona neandertal.

La cova del Sidrón, a Astúries, és un dels millors jaciments neandertals. L'any 1994 s'hi van trobar els esquelets fòssils de 13 neandertals: 4 dones, 3 homes, 3 adolescents, 2 nens i 1 nadó. Es creu que tenen una antiguitat de 49.000 anys, i estan molt ben conservats i han proporcionat material genètic neandertal de molt bona qualitat.

L'abric (o cova) Romaní, aquí a Catalunya, al municipi de Capellades, és un jaciment neandertal de fa 75.000 anys que, des del 1983, és en procés d'excavació sota la direcció del Dr. Eudald Carbonell. Tot el conjunt de dades i objectes recuperats en l'excavació permeten reconstruir el "modus vivendi" de les comunitats caçadores recol·lectores de l'espècie neandertal. Aquest jaciment va ser descobert l'any 1909 per l'industrial paperer Amador Romaní, i posseeix un registre absolutament únic de materials que utilitzaven els neandertals i, per ara, no s'hi han trobat ossos fòssils.

Un jaciment amb un registre fòssil summament ric és l'abric de Krapina, a Croàcia, que ha donat més de 900 ossos d'entre 20 i 80 neandertals. Fou descobert el 1899 i es creu que té una antiguitat d'uns 120.000 anys. Actualment, a la ciutat, hi ha el Museu Neandertal.

A la cova Tabun, al Mont Carmel, en el que era abans Palestina, el 1932 es va trobar un esquelet fòssil neandertal femení sencer (Tabun 1). Aquestes restes es van traslladar al Museu d'Història Natural de Londres. També s'hi va trobar una mandíbula inferior (Tabun 2) d'un individu masculí, d'uns 120.000 anys d'antiguitat. I l'abric de Shanidar, al Kurdistan iraquià, va proporcionar 10 esquelets neandertals amb una antiguitat de 60.000-80.000 anys, entre 1951-1960.

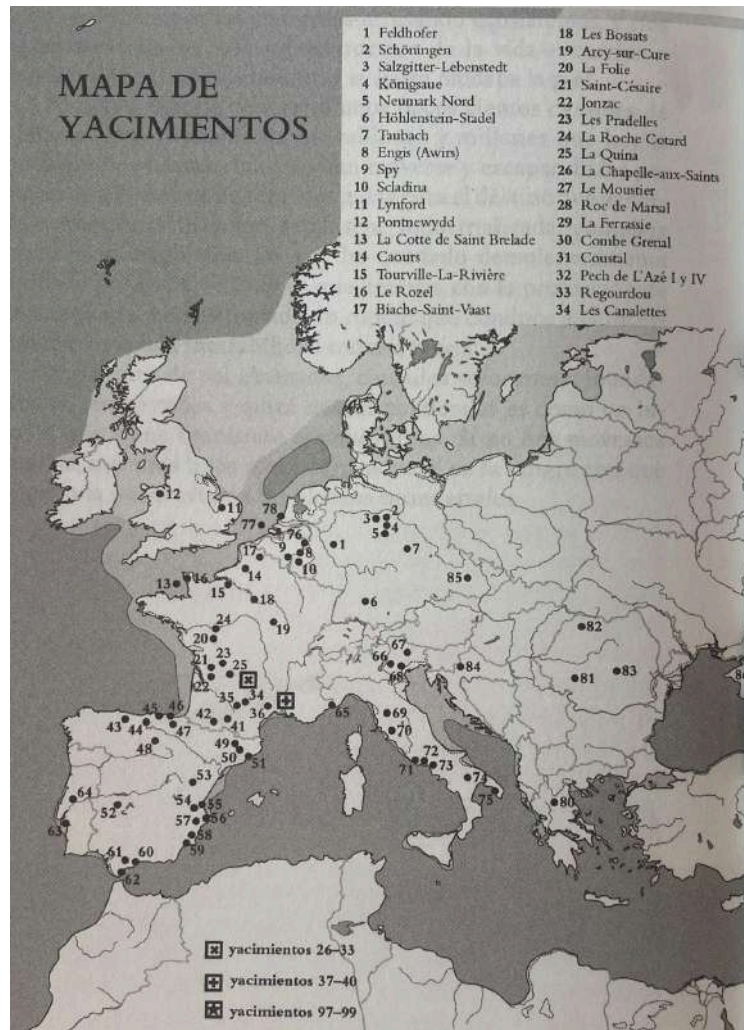


Figura 15. Mapa dels principals jaciments neandertals

Font: llibre "Neandertales" de Rebecca Wragg Sykes pàgina 444

A Gibraltar, a la pedrera de Forbes, el 1848 va ser descobert un crani anomenat Gibraltar 1 amb una antiguitat estimada en 45.000-70.000 anys. L'original és al Museu d'Història Natural de Londres. És un crani parcial que inclou cara, maxil·lar superior i diverses dents. Pertany a una dona adulta d'uns 50 anys.

2.4.3 Com eren físicament els neandertals?

Si ens poséssim davant d'un neandertal, el reconeixeríem com una espècie d'humà, encara que gens convencional. Un article escrit en la dècada de 1950 afirma que un neandertal al metro de la ciutat de Nova York no cridaria l'atenció (sempre que estigués polit, afaitat i vestit amb una indumentària moderna). Però en realitat el seu front prominent i els impressionants músculs corporals segurament el delatarien. Els neandertals es diferenciaven molt més de qualsevol població humana d'ara que les diferències que puguin mantenir les poblacions actuals entre si.

Els neandertals eren una mica més baixos que nosaltres, tenien una caixa toràcica i una cintura més amples, les proporcions de les cames i braços eren també diferents. Sota unes cuixes molt musculades, els ossos de les cames eren més gruixuts i rodons i lleugerament corbats, però caminaven igual que nosaltres. Quasi tots els neandertals no tenien barbeta fins i tot des de petits. La forma del seu crani era molt diferent. Les closques més baixes els donaven una aparença més aerodinàmica i tenien “monyo” occipital, una protuberància per sobre de la nuca.

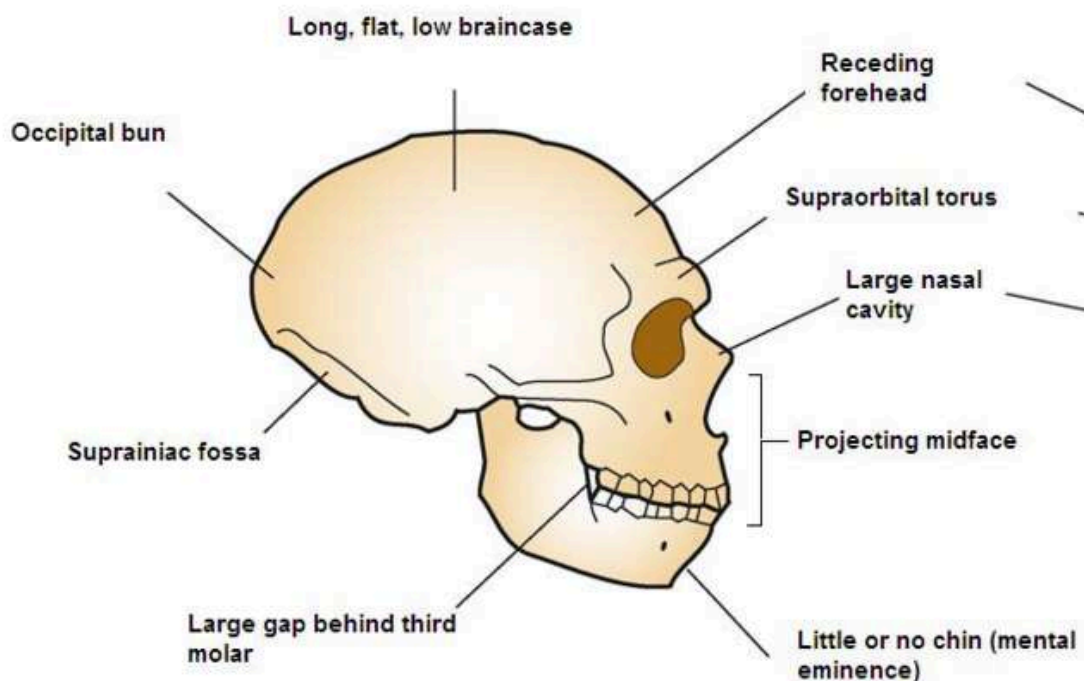


Figura 16. Perfil cranial d'un neandertal

Font: Wikimedia Commons

Uns ulls més grossos i enfonsats, nas i boca projectats cap a davant, però els pòmuls més enfonsats. Enmarcant tot el conjunt, tenien els arcs superciliars molt marcats, sense separació central com nosaltres i molt més imponents. El cervell neandertal era tan gros i capaç de pensar com el nostre.

Dins la mandíbula, els seus molars eren també diferents, sovint amb grans arrels fusionades. Tenien les dues falanges del dit polze de la mateixa longitud. Nosaltres els sàpiens tenim la falange distal més curta que la proximal.

La seva mà era més ampla, amb les puntes dels dits més gruixudes i el seu nas era un 30% més gros que el nostre.

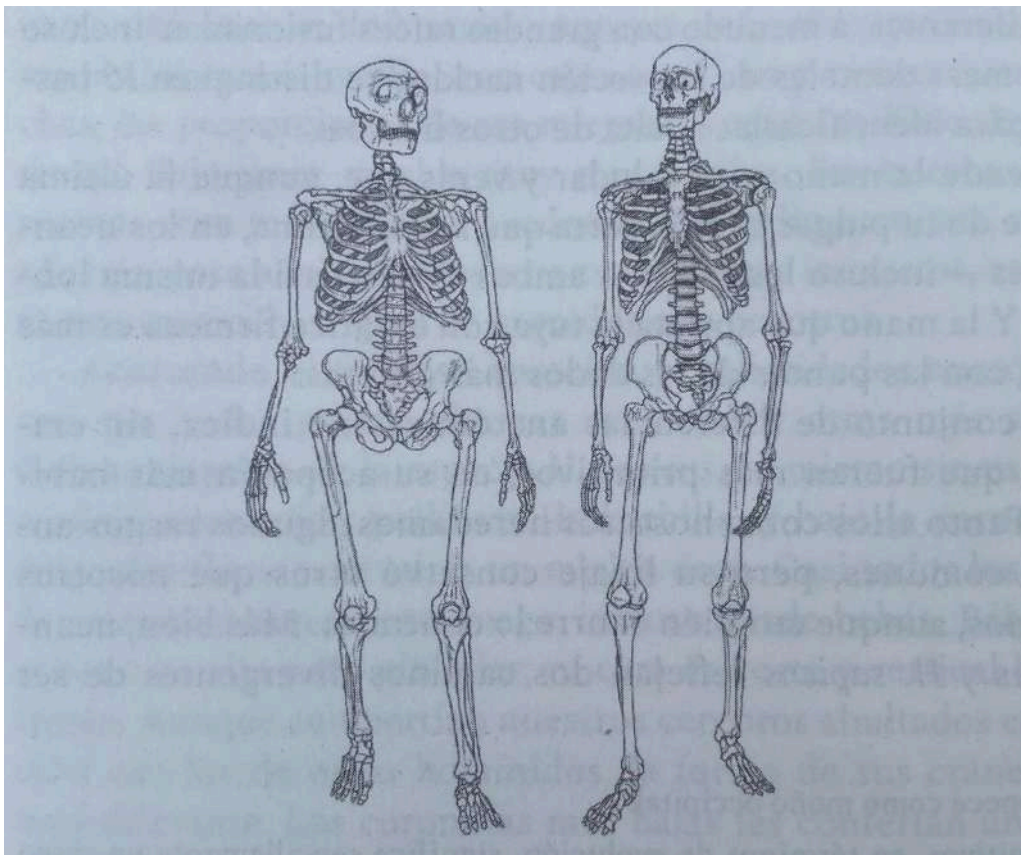


Figura 17. Esquelet mitjà d'un neandertal (esquerra) i d'un *Homo sapiens* mitjà recent (dreta)

Font: Llibre "Neandertales" de Rebecca Wragg Sykes, pàgina 54

2.4.4 Com vivien els neandertals?

Eren homínids en plenitud de facultats, i com a tals, van desenvolupar una important destresa en les habilitats lítiques i es fabricaven javelines de fusta amb punta de pedra. Caçaven mamuts, elefants d'un sol ullal, grans cavalls, urs, búfals d'aigua, camells gegants, rens i rinoceronts. Feien servir petxines per tallar pells i carn i per treballar la fusta. Usaven ossos d'animals per fabricar-se les armes i també estris de fusta. El seu dia a dia requeria grans esforços físics. Necessitaven entre 3.500 i 5.000 Kcal al dia. Menjaven molt i eren bons caçadors. No eren carronyaires, estaven a dalt de tot de la cadena tròfica. També menjaven caça petita de pèl i ploma, aus i marisc, i també tortugues, i evidentment, vegetals.

Són els primers homínids que creen divisions de l'espai a les seves llars, tal com es veu a l'Abric Romaní de Capellades, per exemple. Separaven les deixalles en zones concretes i els residus corporals els cremaven juntament amb herba i molsa, probablement amb deixalles, abans de marxar de la cova.

Anaven vestits, la qual cosa implica un treball manual de les pells animals. Utilitzaven pigments per donar color a coses inhabituals com curculles de mar, parets o ossos d'animals. Sembla que hi ha indicis que cuidaven els malalts i els ferits i no podem assegurar que tinguessin cementiris, però hi ha jaciments amb acumulació de cossos. La cova de Shanidar, al Kurdistan iraquiana, i La Ferrassie, a França, en són exemples. I si ens preguntem: quants eren els neandertals? Convivien en grups grans? Com es distribuïen socialment? Doncs es creu que desenes de milers, repartits en grups petits d'entre 10 i 20 persones, que es movien junts com a caçadors-recol·lectors. A Le Rozel, a la costa francesa, hi ha unes petjades de fa 80.000 anys, d'un grup de 10 persones amb adolescents i nens.



Figura 18. Empremtes de peus i mans de Le Rozel de fa uns 80 mil anys

Font: Llibre "Neandertales" de Rebecca Wragg Sykes, pàgina 5

2.4.5 Són els neandertals una espècie diferent dels sàpiens?

La relació entre els humans actuals (*Homo sapiens*) i els neandertals (*Homo neanderthalensis*) ha estat objecte de debat durant molts anys dins la comunitat científica. Durant molt de temps, s'ha considerat que els neandertals van ser una espècie diferent i separada de la nostra i que no hi va haver creuaments amb la nostra espècie. Tanmateix, gràcies als avenços recents en genètica i paleontologia, especialment gràcies a la feina de científics com Svante Pääbo, aquesta visió ha canviat profundament.

Els neandertals van viure a Europa i parts d'Àsia durant un període que va des de fa aproximadament 400.000 fins fa uns 40.000 anys. Eren físicament diferents dels *Homo sapiens*: tenien un cos més robust, un crani més gros i amb forma diferent, i un front més baix. Tot i aquestes diferències físiques, tenien capacitats força avançades: fabricaven eines complexes, controlaven el foc, caçaven en grup i hi ha evidències que enterraven els seus morts. A més, es creu que podrien haver tingut alguna forma de comunicació oral, potser fins i tot un llenguatge bàsic. Aquesta creença ha estat confirmada per Pääbo gràcies a la troballa d'un gen determinat al seu genoma.

Durant molts anys es creia que els sàpiens i els neandertals no s'havien arribat a hibridar, però l'anàlisi del seu ADN ha demostrat el contrari. A partir de la seqüenciació del genoma neandertal, que es va completar el 2010, es va descobrir que tots els humans actuals fora d'Àfrica portem una mica d'ADN neandertal (com bé explicaré una mica més endavant). Això indica que els *Homo sapiens* i els *Homo neanderthalensis* es van creuar entre ells quan es van trobar a Europa i Àsia, després de la sortida dels sàpiens d'Àfrica.

Ara bé, el fet que hi hagués descendència entre sàpiens i neandertals no significa necessàriament que fossin la mateixa espècie. En biologia, la definició d'"espècie" pot variar segons el criteri que s'utilitzi. Segons el criteri d'espècie en biologia, dues espècies són diferents quan no poden tenir descendència fèrtil. La definició en paleontologia del concepte d'espècie és una altra. Dues espècies són diferents quan ho són morfològicament. L'aspecte físic és el que determina una espècie o una altra, i a més a més, les característiques físiques es mantenen en el temps. Després sí que parlen d'espècie paleontològica.

Quan Svante Pääbo va desxifrar el genoma neandertal complet, el 2010, va resoldre el problema de si sàpiens i humans eren la mateixa espècie o no. Va deixar molt clar que som molt diferents. Aquesta notícia i tota la informació que teníem a l'abast de la ciència fou una autèntica revolució en la paleontologia.

En paleontologia mai no es diu que les espècies paleontològiques són espècies biològiques. En paleontologia no s'aplica el criteri d'interfecunditat, per això, a nivell biològic, quan a nivell paleontològic estàs veient dues espècies diferents, veiem creuaments de sàpiens i neandertals, de neandertals amb denissovans i de sàpiens amb denissovans.

Això passa a la biosfera actual, passa entre els tigres i els lleons, que els veus com a espècies diferents, però que es poden reproduir i són fèrtils. També passa amb primats.

Deia Ernst Walter Mayr (1904-2005), un dels grans biòlegs del segle XX, que fou el que va definir el criteri biològic d'espècie, ell mateix va dir que aquest criteri de la interfecunditat no es pot aplicar quasi mai. Ell pensava que en el procés de divergència de les espècies, hi ha un moment en el qual encara es poden creuar, però que la freqüència va baixant cada vegada més fins que arriba un moment que apareixen espècies diferents. Van apareixent barreres geogràfiques, morfològiques, etc. Es reproduïen entre si, però cada vegada menys. Això és el que va passar entre els neandertals i els homes moderns. Es van creuar, però morfològicament cada un d'ells seguia sent neandertal o sàpiens.

També cal tenir en compte que, malgrat l'encreuament, els dos grups van seguir camins evolutius diferents i que, finalment, els neandertals es van extingir fa uns 40.000 anys, mentre que els sàpiens van continuar expandint-se i evolucionant fins arribar a la població humana actual.

3. PART PRÀCTICA

3.1 Introducció

En la part pràctica d'aquest treball, es presenten tres entrevistes a diferents professionals amb opinions expertes sobre el fòssil. La primera es fa a Vanessa Villalba, investigadora de l'Institut de Biologia Evolutiva (CSIC-UPF) de Barcelona, implicada en l'estudi paleogenètic de la mandíbula de Banyoles, on es parla tant de la paleogenètica en general, com de l'estudi que s'està fent al fòssil banyolí. La segona entrevista és amb el doctor en prehistòria Julià Maroto Genover, professor de la UdG; la tercera correspon al matrimoni de paleontòlegs francesos Henry i Marie-Antoinette de Lumley, ja que van venir de visita a Banyoles durant la realització d'aquest treball de recerca. Finalment, també es deixa constància d'una visita al Museu de l'Evolució Humana de Burgos amb les corresponents conclusions extretes durant aquesta visita.

3.2 Entrevista a Vanessa Villalba Mouco i visita al laboratori

3.2.1 Vanessa Villalba de l'Institut de Biologia Evolutiva

Vanessa Villalba Mouco és una investigadora espanyola especialitzada en el camp de l'antropologia biològica i la genètica antiga, i treballa a l'Institut de Biologia Evolutiva de Barcelona, una de les institucions científiques més importants d'Espanya, que depèn del CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) i de la Universitat Pompeu Fabra. El CSIC desenvolupa projectes de recerca en molts camps, però en el cas de Villalba, la seva tasca se centra en l'anàlisi de restes humanes antigues per estudiar-ne la genètica de les poblacions prehistòriques.

La investigadora ha participat en diversos projectes de col·laboració amb centres internacionals com l'Institut Max Planck d'Antropologia Evolutiva. La seva feina ha estat important per connectar els estudis internacionals amb les troballes arqueològiques fetes a Espanya.

Un dels casos més destacats, i el que interessa per aquest treball de recerca, és la seva col·laboració en l'estudi de la mandíbula de Banyoles, una de les restes humanes més antigues trobades a Catalunya.

En aquest projecte, Villalba va col·laborar amb l'equip que va extreure i analitzar la mostra de la dent per intentar obtenir-ne ADN antic. El seu paper va ser fonamental, tant pel coneixement tècnic com per la seva experiència en el maneig de mostres fràgils i en la prevenció de la contaminació.

La seva trajectòria és un bon exemple de com la ciència feta des d'Espanya pot tenir un paper rellevant en projectes internacionals d'alt nivell. Amb la seva feina, Villalba demostra que el treball interdisciplinari entre arqueòlegs, genetistes, biòlegs i antropòlegs és clau per avançar en el coneixement del passat humà. A més, és un referent com a dona científica en un àmbit que, fins fa poc, era predominantment masculí.



Figura 19. Vanessa Villalba
Font: pàgina web Grupo Aragosaurus

3.2.2 Dia de la visita i entrevista

Vaig estar en contacte amb Vanessa durant uns quants mesos, a principis d'aquest 2025, per explicar-li el meu treball i poder concretar una data per fer-li l'entrevista. Finalment, vam quedar el dijous 15 de maig de 2025 a les 17 hores a l'Institut de biologia evolutiva (CSIC - UPF).

Vam anar a Barcelona: la meva mare, Clara Ferrer, el meu pare, Esteve Alsius, la meva tutora de TdR i professora de biologia Maria Teresa Cels i jo. Vam sortir directament de l'institut a les 15 hores i vam arribar allà cap a les 16:30 - 16:45.

Quan vam entrar-hi, vam tenir un petit entrebanc. El recepcionista del centre, va preguntar a la Vanessa si érem tots majors d'edat. Jo encara no ho soc. Per què pugui entrar-hi un menor d'edat es necessita un permís especial d'una persona concreta del centre.

La investigadora no era conscient d'aquesta normativa, i al principi ens vam quedar tots desconcertats. Després d'una trucada al seu director i l'enviament d'un mail per autoritzar la meva entrada al centre, vam poder accedir-hi tots quatre visitants.

Tot seguit, vam accedir per la zona de seguretat de l'Institut de Biologia Evolutiva (IBE) concretament per la zona d'accés del Parc de Recerca Biomèdica. Abans de fer l'entrevista, vam visitar una mica les instal·lacions i ens va presentar el seu equip. Tots eren joves investigadors en els àmbits de paleogenètica i paleoproteòmica. Abans de dirigir-nos al seu despatx, vaig tenir l'oportunitat de fer una pregunta que tenia pensat fer-li a la Vanessa, a un company seu. Li vaig preguntar sobre les diferències més importants entre la recerca de proteïnes o ADN en els fòssils. Aquest noi, Guillermo Carrillo, és un estudiant de primer any de doctorat en paleoproteòmica a l'IBE. Em va explicar que la principal diferència entre les dues ciències és bàsicament que la recerca de proteïnes en materials fòssils, els permet aconseguir material molt més antic que les mostres d'ADN. Aquesta capacitat de tirar enrere en el temps, està en l'ordre de 25 milions d'anys aproximadament, que és la meitat del temps des de l'extinció dels dinosaures.

Amb aquesta explicació, vaig quedar impressionada del potencial que té aquesta ciència i de la capacitat d'anar enrere en els anys comparat amb la paleogenètica. També ens va explicar la quantitat d'informació que es pot extreure a través de l'anàlisi d'una proteïna, que abarca factors socials i antropològics a part de conclusions purament bioquímiques.

Seguidament, vam anar a un despatx i vaig realitzar l'entrevista a la Vanessa.

A continuació, es transcriurà el guió de preguntes que es va seguir per entrevistar la investigadora:

1. Petita biografia
 - a. Quins estudis has realitzat per arribar fins aquí?
 - b. Com vas començar a interessar-te per la paleogenètica?
 - c. Quin ha estat el moment més emocionant de la teva carrera investigadora fins ara?
2. Defineix amb les teves paraules la paleogenètica
3. Quins aspectes de la paleogenètica trobes més apassionants i t'han fet dedicar-t'hi?
4. Quins són els objectius de l'estudi de la mandíbula de Banyoles?
5. Com és el procés d'extracció de DNA de la mandíbula?
6. Quins protocols especials es van seguir per evitar la contaminació en una mostra tan antiga?
7. Quina és la tècnica que s'utilitzarà en la cerca de material genètic en la mandíbula de Banyoles?
8. Quines condicions han de complir les cadenes d'ADN per poder interpretar-les?
9. En cas que s'hi trobi ADN, quines tècniques s'utilitzen per a la seva interpretació?
10. Com funcionen aquestes tècniques?
11. Quines dificultats tècniques es presenten habitualment en l'extracció d'ADN antic?
12. Quins resultats creus que s'obtidran de l'anàlisi de DNA de la mandíbula?
13. Quin serà l'abans i el després del coneixement de l'origen de la mandíbula?
14. Representa realment la paleogenètica un desafiament i replantejament en l'estudi de la prehistòria humana?
15. Quins límits té actualment la paleogenètica i cap a on creus que evolucionarà en els propers anys?
16. Quins llibres em recomanes per buscar informació sobre aquest tema?
17. En un documental de Netflix sobre els neandertals, al final, es parla sobre la proteogenètica. Què és exactament? Quins resultats se n'obtenen?

3.2.2.1 Transcripció de l'entrevista amb Vanessa Villalba (ANNEX II)

3.2.2.2 Visita a la sala blanca de l'Institut de Biologia Evolutiva

Un cop acabada l'entrevista, vam tenir el privilegi de poder entrar a la sala blanca on actualment treballa l'equip de l'entrevistada. Va ser un moment molt interessant, i vam haver de complir totes les condicions de seguretat que requeria l'entrada a aquest laboratori.

L'objectiu principal d'aquest tipus de sales és evitar al màxim la contaminació externa que pugui interferir en l'estudi de les peces que estudien.

Primer de tot, ens vam haver de treure les sabates i vam deixar tots els objectes innecessaris com els mòbils o bosses. Només se'ns va autoritzar l'entrada d'un mòbil per poder fer fotografies, i dins d'una bossa de plàstic.

Abans d'entrar-hi, entre la porta i el passadís, ens havíem de col·locar els peücs, sense trepitjar a l'exterior de la sala per no contaminar. També ens vam posar tots cinc una xarxa per recollir el cabell i una mascareta quirúrgica. Seguidament ens vam posar tots el primer guant de làtex.

Llavors, la primera en entrar i vestir-se, va ser la Vanessa, a la pre-sala blanca. Es va vestir amb el mono complet, després la caputxa i per últim uns esclops nets, no contaminats de dins la sala. Tot seguit es va col·locar un segon i tercer guant.

Després, vam anar entrant tots, seguint el mateix protocol. A mi em va col·locar una pantalla facial de seguretat a més a més que sempre es col·loquen ells per treballar.



Figura 26. Vestimenta de la sala blanca

Font: pròpia

Quan ja érem tots a dins, la Vanessa va obrir el congelador de la sala blanca i en va treure diversos fòssils que es daten aproximadament fa uns 500-600 anys, és a dir, de la baixa edat mitjana. Vaig poder agafar-los i inspeccionar-los.



Figura 27. Observació de fòssil
Font: pròpia



Figura 28. Foto de grup
Font: pròpia

Ens va explicar també el funcionament dels diferents aparells que hi havia a la sala. Alguns serveixen per analitzar l'ADN antic, d'altres per observar les mostres amb gran precisió i fins i tot n'hi ha que permeten conservar-les en condicions òptimes de temperatura, és a dir, fredes. Tot està pensat per garantir que el material es mantingui intacte i que qualsevol dada obtinguda sigui fiable.

L'experiència va ser molt interessant, no només per l'oportunitat de veure i tocar aquells fòssils, sinó també per entendre la meticulositat, el respecte per les peces i la cura per la contaminació i em vaig adonar de fins a quin punt el passat es pot reconstruir gràcies a la ciència i a espais com aquests.

3.3 Entrevista a Julià Maroto i Genover, de la UdG

3.3.1 Julià Maroto Genover, una petita presentació

Julià Maroto Genover nascut a Girona el 1959, és llicenciat en Història i Geologia per la UAB, doctorat en Prehistòria per la Universitat de Girona el 1994, i és professor titular/associat del Departament d'Història i Història de l'art amb especialització en la Prehistòria de la UdG.

El professor ha estat una persona clau en el procés d'estudi de la mandíbula de Banyoles. Des de fa molts anys, també ha estat molt important per la família el seu assessorament sobre la guàrdia i custòdia d'aquest fòssil i ha estat el contacte entre els estudiosos i científics que necessitaven treballar amb la mandíbula i la família.

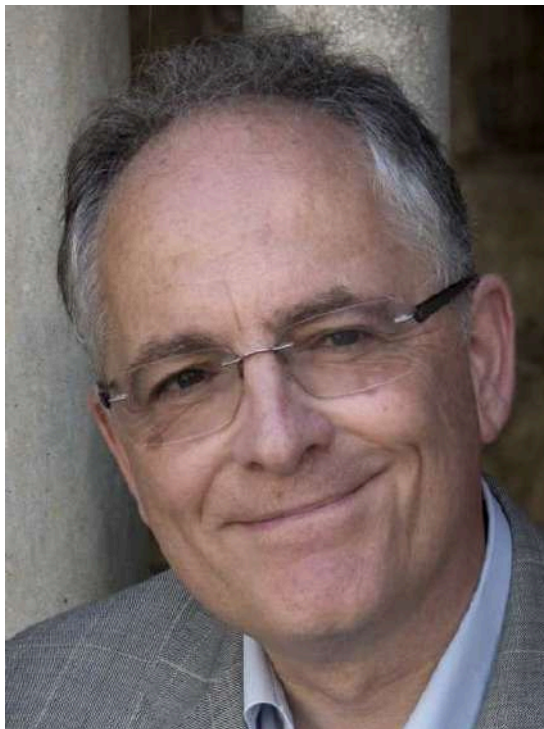


Figura 29. Julià Maroto Genover

Font: pàgina web Universitat de Girona

3.3.2 Guió de l'entrevista

Vaig contactar amb Julià Maroto per telèfon mòbil, ja que la família té una estreta relació amb ell i és una de les persones de referència en l'estudi i conservació de la mandíbula de Banyoles. Aquestes són les preguntes amb les quals el vaig entrevistar.

- Podries fer un resum breu de les datacions oficials realitzades a la mandíbula, el sistema utilitzat i les conclusions?
- Quin paper creus que pot tenir la paleogenètica en el coneixement que tenim sobre la mandíbula?
- Com ha canviat la percepció de la mandíbula de Banyoles al llarg dels anys, des de la seva troballa fins ara?
- Sense saber quins seran els resultats de l'estudi del Max Planck, quins creus que podrien ser? Quins t'agradaria personalment que fossin?
- Tenint en compte que has estat una persona important en l'estudi d'aquesta mandíbula, quina és la teva opinió personal sobre l'espècie d'aquest fòssil?

3.3.3 Transcripció de l'entrevista (ANNEX III)

3.3.4 Visita a les coves de Serinyà, comentada amb Julià Maroto

Després de l'entrevista amb el Dr. Maroto Genover, per complementar la part pràctica del treball, ens va oferir visitar les excavacions de Serinyà, concretament les dues coves que tenen actives, durant la temporada d'excavacions d'estiu.

Les excavacions de Serinyà es concentren al paratge del Reclau, tota una sèrie de entrades i coves, bàsicament de travertí, situades al sud-est del Municipi. Les coves són: les Cova de l'Arbreda, la cova de Mollet, la cova del Reclau Viver, Cova d'en Pau, Arbreda II, Mollet III i Cau del roure.



Figura 31. Cova d'en Pau

Font: pròpia

Les excavacions arqueològiques a les coves de Serinyà es fan seguint un meticulós mètode arqueològic que garanteix que es pugui recollir el màxim d'informació possible de les peces trobades. En primer lloc, el terreny excavat es divideix en parcel·les de 1m². A cada excavador li pertany una d'aquestes parcel·les, que excava utilitzant tornavisos, pinzells i pales.

Quan es troba una peça identificable (un ós, una dent, una peça lítica...), aquesta es guarda en una petita bossa de plàstic separada i s'anota en una llista les coordenades en les quals s'ha trobat dins la parcel·la (cada parcel·la té el seu propi registre d'objectes trobats i les seves coordenades). Per altra banda, tota la terra que s'extreu de cada parcel·la es guarda i es va posant en sacs grossos. Tots aquests materials (les bosses amb els objectes i els sacs amb terra) es baixen a la zona del laboratori on un altre grup de voluntaris es dedica, per una banda, a netejar i classificar els objectes prèviament identificats i, per altra banda, a garbellar els sacs de terra per separar-ne peces que puguin ser d'interès. Al final del procés, es guarden en capses totes les peces arqueològiques per a possibles investigacions.



Figura 32. Fustes de treball dins la cova

Font: pròpia

Les campanyes d'excavacions a les coves de Serinyà es fan a l'estiu ja que gran part dels excavadors que hi participen són estudiants del graus d'història i arqueologia de les universitats de Girona, Lleida i Tarragona sobretot, que dediquen les seves vacances a aquesta feina. En el cas de les excavacions de Serinyà les financien la Universitat de Girona, el Consell Comarcal del Pla de l'Estany i l'Ajuntament de Serinyà de manera que els voluntaris tenen cobert l'allotjament i tots els àpats. A Serinyà s'excaven jaciments d'una antiguitat d'entre uns 20.000 i 30.000 anys. El material trobat s'envia principalment a la UdG.

3.4 Entrevista al matrimoni Lumley, de visita a Banyoles

3.4.1 Petita presentació

Vaig conèixer el paleontòleg francès Henry de Lumley, un home gran de 90 anys, i la seva dona Marie-Antoinette de Lumley, a la farmàcia Alsius de la Plaça Major de Banyoles, més concretament al menjador de casa la meua àvia, a sobre la farmàcia. Físicament, ell camina molt lentament i hi ha moments que necessita l'ajuda d'una cadira de rodes, però això no ha impedit que assistís al 50è centenari de les excavacions a les coves prehistòriques de Serinyà el passat mes de juny de 2025. El matrimoni Lumley, que viu a París, va venir a Banyoles des de Talteüll, al Rosselló, a la Catalunya Nord, on viu un dels seus fills.



Figura 33. Matrimoni Lumley de joves

Font: Julià Maroto

El doctor de la UdG, Narcís Soler i Masferrer, també prehistoriador i arqueòleg (ara ja emèrit) va anar a buscar-los amb cotxe al sud de França i cap a les sis de la tarda del 19 de juny van arribar a la Farmàcia Alsius per veure de nou, i potser per última vegada, la mandíbula de Banyoles.

No hi ha visita que facin aquí, que no inclogui venir a casa, a la farmàcia per saludar la família i veure el fòssil que ells tant varen estudiar durant la dècada dels 60 del segle passat. Concretament l'hivern del 1967 es van instal·lar al menjador de la casa del carrer de Girona amb aparells de raigs X, amb un dibuixant i moltes llibretes d'apunts. Disposaven de les eines que hi havia en aquell moment per poder estudiar la mandíbula. Ells la van classificar com a *anteneandertal*. Mai no hagueren imaginat el gran avenç que suposaria la paleogenètica 60 anys més tard.

Aquella tarda de juny vaig anar a parlar amb ells. Era una gran oportunitat per poder-ho afegir al meu treball de recerca, no podia deixar-la escapar.

Henry i Marie-Antoinette eren i són, en el seu camp, la paleontologia, unes figures de renom internacional. Ell fou durant anys (1980-1999) el director del Museu Nacional d'Història Natural de París i president de l'Institut de Paleontologia Humana. Va dirigir nombroses excavacions arqueològiques, entre elles, les de la cova d'Aragó, a Talteüll. Ella ha col·laborat estretament amb el seu marit.

Durant l'entrevista fou ella la que més va parlar. Als seus 90 anys conserva tota la memòria i la capacitat de respondre a les meves preguntes. Ells no parlen castellà ni català, només francès. Vaig comptar amb l'ajuda de les meves ties, Mercè i Rosa Alsius; elles coneixen molt bé l'idioma. Jo els deia a elles el que volia preguntar al matrimoni, i elles ho feien en francès per mi. Llavors elles em traduïen les respostes per així no perdre'm en la conversa. Al menjador també hi havia el Dr. Narcís Soler i la meva àvia Marta Suñer que també entenen el francès i el saben parlar.

3.4.2 Transcripció de la petita entrevista als Lumley

Henry: On a étudié la mandibule sur votre table de la salle à manger. La même table!

On était venus 15 jours à peu près, l'hiver de 1967.

Marie-Antoinette: On était à l'hôtel Flora à côté de la place. On a fait des radiographies, une description, des mesures, des photos, des dessins, nous sommes venus avec un dessinateur qui est venu dessiner. Il est mort maintenant.

On a constaté qu'elle était un modèle morphologique très ancien qui était différent des *néandertaliens*; qui étaient plus anciens que les *hommes néandertaliens* que l'on connaissait.

Banyoles (anomenen la mandíbula com a "Banyoles") c'était plus archaïque de tout ce que on connaissait chez les *néandertaliens*. C'était un modèle, c'était un homme qui vivait avant l'homme du Néanderthal.

Henry: Yuri Yokoyama a fait la datation après de venir à Banyoles. Il était dans notre laboratoire.

Marie-Antoinette: C'est lui qui a daté aussi l'homme de Tautavel, qu'on a trouvé en 1971 et je pense qu'après il a fait Banyoles. Il est venu faire des échantillons sur le travertin qui était autour de la mandibule. Pas sur la mandibule, mais sur le travertin.

Henry: On est allé avec monsieur Alsius (referència al meu besavi Ramon o al seu germà Joan)

Marie-Antoinette: Il nous a accompagnés sur le lieu où on a été trouvé la mandibule.

Clara: Il y a une question que je veux vous poser. Vous avez décidé que c'était anteneandertaliene. Pourquoi?

Après Yuri Yokoyama il a dit que c'était 60.000 ans. Pourquoi vous dites que c'est ante neandertal aine?

Henry: Parce qu'il y a des caractères anatomiques qui sont différents. L'évolution humaine n'est pas uniforme.

Marie-Antoinette: La grande différence avec une mandibule de Néandertal... Chez Neandertal, la partie derrière est aplatie et la fin est aplatie, et on voit que les incisives sont toutes aliénées.

Il y a un prognathisme mandibulaire.

Elle est convexe, si on reconstitue la face au dessus, on aurait une face avec une maxillaire projeté en avant, caractéristique des hommes anteneandertaliens; qui son comparables, qu'on peut rapprocher, avec des *Homo erectus* qu'on connaît en Asie et en Afrique.

On ne savait pas qu'il y avait des anténéandertaliens en France et quand on a vu la mandibule Banyoles, quand on a fouillé Tautavel (grotte d'Arago), avec une morphologie différente. Maintenant on sait qu'avant les néandertaliens, l'Europe a été peuplée par une forme d'*Homo erectus* évolué.

Clara: Qu'est-ce que vous pensez du travail de l'élève de l'américain Brian Keeling? Est-ce possible que la mandibule soit d'un homme moderne?

Marie-Antoinette: Je ne le pense pas, mais bon... La forte usure (desgast dels queixals), c'est important, mais ce n'est pas pathologique. Il n'y a pas de caries non plus. Ils consommaient de la viande, etc.

Clara: Qu'est-ce que vous pensez de la paléogénétique? Vous suivez les nouvelles?

Marie-Antoinette: Oui, bien sûr. À Tautavel, ils ont travaillé avec des restes d'animaux. Ils n'ont pas trouvé de matériel génétique. Dans les milieux secs et chauds, c'est difficile. Par contre, dans un climat humide et froid, l'ADN se conserve mieux, comme à Denisova.

Nous sommes allés à Denisova avec un professeur de Novossibirsk, en Russie.

J'ai connu Santiago Alcové, qui a dégagé le travertin de la mandibule.

Narcís Soler: Al 1887, Pere Alsius i Torrent escriu en unes notes l'any 1887 com l'any del descobriment de la mandíbula. Però la Revista de Girona, escriu que fou al 1886. Vam celebrar el centenari al 1987 en lloc del 1886. No és la primera vegada que Pere Alsius i Torrent em fa això (donar una data equivocada).

En una altra data que es va equivocar, va ser quan van fer una excursió a la Bora Gran que és quan va començar tot, ell sempre diu que va ser el 1866, però un altre que hi era, un farmacèutic que es deia Joan Teixidor de Tortellà, diu que va ser al 1868. Hi van anar tots dos aquell dia i sempre diu que era al 1868. És una anècdota de com era Pere Alsius i Torrent amb les dates!

Marie-Antoinette: Une fois, on a pris l'originelle, pas le moulage, quand on était à Banyoles, avec Alsius, étudiant la mandibule en 1967. On vous a raconté cette histoire dans la famille, non?

Mercè et Rosa: Oui, bien sûr!! Ja ja ja!

Notre père Pere Alsius i Malagelada disait toujours que la mandibule doit rester à Banyoles...

Marie-Antoinette: Ça, c'est très bien.

Mercè et Rosa: Ou mois d'octobre, la mandibule sera exposé finalement au Musée Archéologique de Banyoles



Figura 34. Moment de l'entrevista amb la Mercè traduint el francès

Font: pròpia

Henry: Il y a le contrôle de l'État?

Marie-Antoinette: À l'époque qu'on est venus à Banyoles en 1967, si la mandibule n'était pas à la famille, elle serait déjà à Madrid ou Barcelone. Maintenant, les fossiles restent au lieu d'origine. Pas avant. Tout allait à Paris dans notre cas. Et puis, c'était impossible de récupérer.



Figura 35. El matrimoni Lumley el dia de l'entrevista

Font: pròpia

Marie-Antoinette: Au sud-est de Géorgie, à Tbilissi, on a trouvé des fossiles. Je leur ai donné le nom d'*Homo georgicus*. Tout près de l'Arménie: une mandibule, un crâne. Datés de 1 800 000 ans, dans une fosse de basalte. Ils n'étaient pas fragmentés, intacts, parfaits. Il y a encore plein d'os à découvrir!

Henry: Eudald Carbonell, pour la thèse. Il est venu à Paris avec pas beaucoup d'argent. Son père était médecin, il voulait qu'il fasse la médecine, pas la préhistoire. Il dormait dans le métro. Quand on a su, avec un autre paléontologue qui travaillait avec moi, on a partagé et on lui a donné l'argent pour un hôtel. Il voulait absolument être à Paris. Il n'y avait pas d'études de paléontologie à ce moment-là à la Catalogne. Il vient demain à Serinyà!

Mercè et Rosa: Super! Merci beaucoup pour cette conversation!

3.5 Visita al Museu de l'Evolució Humana de Burgos

El dilluns 4 d'agost de 2025, vam sortir des de Vinaròs (Castelló), en direcció a Burgos, més concretament al Museu de l'Evolució Humana (d'ara en avant, MEH). Vam arrencar cap a les 9:30 del matí i vam arribar aproximadament a les cinc de la tarda, cobrint una distància de 530 km per trajecte. L'endemà, vam visitar el MEH i l'objectiu era poder corroborar de primera mà diferents punts d'aquest treball. Els principals eren les diferències més destacables entre la morfologia de l'espècie *Homo sapiens* i la *Neandertal* i aprendre alguns conceptes nous sobre l'evolució humana com, per exemple, la neotènia o un altre mètode de datació basat en el magnetisme de la terra. També en algun espai, hi ha una exposició sobre la paleoproteòmica (aspecte que també es comenta en aquest treball de recerca). Seguidament, es farà una síntesi molt gràfica sobre aquests objectius marcats i les conclusions que se n'extreuen.



Figura 36. Entrada del Museu de l'Evolució Humana

Font: pròpia

3.5.1 Síntesi de la visita

Prominència del monyo occipital:

Es visualitza un prominència molt més marcada en el crani de l'espècie *Neandertal* que en el d'*Homo sapiens*.

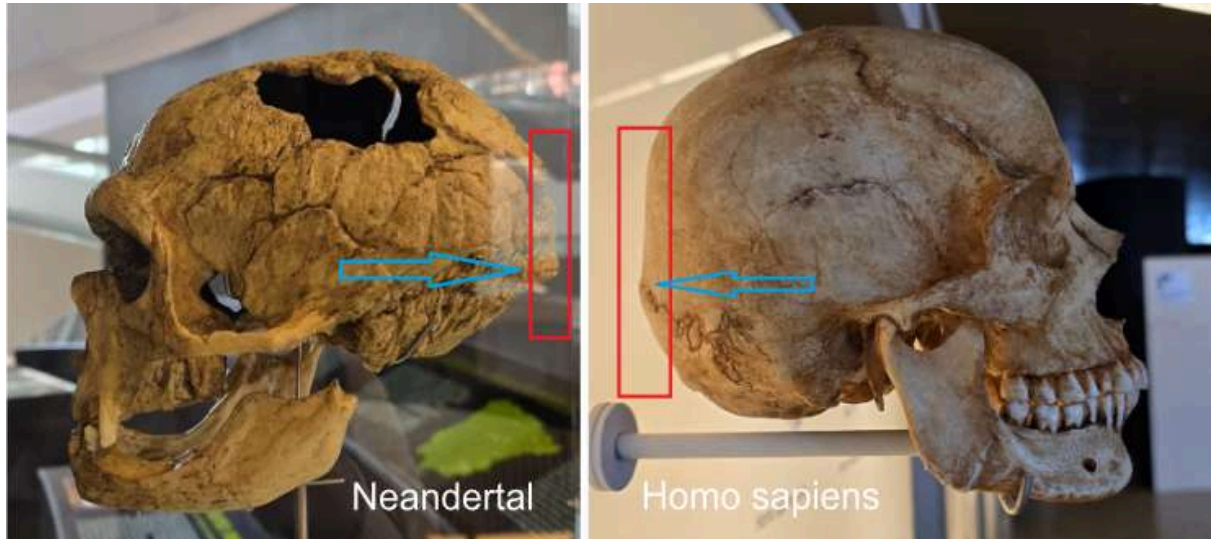


Figura 37. Comparació de monyos occipitals

Font: pròpia

Arcs Superciliars:

Es veu clarament que l'arc superciliar dels *Neandertals* és bastant més prominent que l'arc superciliar dels *Homo sapiens*.



Figura 38. Comparació dels arcs superciliars

Font: pròpia

Mentó:

En les imatges es pot observar que la mandíbula neandertal no presenta mentó, en canvi la d'*Homo sapiens*, sí.

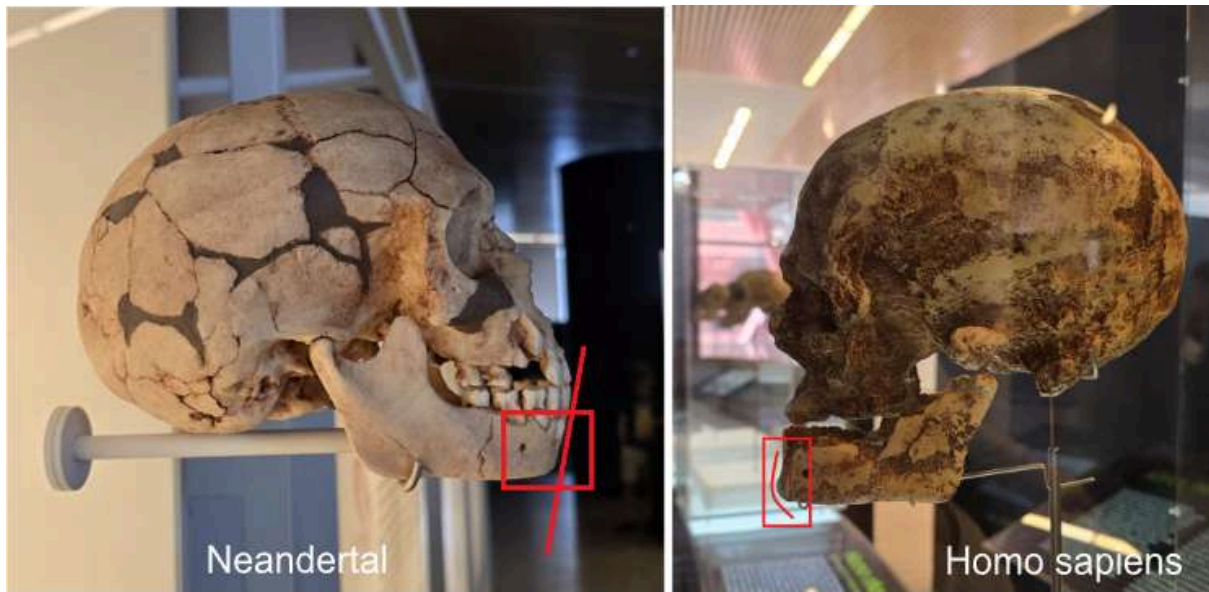


Figura 39. Comparació del mentó

Font: pròpia

Arcs mandibulars:

En les fotografies, es pot observar la diferència entre els arcs mandibulars. El del neandertal és més ample i el de l'*Homo sapiens* és una mica més estret.



Figura 40. Comparació dels arcs mandibulars

Font: pròpia

Neotènia:

La neotènia és una teoria biològica/evolutiva que explica que algunes espècies conserven trets juvenils en l'edat adulta. És a dir, quan aquesta espècie assoleix la maduresa sexual, però conserva característiques físiques i biològiques pròpies de l'edat infantil i juvenil. Segons les teories evolutives, aquest aspecte, els confereix un avantatge respecte altres espècies que no desenvolupen aquesta propietat.

La neotènia es pot observar en l'espècie *Homo sapiens*, però no tant en els *Homo neanderthalensis*.

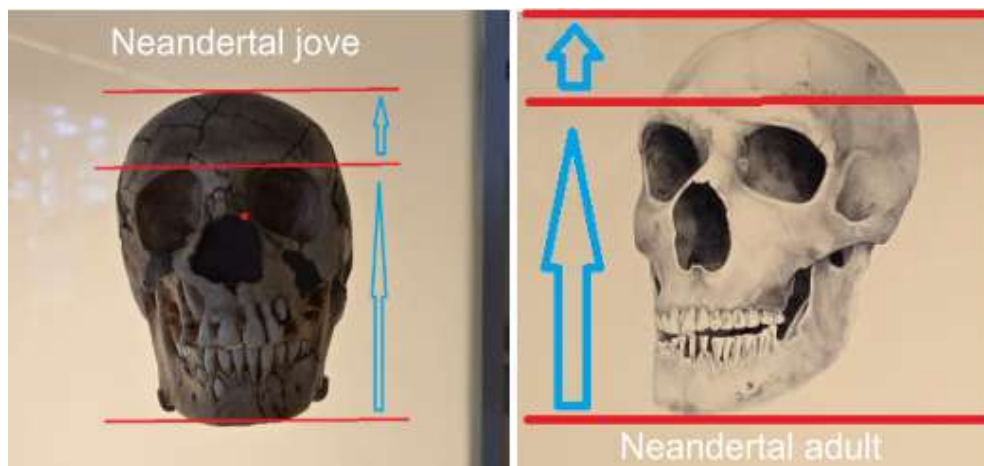


Figura 41. Neotènia *Neandertal*

Font: pròpia

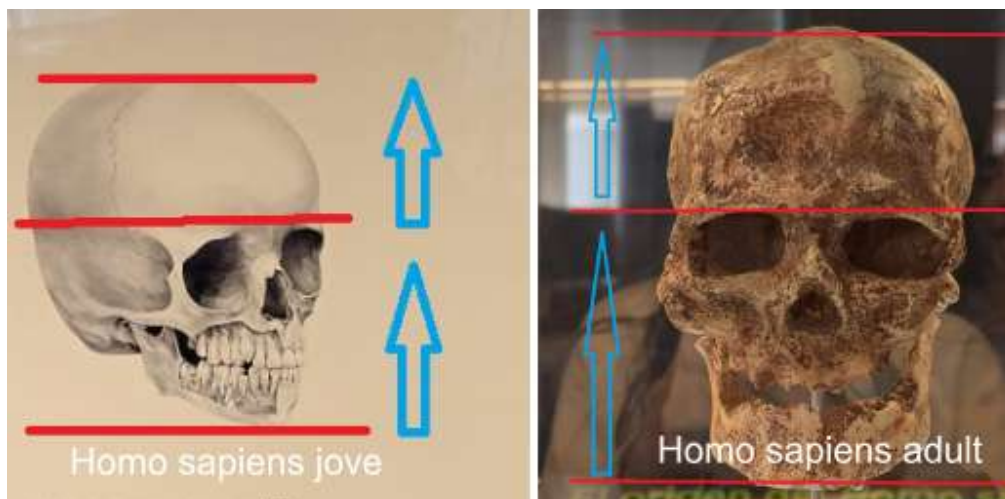


Figura 42. Neotènia *Homo sapiens*

Font: pròpia

Morfologia general:

La reproducció d'aquest *Neandertal* realitzada per Elisabeth Daynès, mostra la fisonomia general del cos d'un *Neandertal* típic. Aquesta és afí a la descripció que es fa anteriorment sobre com eren físicament els *Neandertals*.

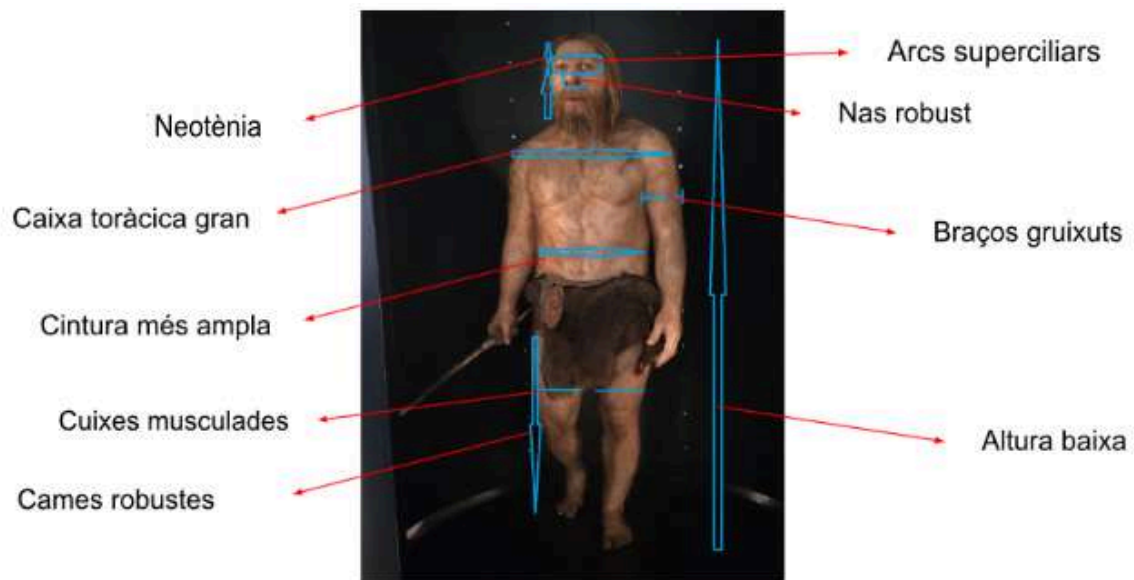


Figura 43. Fotografia de la reproducció d'un Neandertal que es troba al MEH, editada i esquematitzada

Font: pròpia

3.6 Seguiment de l'estudi paleogenètic de la mandíbula de Banyoles

El mes de juny de 2024 la conservadora-restauradora de patrimoni arqueològic, Ada Algueró Aumatell, va realitzar l'extracció d'un trosset d'esmalt d'un molar de la mandíbula, que ja havia estat extreta anteriorment.

Fou l'alemany Rainer Grün qui l'havia obert molts anys abans per extreure'n una mostra de dentina per a la seva datació. Després, va tornar a adherir-hi el trosset d'esmalt.

Un cop l'accés a la dentina del molar estava assegurat, els dos investigadors alemanys del Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology de Leipzig, Elena Essel i Merlin Szymanski, van entrar dins el molar amb unes bobines molt petites, i en van treure pols de dentina, amb possibilitat de trobar-hi matèria orgànica i, per tant, material genètic. L'endemà, la conservadora Ada Algueró va tornar a adherir la petita peça d'esmalt per tancar el forat del queixal.

Els resultats, segons ens van comunicar en aquell moment, havien de sortir al cap de sis mesos, per tant, per Nadal de 2024 probablement sabríem si els investigadors haurien trobat material genètic o no. El maig de 2025, un any després, tenim les primeres notícies, que ens fa saber Vanessa Villalba. Es troba ADN modern i ADN antic, però el material genètic ja es considera antic a partir de 100 anys, per tant, pot ser fruit de contaminació creuada. Podria ser del mateix Pere Alsius, que la va estudiar o de qualsevol altra persona que hagi tingut contacte directe amb la mandíbula per estudiar-la. Per tant, el procés continua a Leipzig. Ara cal la depuració d'aquestes cadenes de material genètic i buscar ADN antic propi de la mandíbula. Esperem amb expectació les noves notícies que puguin arribar de Leipzig, i esperem també que arribin a poder identificar el material genètic antic i esbrinar realment a quina espècie paleontològica pertany la mostra.

En data de la presentació d'aquest treball de recerca, 3 d'octubre de 2025, encara no hi ha cap notícia.

4. Conclusions

La finalitat d'aquest treball de recerca ha estat conèixer més profundament els fonaments de la paleogenètica, l'aplicació d'aquesta ciència en l'estudi de l'evolució humana i fer el seguiment de l'estudi paleogenètic que s'està realitzant en aquests moments a un fòssil molt important per la paleontologia catalana i molt proper a tots els banyolins, la mandíbula de Banyoles.

Primerament, cal destacar que s'ha descobert la gran revolució que ha suposat la paleogenètica en els últims 15 anys en l'estudi de l'evolució humana, gràcies a investigadors pioners i centres de recerca internacionals. Altrament, és sorprenent que una ciència com la paleogenètica, que aplica els coneixements en genètica i en el desxiframent de l'ADN nuclear i mitocondrial, ens permet reconstruir aspectes del nostre passat llunyà com a espècie.

Cal diferenciar clarament entre el concepte d'espècie paleontològica i el d'espècie biològica. El primer es basa en la morfologia de les restes fòssils disponibles. En canvi, el segon, en la capacitat de reproducció i hibridació entre individus. Es pot dir que s'ha redefinit el concepte d'espècie que es tenia prèviament. Sempre s'ha dit que el tret més diferencial d'una espècie és que en la reproducció d'espècies diferents, el descendent, o no és viable, o si és viable, és estèril. Això no dona continuïtat a l'encreuament de dues espècies desiguals. Aquest concepte és un mecanisme que té la natura per evitar que, en un futur llunyà, tot el món animal acabi sent una espècie única. El fet que l'estudi de l'evolució humana, en base a la paleogenètica, faci tremolar aquesta definició, fa que els paleontòlegs cada vegada se sentin més còmodes parlant de poblacions, més que d'espècies humanes. Tot això es confirma en el coneixement ja acceptat completament en paleontologia, que els *Homo sapiens* i els *Homo neanderthalensis* van cohabitar en el temps, van conviure en societat, es van reproduir i van tenir descendència fèrtil. Tot això independentment que fa 40.000 anys els *Neandertals* es van extingir.

Un dels avenços més rellevants per a la paleogenètica ha estat la superació dels problemes que planteja l'ADN antic dels fòssils, com és el cas de la contaminació de les mostres per ADN modern i també per ADN de bacteris i fongs que convivia amb el fòssil.

Actualment, se sap que perquè aquest ADN antic es conservi millor, calen ambients molt freds, com per exemple, el permagel àrtic, i que en zones càlides com el nostre continent, es degrada molt més al llarg del temps. Tot i això, molts fòssils de la nostra península amb molta antiguitat, han estat analitzats genèticament.

També s'ha definit el coneixement de l'ADN nuclear i el de l'ADN mitocondrial. El primer és el que ofereix una informació més completa i definitiva, ja que reflecteix l'herència de tots dos progenitors, mentre que l'ADN mitocondrial només permet reconstruir la línia materna.

Un altre punt fonamental ha estat el descobriment de la hibridació entre espècies extingides, com neandertals i denissovans, i la seva relació genètica amb l'ésser humà actual. En aquest sentit, el descobriment del gen FOXP2 en els neandertals va canviar la manera de veure'ls, ja que es va demostrar que tenien capacitat de parla. A més, algunes variants genètiques heretades d'aquests avantpassats han resultat influir en la immunitat de la nostra espècie davant d'algunes malalties actuals, com la COVID-19.

El fet que s'hagin aplicat aquestes tècniques tan innovadores a la mandíbula de Banyoles ha convertit el seguiment d'aquest estudi en un repte apassionant. Tot i que en les dates de lliurament d'aquest treball, no hi haurà temps de tenir resultats concloents, el que se sap ara per ara, després d'un any de l'extracció de les mostres, és que s'hi ha trobat ADN modern, que és contaminació creuada, ADN antic (cent anys aproximadament), també contaminació creuada, i se segueix amb el filtratge en cerca de cadenes d'ADN antic poc malmeses i que siguin pròpies del fòssil. És important destacar els estudis més recents, basats en anàlisis detallades de l'estructura de la mandíbula, com el de Brian Keeling, del 2022. Conclou que possiblement pertany a un *Homo sapiens* de fa 65.000-45.000 anys.

Les conclusions es poden resumir amb una cita grega de Sòcrates, que deia:

ἐν οἷ᾽ ὅτι οὐδὲν οἶδα (*hèn oîda hóti oudèn oîda*). “Només sé que no sé res”.

Aquesta frase s'ha posat a la conclusió d'aquest treball per expressar el sentiment que es té dins la ciència. Com més investigues, descobreixes i aprens, més t'adones de tot el que et falta per conèixer. Aquestes línies finals no són un punt final, sinó un punt i seguit en un camí que segur que ens donarà, en els propers anys, més notícies, més troballes i potser espècies d'*Homo* extintes. Svante Pääbo ha obert un camí que no s'atura i que té en la comunitat científica ben expectant.

5. Bibliografia

LLIBRES:

Alcobé, Santiago et al. (1987). *La mandíbula de Banyoles en el context dels fòssils humans del pleistocè*. Julià Maroto, editor.

Alsius i Torrent, Pere. (1906). *El Magdalenien en la provincia de Gerona*. Narcís Soler Masferrer (ed.). Documenta Universitaria.

Camarasa, Josep Maria et al. (2016). *Pere Alsius i Torrent (1839-1915): Un farmacèutic entre la Renaixença literària i la científica*. Centre d'estudis comarcals: Banyoles. Quaderns.

Krause, J., i Trappe, T. (2020). *El viaje de nuestros genes: Una historia sobre nosotros y nuestros antepasados*. Debate.

Lalueza-Fox, Carles. (2023). *Desigualdad: una historia genética*. Crítica.

Reich, David. (2018). *Quiénes somos y cómo hemos llegado hasta aquí: ADN antiguo y la nueva ciencia del pasado humano*. Antoni Bosch editor.

Wragg Sykes, Rebecca. (2020). *Neandertales: la vida, el amor, la muerte y el arte de nuestros primos lejanos*. GeoPlaneta.

PÀGINES WEB:

Aragosaurus. *Vanessa Villalba Mouco*. (Figura 14)

<https://www.aragosaurus.com/equipo/vanessa-villalba-rouco/>

Institut Català de Paleontologia. (2013, maig). *La Mandíbula de Banyoles estrena el aparato de tomografía computarizada del ICP*. (Figura 6)

<https://www.icp.cat/index.php/es/sala-de-prensa/noticias-icp/item/2171-la-mandibula-de-banyoles-estrena-el-aparato-de-tomografia-computarizada-del-icp>

Morpho Source. (2013, abril). *Media 000492640: Mandible*.

<https://www.morphosource.org/concern/media/000492640?locale=en>

Research Gate. (1993, desembre). *Dibuix d'Henri Puech de la mandíbula de Banyoles, en vista anterior, procedent de Lumley (1973 a)*. (Figura 5)

https://www.researchgate.net/figure/Dibuix-dHenri-Puech-de-la-mandibula-de-Banyoles-en-vista-anterior-procedent-de-Lumley_fig4_338376994

Wikimedia Commons. (2004, setembre). *Cross-section Sima de los Huesos*.

(Figura 8)

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cross-section_Sima_de_los_Huesos.jpg

Wikimedia Commons. (2004, setembre). *Svante Pääbo*. (Figura 13)

[https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Svante_P%C3%A4%C3%A4bo#/media/File:Professor_Svante_Paabo_ForMemRS_\(cropped\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Svante_P%C3%A4%C3%A4bo#/media/File:Professor_Svante_Paabo_ForMemRS_(cropped).jpg)

Wikimedia Commons. (2004, setembre). *Neanderthal profile*. (Figura 10)

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neanderthal_profile.png

VÍDEOS:

Youtube. (2024). *Colloquia: Svante Pääbo, un revolucionario de la Evolución Humana*, por Ignacio Martínez. Icmm Csic.

<https://www.youtube.com/watch?v=ILH0uLnHLmU>

Youtube. (2025, agost). *Paleogenómica de humanos arcaicos: Neandertales y Denisovanos*. Museo Arqueológico Nacional de España.

<https://www.youtube.com/watch?v=5cOcE58JJjk>

Youtube. (2025, març). *La paleogenética: explorando las filiaciones de las gentes del pasado*. Museo Arqueológico Nacional de España.

<https://www.youtube.com/watch?v=9r9B49wxQw8>

IMATGE DE LA PORTADA:

Dibuix, d'un pare i una filla neandertals, de dos genomes trobats junts, en una cova. Fet pels investigadors d'atapuerca.

Extreta de la xarxa social Instagram.

<https://www.instagram.com/p/CaFU1khqTq/>

6. ANNEXOS

6.1 ANNEX I

A continuació, s'adjuntarà la memòria del mostreig realitzat pels investigadors Elena Essel i Merlin Szymanski, del Max Planck de Leipzig.

Aquest annex correspon a un document extern i no inclou numeració pròpia. La numeració de pàgina continua del treball principal (p. 59-67).

Puntualització: Les imatges de les pàgines 62 i 63 semblen estar repetides, però realment el nom d'arxiu és diferent. Per no manipular l'informe en qüestió he estat el màxim fidel amb la seva memòria presentada.

V1.1_Bone_Drilling: Sampling of Banyoles mandible || SP.C.7498 || Sub.C.8361-Sub.C.8373 ||

Created: 04.06.2024 13:57

Last modified: 24.06.2024 12:53

Owner: Merlin Szymanski

Editors: Elena Essel

Tags: Drilling, bones, bone drilling, Bone sampling, Banyoles, SP.C.7498

Entry ID : 4439676

- Worker * : Melrin Szymanski & Elena Essel

Batch : Sub.C.8361-Sub.C.8373 _20240604_MS_EE

Protocol Version * : v1.1._Bone_Drilling

Experiment Date * : 20240604

Location box/container * : Used Up

Protocol version:

V1.1_Bone_Drilling

CAUTION:

Before changing the labfolder version number of this protocol please keep a backup on the backup folder.

When changing this protocol check duplicates of the protocol in other folders!

Version tracking:

in case you make changes to the protocol -> track changes here!

Changes since last version number update to be collected here:

Range of Sample IDs

SP.C.7498

Sub.C.8361-Sub.C.8373

Synopsis:

~50mg of powder was drilled using a sterile dentistry drill from a bone sample and aliquoted into a 2.0ml Eppendorf tube for lysate preparation.

Notes:

Amount (per sample)	Description	UV (yes/no)	Comments
1 pcs	1.5 mL Lobind Eppendorf Tube	yes	for surface powder
1 pcs	2.0 mL Lobind Eppendorf Tube	yes	for inner powder
2 pcs	drill bit (available in different sizes)	no	1 pcs for surface removal, 1 pcs for drilling the powder
	Aluminium foil	no	
	12% Sodium hypochlorite, NaOCl (bleach)	no	for cleaning the sampling hood! only if animal hood is used, never use for metal hoods !
	70% Ethanol	no	for cleaning surfaces

CAUTION WHEN WORKING WITH BLEACH!

Bleach is corrosive, which means it can irritate or burn your skin or eyes. It can also corrode metals. When mixed with certain other chemicals (e.g. Guanodineithiocynate) or cleaners, it can produce toxic gases which can damage your lungs or be deadly. Always stick to the safety regulations described in the safety data sheet (see Supplement).

Procedure

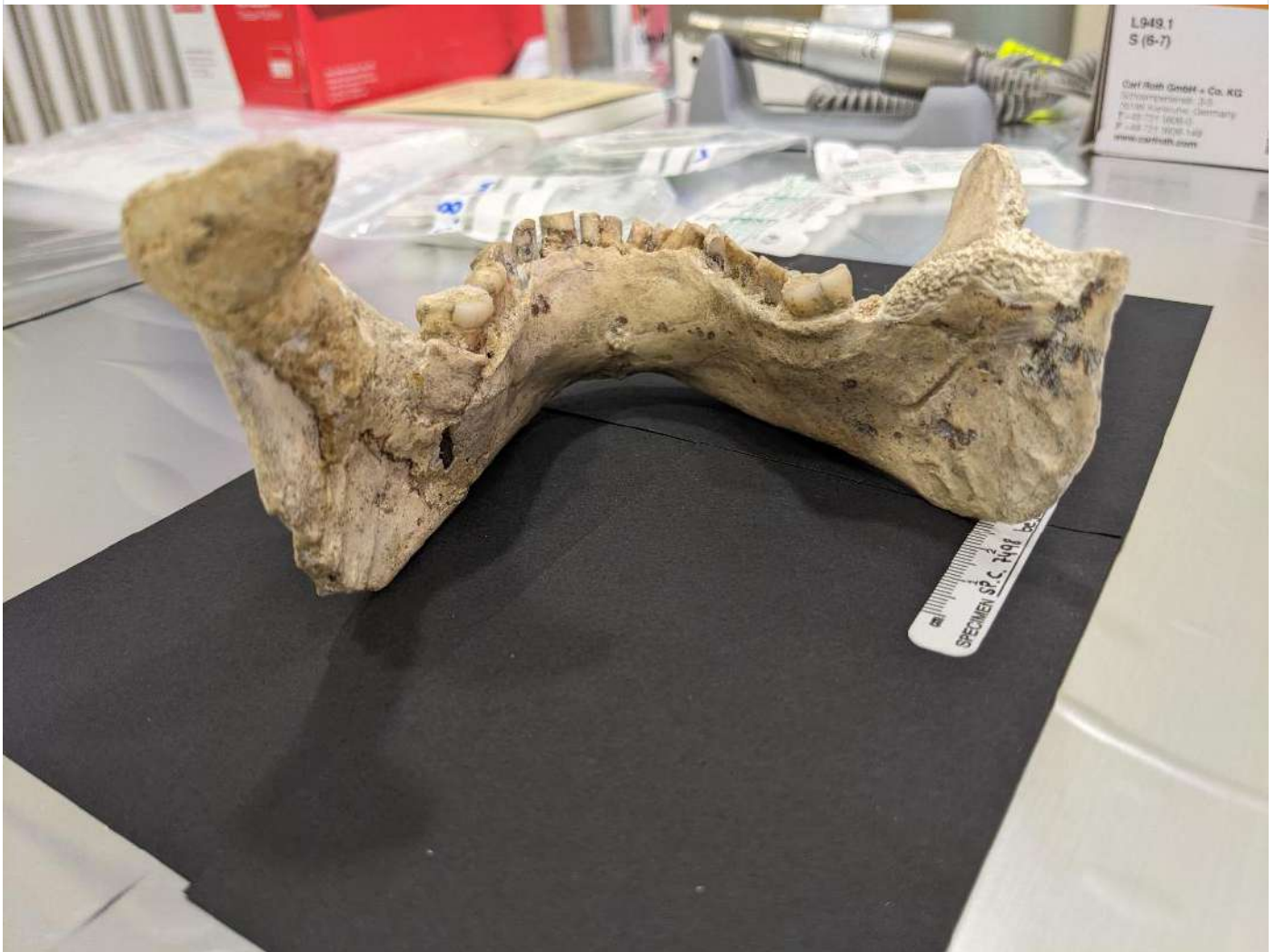
1. Each sampled tube is a new subsample and therefore needs a subsample ID in coreDB. Define new ID(s) or prepare subsample upload sheet for the subsample(s) you plan to take before going to the clean room (see Supplements for further information).
2. Get sample(s) from respective storage location, see "samples to be screened list" and/or database for details.
3. Prepare sampling hood: switch off UV lights, open hood, clean surface if necessary, line with fresh aluminum foil (at least 2 layers), put the equipment aside in a way that potential bone dust can not contaminate it and place the bone sample in the hood.
 ! *Switch off the ventilation of the hood before start to avoid bone powder particles flying through the inside of the hood.*
4. Label Aluminum with SP ID, date and initials and place a scale next to the bone (you can use the scale stickers for that).
5. Take pictures of the bone before sampling. Picture all sites of the bone that are relevant for drilling. The scale has to be visible on the pictures.
6. Detailed drilling procedure in the hood:
 - change gloves before start
 - Remove surface first (if it is a fresh sampling hole, if you continue working on an existing hole this step can be skipped)
 - Weight empty 1.5 ml LoBind tube >> surface tube before drilling
 - prepare aluminum pockets to collect bone powder
 - load drill with drill bit
 - ! *never touch the tip of the drill bit, wrap tip into aluminum to put drill bit into drill*
 - wrap bone into aluminum if necessary
 - take off the surface at the respective drilling site
 - fill surface powder into 1.5 mL tube, weight it, label tube properly with SP ID, date, sample amount and initials and store it with the bone
 - note down the amount sampled in the respective field below
 - discard the aluminum pocket and the drill bit
 - If necessary take a picture of the bone with surface removed
 - Sampling of inner bone
 - Weight empty 2.0mL tube >>sample tube<< before drilling and note down the weight in the respective field below.
 - prepare a fresh aluminum pocket to collect bone powder
 - change drill bit
 - ! *never touch the tip of the drill bit, wrap tip into aluminum to put drill bit into drill*
 - if nothing else is communicated: collect ~30-50 mg of bone powder from the cleaned area, depending on the bone the sample amount can vary
 - ! *clean bone powder should never touch the surface of the bone, try to hold bone in a way that the powder trickles directly onto aluminium pocket without touching any part of the bone*
 - *if there are small particles/flakes in the powder that may have fallen off the surface during drilling please remove and store them in a separate weighted and labelled tube*
 - fill bone powder into 2.0 ml tube, weight it and note the weight of the sample powder down in the table below and on the tube
7. Take pictures of the sample after drilling and store them in /public/AncientDNA/samples/pictures >> see supplement for specifics on nomenclature.
 ! Important: delete pictures from camera after you're done.
8. If you haven't done it yet: create new Subsample ID(s) in coreDB for the freshly drilled samples, also for the surface powder tubes.
9. Label aliquots with subsample ID(s), date and initials and store them in boxes in Freezer 5 (Pippin), lowest drawer. If the samples are not extracted immediately store them in a separate bag together with the sample.
10. Clean entire hood properly with bleach and 80% ethanol after finishing your work or in between in case you are working on more than one sample.
11. Update samples to be screened list and database with all necessary information.
12. Put bone back to original storage location.

For more detailed information please see the Supplementary Information in the Template Folder.

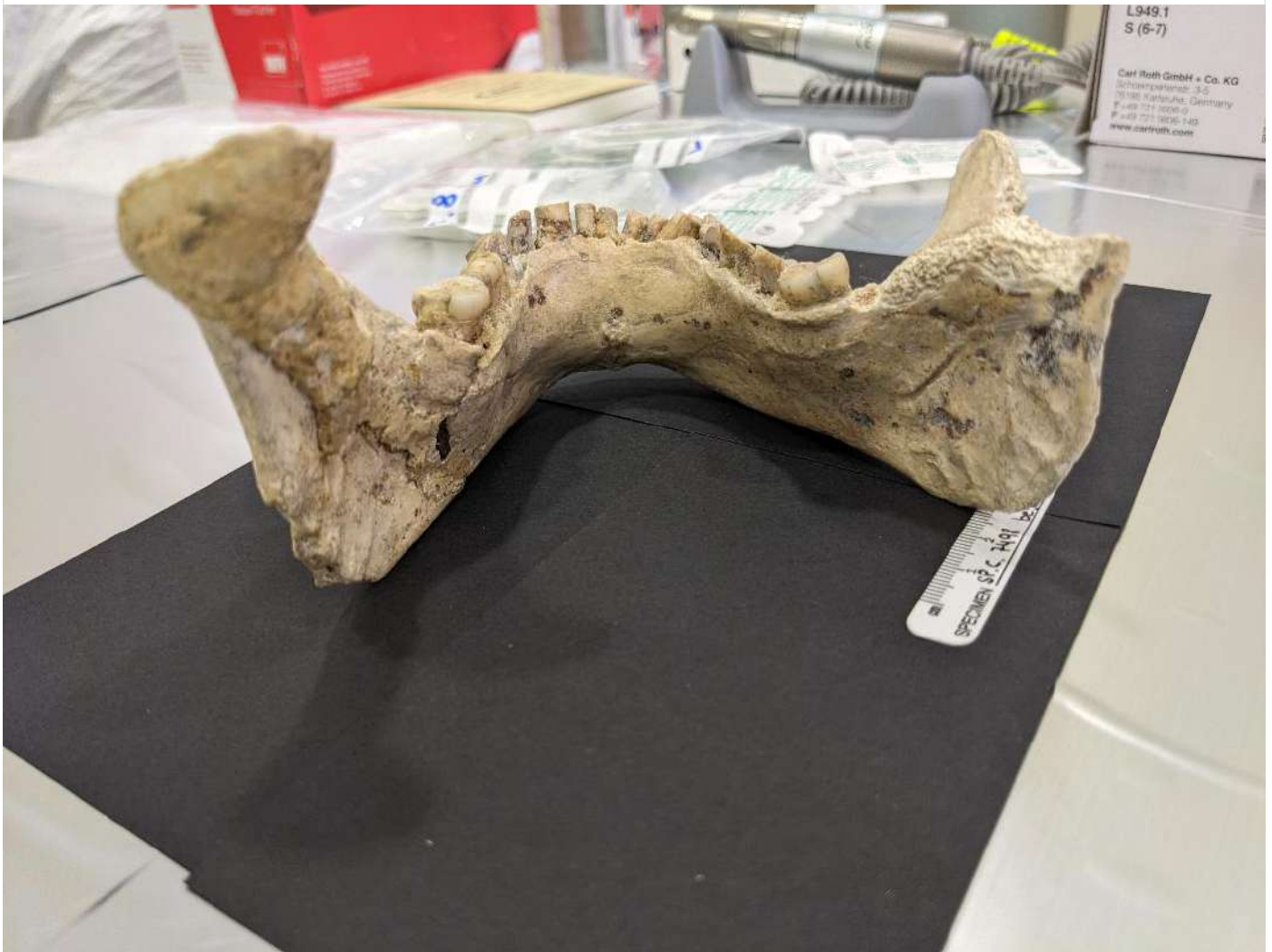
PXL_20240604_121824997.MP.jpg



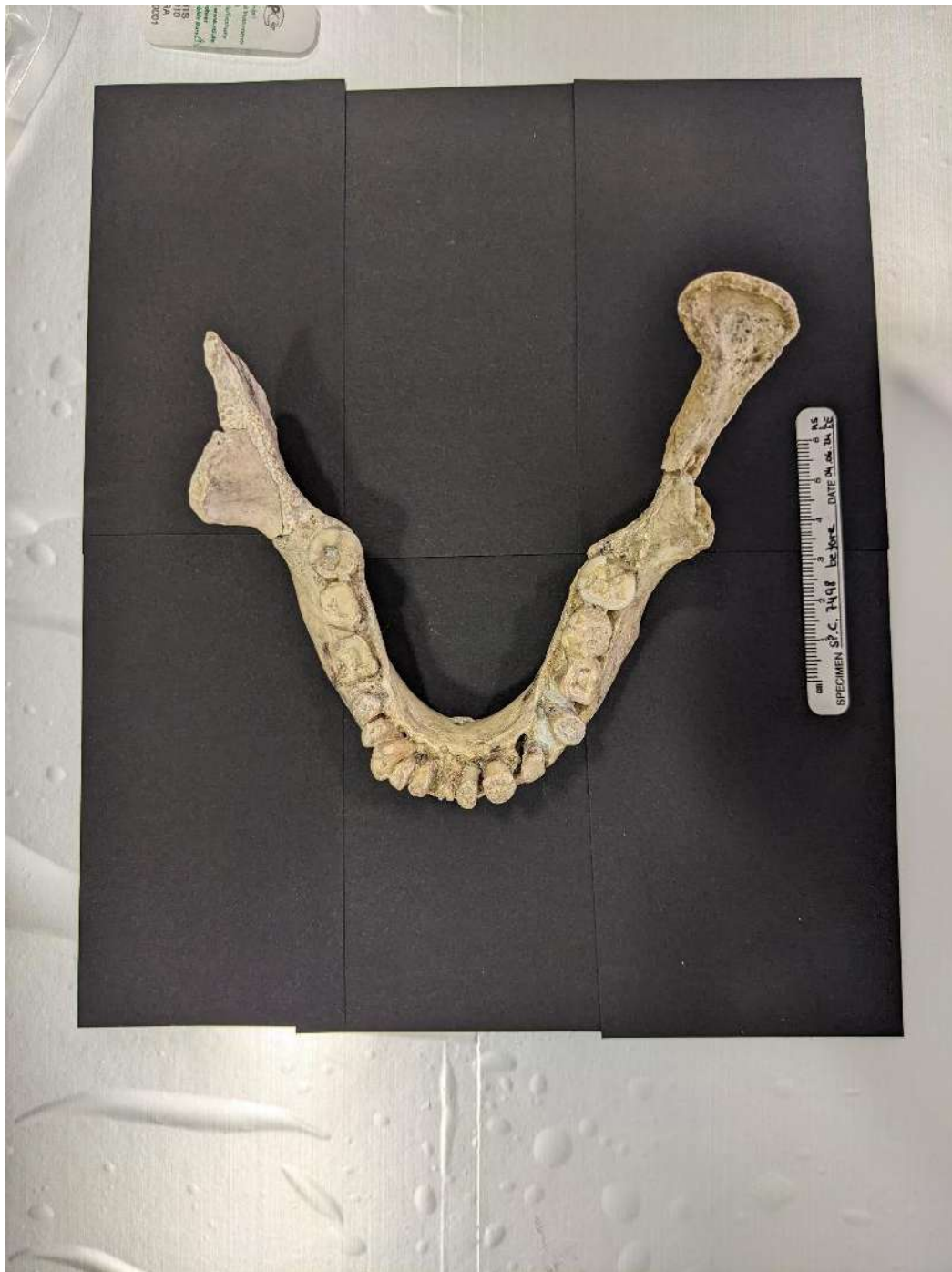
PXL_20240604_121915343.MP.jpg



PXL_20240604_121920154.MP.jpg



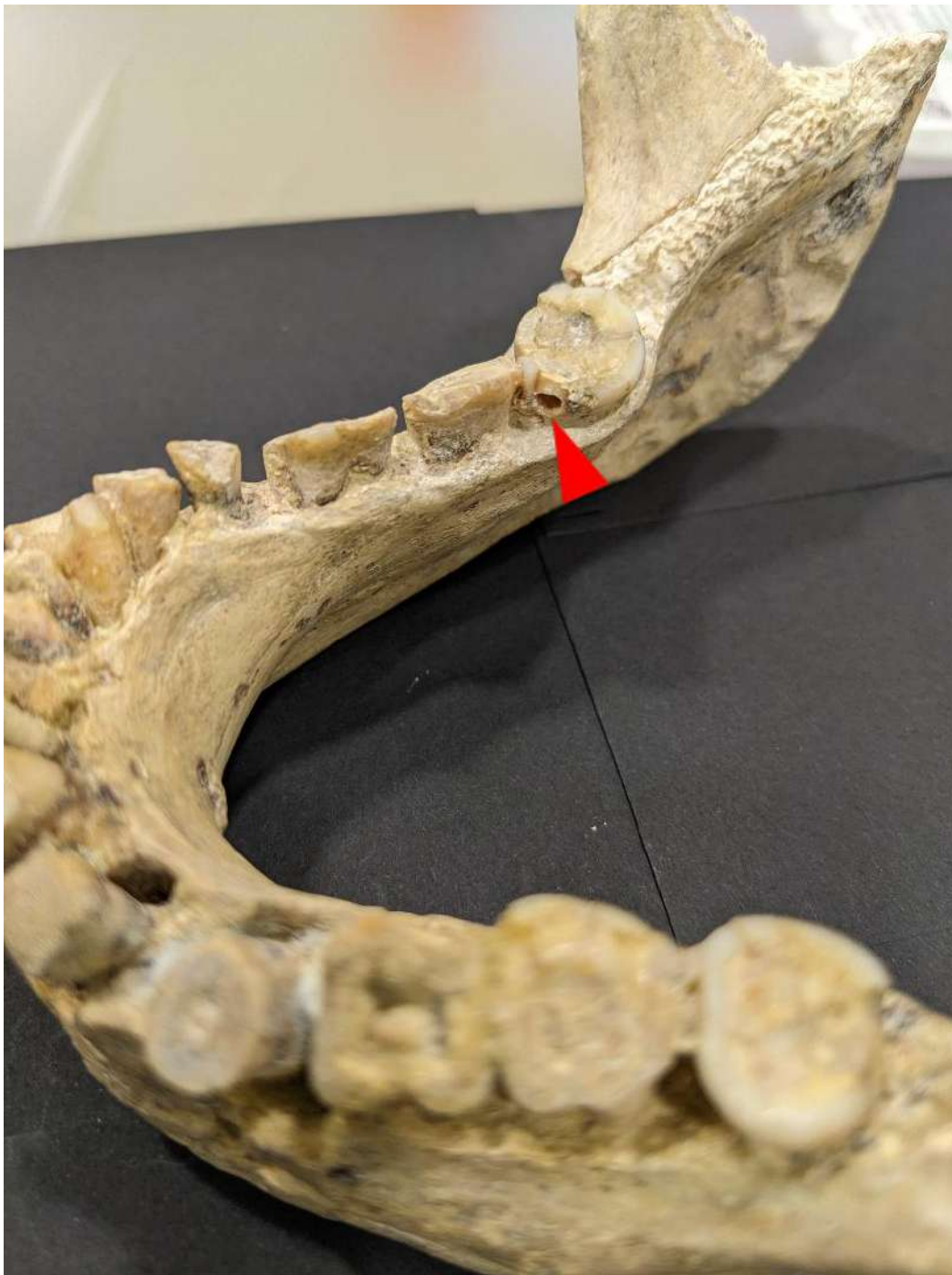
PXL_20240604_122017339.MP.jpg



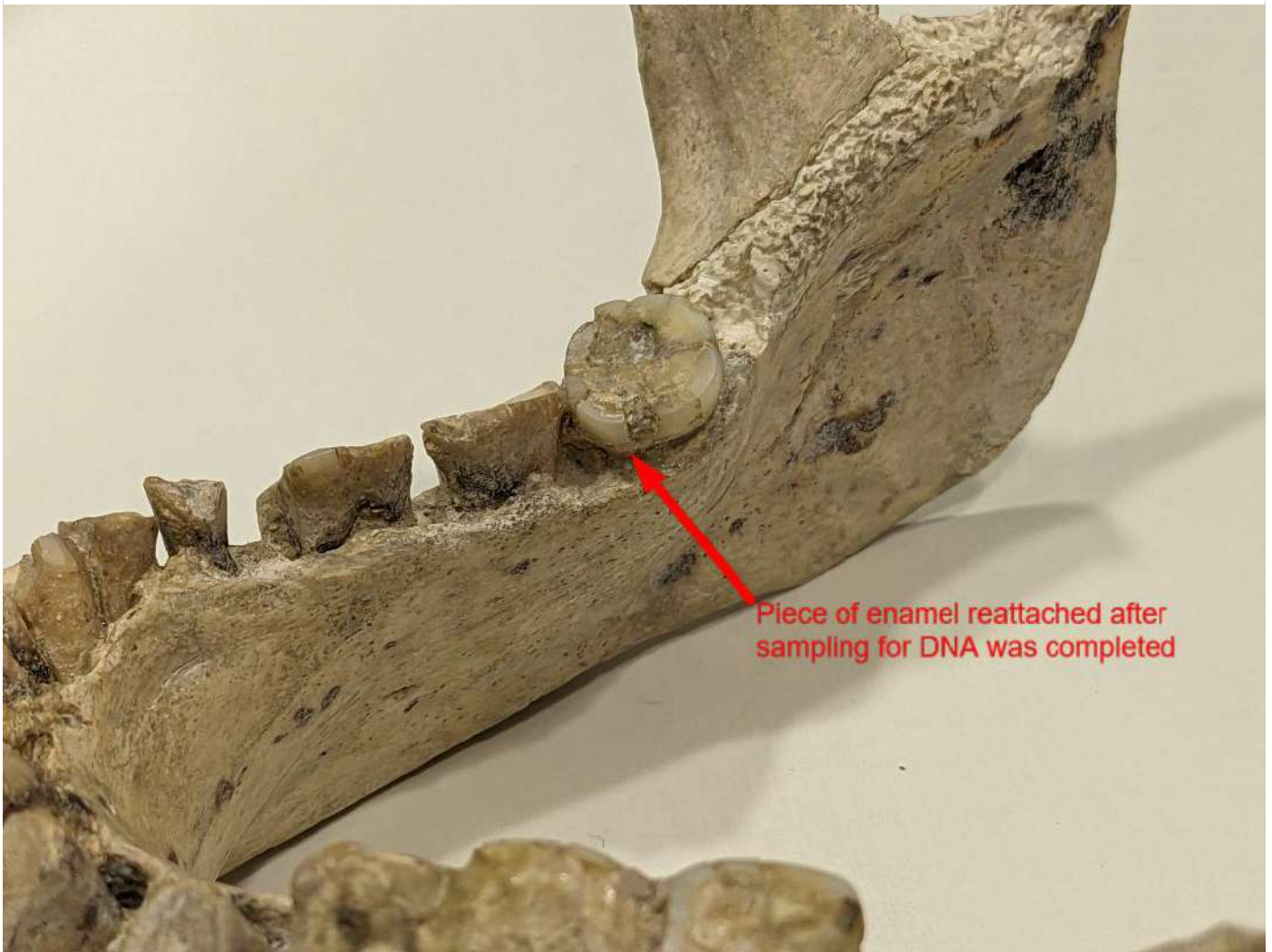
PXL_20240604_135212403.MP.jpg



PXL_20240604_135222439.MP.jpg



After reconstruction was completed



6.2 ANNEX II

L'entrevista va durar quasi 40 minuts i seguidament es transcriurà tota, ja que la Vanessa va donar permís per gravar-la tota amb àudio.

Clara: Per començar, et preguntaré una mica sobre la teva biografia. Quins estudis has realitzat per arribar fins aquí?

Vanessa: Jo la veritat és que he canviat molts cops a la meua vida i, de fet, la primera carrera que vaig fer, de la qual em vaig canviar al primer curs, va ser geològiques. Allà em vaig adonar que m'agradava molt l'evolució humana i que des de la paleontologia es tocava molt poc el tema. Llavors, el primer any d'aquesta carrera, vaig decidir mudar-me a Barcelona i vaig començar la carrera de Biologia.

Dins de Biologia, em vaig especialitzar en temes d'antropologia física que, dins la universitat, es poden fer les beques de col·laboració, en les que tu esculls un departament i treballes amb ells, i allà vaig començar a treballar amb restes humanes aprenent anatomia òssia; vaig començar a entrar en contacte amb arqueòlegs perquè anava al camp a estudiar i a excavar els ossos.

Quan vaig acabar biologia, sí que vaig fer un màster de biologia molecular, però vaig començar la tesi doctoral en un departament d'arqueologia, ja que buscaven gent especialitzada en tècniques moleculars per aplicar-les a les restes òssies.

Jo soc biòloga, però la meua tesi doctoral la vaig fer sobre prehistòria i després d'acabar la meua tesi, que va ser a la Universitat de Saragossa, ja em vaig moure a fer una estada doctoral, al Max Planck a Alemanya i ja no vaig tornar.

Quan vaig acabar el meu doctorat, allà mateix em van oferir una posició postdoctoral d'un any i escaig. Després, durant la pandèmia, em van oferir una altra posició postdoctoral just on som ara, va ser Carles Lalueza Fox. En acabar aquell any, vaig obtenir una beca per marxar a l'estranger i seguir la meua formació postdoctoral, que van ser dos anys més a Leipzig, a Alemanya un altre cop.

Quan ja era a Alemanya, vaig aplicar les posicions que aquí es diuen "Ramon i Cajal", que són les que et permeten tenir una estabilitat dins del sistema acadèmic a l'Estat Espanyol, i, per fi, després d'intentar-ho dues vegades, vaig aconseguir la meua actual posició "Ramon i Cajal" que, en el CSIC, el que t'ofereixen és com una plaça perquè tu siguis un "grup líder" o com es diu aquí "principal investigator" del teu propi grup.

Llavors, tu planteges quin és el teu programa d'investigació, comences a buscar la teva gent i comences a muntar més o menys el teu grup de zero.

Clara: Molt interessant! I doncs, la següent també va pel mateix camí, com et vas començar a interessar per la paleogenètica?

Vanessa: D'acord, diguem que, per exemple, de les tècniques moleculars que es poden aplicar en restes humanes, quan jo vaig començar, el que estava més de moda era l'estudi dels isòtops, que són els elements químics de diferent nombre atòmic, però mateix nombre de protons. Amb aquest tipus d'analítiques es poden inferir aspectes de la dieta dels individus, si és més aviat marítima, més fluvial, més terrestre... o si, per exemple, un individu s'ha desenvolupat en un ambient geològic i després ha mort en un altre lloc, llavors pots inferir la mobilitat. Doncs d'aquestes anàlisis, jo en vaig fer molts, de fet, vaig fer una estada a Sud-àfrica per aprendre les tècniques, però em vaig adonar que les preguntes que jo volia respondre eren més a nivell de població, i, potser, si sabem que un individu ha nascut en un lloc diferent que en el que ha mort, no acabava de respondre les preguntes que jo tenia, que eren més aviat: d'on ve aquesta població? Amb qui interacciona en el seu camí? I més aspectes socials, com tota aquella gent que està enterrada junta, com han acabat així, quin era el seu enllaç de parentiu, quin era el tipus d'organització social d'aquestes societats del passat. A tots aquests aspectes i preguntes, diguem que l'ADN aporta una major resolució, i, llavors, doncs el que vaig fer és una transició a l'àrea de la paleogenòmica.

Clara: D'acord. I... Quin creus que ha estat el moment més emocionant de la teva carrera d'investigadora fins al dia d'avui?

Vanessa: Primer de tot, he de dir que quan vius a Alemanya és una mica dur, llavors he tingut moments de desmotivació absoluta, sobretot el meu tercer any de la tesi, que va ser el pitjor, però a la vegada el millor, perquè ja vaig començar a tenir més habilitat amb les anàlisis informàtiques.

La genètica té molta part de laboratori, però també, jo crec, que el dia d'avui, una de les coses més importants és saber moure's per l'àmbit informàtic i programació. Això és el que més dur se'm va fer, ja que jo no tenia un coneixement fort en bioinformàtica, com podien tenir altres companys.

Quan vaig aconseguir fer aquest gran pas, va ser com començar a trobar moltes coses que estaven a les meves mostres i que era com començar a escriure un llibre perquè en primera persona estava explicant els resultats de les mostres, crec que va ser un dels moments més bonics que recordo.

De fet, recordo el meu primer article, que em van trucar del National Geographic i em van preguntar: "Ja deus haver fet alguna cosa més interessant, que també hagi suscitat l'interès?" I jo els vaig dir que la veritat era que mai havia fet res que interessés a ningú, i em van dir: "Això no ho podem treure, però segur que faràs més coses importants amb el temps". Aquesta conversa la recordo molt bé, jo crec que va ser un moment molt emocionant de la meua carrera.

Clara: La següent pregunta que et vull fer és: com definiries amb les teves paraules el concepte de paleogenètica.

Vanessa: Jo penso que, en el dia d'avui, per conèixer el passat, és l'eina imprescindible. Que sí que és veritat, que no resol totes les qüestions que tenim, però sí que ens està ajudant molt a verificar o refutar hipòtesis que estaven presents dins de l'àmbit de la història evolutiva de les poblacions fins ara. Gràcies a la paleogenètica podem dir si estem anant pel camí correcte o no.

Clara: I quins aspectes de la paleogenètica trobes més apassionants?

Vanessa: Doncs mira, et diria que abans m'agradava molt el treball de laboratori i ara no. Llavors, ara jo crec que el més emocionant és rebre una nova seqüència i poder començar a estudiar-la. Perquè quan tenim un fòssil davant nostre, ja tenim unes primeres expectatives o unes hipòtesis, però quan reps les dades és el millor moment, en el qual, és igual l'hora que sigui que nosaltres seguim allà fins a obtenir la resposta.

Clara: D'acord! Ara ja ens centrarem una mica més en la mandíbula de Banyoles. Quins són els objectius de l'estudi que esteu realitzant a la mandíbula?

Vanessa: Doncs, jo crec que és una peça imprescindible per entendre l'evolució humana, ja que el que es creu en el registre fòssil, és que fins a uns 40.000 anys no tenim humans moderns a la península Ibèrica, ni tampoc en moltes parts d'Europa. No obstant això, és una data en la qual ja comença a no haver-hi neandertals, llavors hi ha un buit, que en alguns moments, se suggereix que aquestes poblacions interaccionen, però realment, no trobem mai els contextos en què haurien d'estar interaccionant.

Hi ha jaciments arqueològics que sabem, per la indústria lítica, que serien neandertals. N'hi ha d'altres, que potser, se superposen en dates que sabem que serien d'*Homo sapiens*. Però tenim un buit, i aquest, jo crec que es pot emplenar amb peces com la Mandíbula de Banyoles.

Primer de tot, perquè morfològicament també hi ha hagut una discussió de si podia ser *neandertal* o *Homo sapiens* o fins i tot un híbrid, però sí que queda clar que en les dates que se suposa que s'hauria de datar, que crec que l'última datació és entorn d'uns 40.000 anys, doncs penso que aquest és el fòssil que ens permetria com a mínim discutir l'escenari que podem tenir aquí a la península i és el que donaria respostes a aquestes preguntes.

Clara: Sí? No n'hi ha cap altre que també us ajudi com la mandíbula a la península Ibèrica?

Vanessa: És que no n'hi ha cap de semblant. Per què, és clar, per la seva morfologia, hi ha persones que suggereixen que seria un *Homo sapiens*, i si és així, és el primer que tindríem a la península Ibèrica.

Clara: I a escala europea?

Vanessa: Europea potser no tant, perquè tenim alguns individus de 45.000 anys, per exemple, a Alemanya, però sí de la península Ibèrica.

Clara: I ara, entrant una mica més en l'estudi de la Mandíbula, com és el procés d'extracció d'ADN, com funciona?

Vanessa: D'acord, l'ideal és fer-ho en laboratoris nets, en aquest cas vam convertir la sala de la farmàcia en una sala neta.

Dins dels ossos que preserven millor l'ADN, hi ha les dents i l'os petrós, que és la part interna del temporal, on hi ha els ossos de l'orella. En el cas de la Mandíbula, teníem un molar que, a més, era una peça d'esmalt que es podia muntar i desmuntar i a través d'allà pots accedir a la cambra polpar.

Amb la cambra polpar el que s'ha de fer és intentar burxar un microforat i procurar furgar a la cavitat polpar amb molta cura. Aquesta cavitat polpar està irrigada per vasos sanguinis i hi han arribat moltes cèl·lules, que hi han contribuït amb ADN.

Per exemple, l'esmalt es pot considerar que simplement és quasi matèria inorgànica, no té proteïnes ni cèl·lules. Llavors, s'ha d'arribar a aquella part que sí que en té.

Després, a la farmàcia, el que es va fer, va ser simplement el pas de mostreig. Els següents passos que hi ha hagut són l'extracció d'ADN, en aquest cas la mostra va viatjar al Max Planck de Leipzig. Aquesta extracció consisteix a eliminar la porció de matèria inorgànica de l'os o de la dent i també separar el que és ADN i el que és proteïna. Volem netejar el que és la proteïna i la part inorgànica i quedar-nos només amb l'ADN.

En mostres antigues, l'ADN està molt fragmentat i no serà 100% de la mandíbula, llavors això s'intenta reflectir amb fragments de diferents colors. Alguns poden ser contaminació ambiental, com microorganismes que estiguessin a la mateixa mandíbula antiga, o pot ser, fins i tot, un patògen que tingués l'individu. Perquè, com que està irrigat, si aquest individu ha mort per una sèpsia sistèmica, el nivell d'infecció en sang augmenta molt i podem arribar a traçar aquests patògens amb mostres dentals.

Després s'ha de fer el procés de biblioteques genètiques (Figura 20 i 21), que consisteixen en el fet que nosaltres no distingim quin tipus d'ADN hem recuperat, no ho mirem encara. Tenim l'ADN de l'individu i els contaminants (patògens, microorganismes...). El que hem de fer és posar-hi uns adaptadors especials i, a cada biblioteca que es fa, un codi de barres.



Figura 20. Biblioteques genètiques
Font: Vanessa Villalba

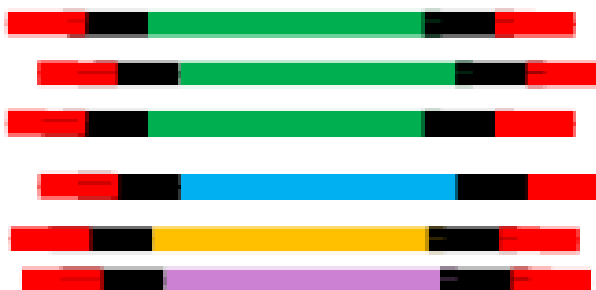


Figura 21. Biblioteques genètiques
Font: Vanessa Villalba

Lavors, després, quan aquestes biblioteques passen a la màquina de seqüenciació, el que fem és llegir la seqüència completa que t'inclou el codi de barres, per això més tard tu pots dir: tal biblioteca pertany a tal fòssil. Perquè el que fem és seqüenciar moltes biblioteques juntes. La mandíbula de Banyoles, s'haurà seqüenciat davant de molts altres individus d'altres parts del món, però com que a aquest fòssil se li ha posat el seu codi de barres, el de la mandíbula de Banyoles, doncs, ja sabem com dir-li a la màquina de seqüenciació on ha de posar cada individu.

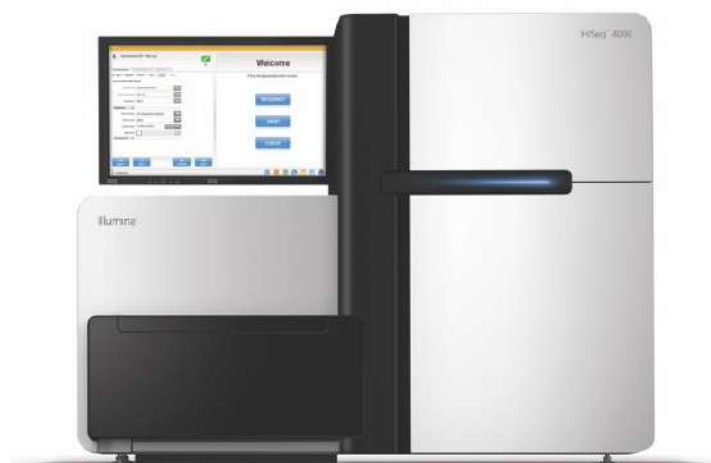


Figura 22. Màquina d'escaneig

Font: Vanessa Villalba

En quin pas estan ara amb l'estudi de la mandíbula? Doncs en la selecció de candidats per la captura. La captura és una tècnica que consisteix a netejar tot l'ADN que no estem interessants i quedar-nos només amb l'ADN diana, en aquest cas, ADN humà. No sabem encara, si serà *Homo neanderthalensis* o *Homo sapiens*, però ADN humà en general. El que s'ha de fer aquí, és mirar si trobem més de 0,1% d'ADN humà i si és així, la mostra serà vàlida, si no la rebutgem. Però amb la mandíbula hem hagut de baixar molt perquè s'ha de fer un esforç d'intentar aconseguir-ne. 0.1% vol dir que quan seqüències 1000 vegades una lectura és la que estàs buscant, i clar, en la màquina de seqüenciació el que paguem és per nombre de seqüències que demanes, és a dir, necessites que això sigui molt eficient, perquè si no seqüències moltes coses que no et serveixen. Al final només obtens dues lectures, però que amb dues dins d'un genoma que té milions de parells de bases nitrogenades, no serveix gaire de res.

El que has de fer és netejar i intentar enriquir. Això es fa posant unes sondes que només hibriden amb fragments d'ADN diana, en aquest cas ADN humà. Per això, passem de tenir un contingut que és molt heterogeni, a què, el que pesquen les sondes, es converteix en un contingut que és més específic del que tu estàs buscant. Ara la seqüenciació és molt més eficient. Tu llegeixes i ja saps que pots llegir menys seqüències, però totes les que llegeixis seran humanes.

Llavors, ara mateix, el pas pel qual està la mandíbula de Banyoles és fer diferents captures, independentment del percentatge que normalment utilitzaríem (0,1%) que l'hem baixat moltíssim, potser, fins i tot, ho hem rebaixat a 0,05% - 0,02%. Simplement per veure què hi ha i si aquest senyal que ens marca que podria ser antic és realment de la mandíbula. I doncs això, estan fent múltiples captures d'aquest estil, tant d'ADN nuclear, que és el que més informació ens proporciona, com ADN mitocondrial perquè només amb aquest ja podríem tenir alguna pista i poder diferenciar entre si és *neandertal* o *Homo sapiens*.

El problema de l'ADN és que està molt degradat i en condicions climàtiques com les que es veuen en vermell al mapa (Figura 23), que inclou pràcticament la península Ibèrica, el que fa és que es preservi bastant malament, comparat amb altres zones d'Europa. Per què es conserva malament?

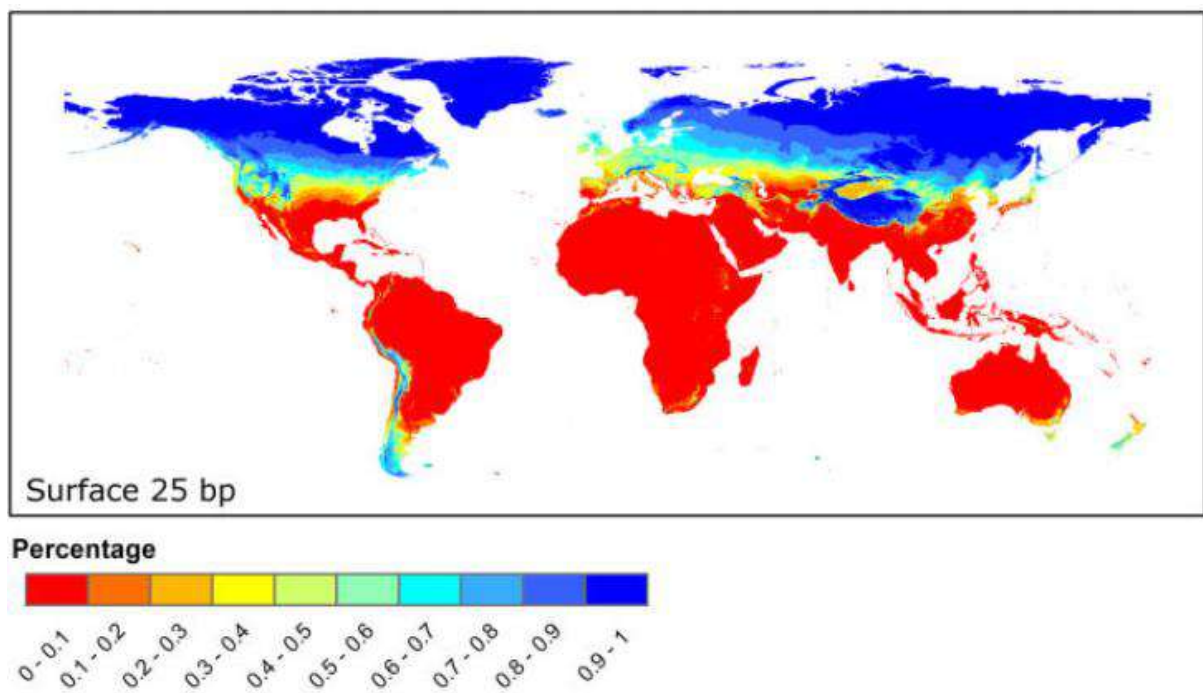


Figura 23. Condicions climàtiques VS edat del fòssil

Font: Vanessa Villalba

Doncs el primer que passa és que en algunes de les bases nitrogenades es produeix la depurinació que vol dir que se'n van les purines que són les adenines o les guanines que formen part de l'ADN i això fa que es fragmenti. (Figura 24) Aquest és el percentatge de molècules que extraïem en una biblioteca i (Figura 25) aquest és la llargada o nombre de parells de bases que té l'ADN. Llavors, veiem que quan és una biblioteca antiga, hi ha un pic de seqüències molt curtes, si féssim ADN modern els pics serien molt diferents.

Després, podríem dir que tenim moltes peces d'un trencaclosques que han de tenir una mínima llargada per després saber on encaixar-les perquè si no, més tard, poden encaixar en molts llocs diferents i això no ens dona informació.

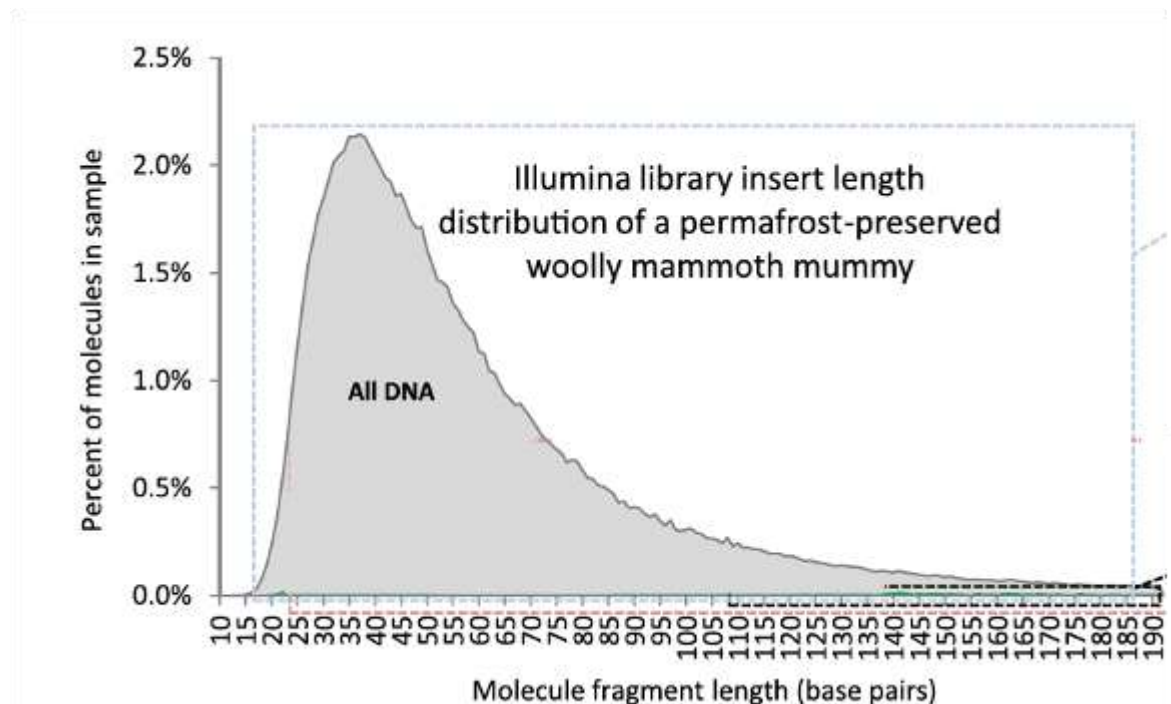


Figura 24. Percentatge de molècules extretes en una biblioteca

Font: Vanessa Villalba

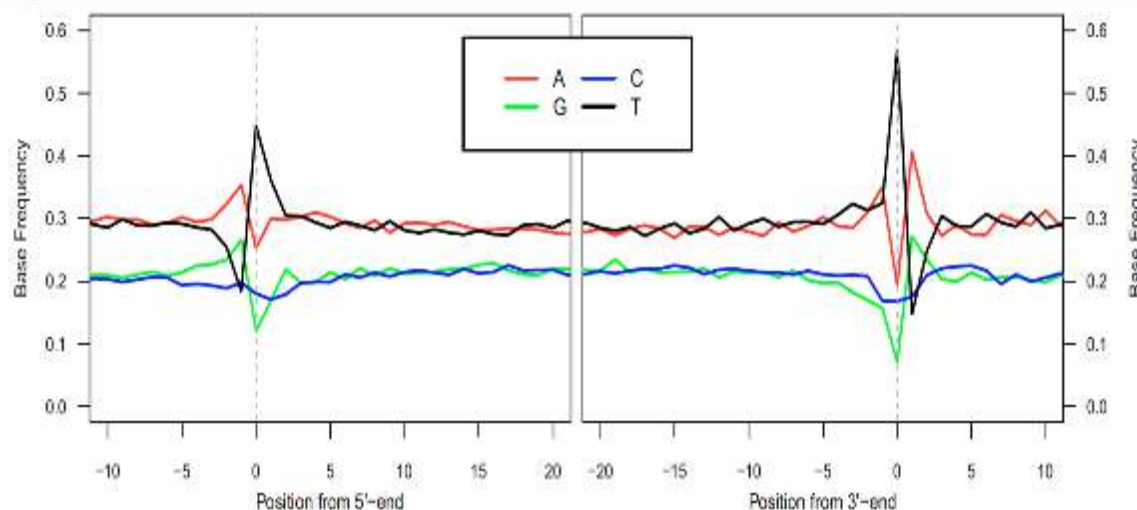


Figura 25. Allargada i nombre de parells de bases

Font: Vanessa Villalba

Mirant la imatge (Figura 25), representaria els extrems d'una seqüència. I els pics més alts serien aproximar-se al punt 0 en un dels extrems de la seqüència. Veiem com si és ADN antic, cau la proporció d'adenines i guanines, que estan representades en vermell o en verd. Si ens aproximem a la posició 0, hi ha una caiguda d'aquestes bases. Llavors, aquest patró de fragmentació ens indica que és antic. Després hi ha un altre patró i és que ocorre la desaminació que és que en l'ADN hi ha citosines i en l'ARN hi ha uracils, però una citosina es pot convertir en un uracil si hi ha una desaminació. Nosaltres quan fem la llibreria genòmica introduïm uracils i, posteriorment, quan sortim del laboratori net, que és quan es produeix l'ampliació de la biblioteca genòmica, la polimerasa que utilitzem per sintetitzar i amplificar aquestes llibreries, no reconeix l'uracil i ens posa una altra lletra perquè mai l'ha vist, ja que és una polimerasa d'ADN i no una polimerasa d'ARN.

Llavors, què passa? Doncs aquestes desaminacions se solen acumular també en els extrems, per això veiem quan la polimerasa s'equivoca i posa "T" en comptes de "C" i veiem el percentatge d'acumulació de canvis de "C a T" en els extrems de la seqüència. Això també ens diu que la mostra està danyada, però com a mínim és autèntica. En el cas de la mandíbula, vam començar a veure això i, fins i tot, senyals que no eren de la mandíbula, sinó potser microorganismes que es van quedar adherits al fòssil un segle abans. Per això s'ha de saber discernir molt bé entre aquests patrons. Tot això a nivell informàtic.

Clara: Que interessant! I un dubte, per què és tan cara la seqüenciació amb ADN antic?

Vanessa: Doncs, en la seqüenciació d'ADN modern, tindríem mostres d'ADN sense contaminació creuada i se seqüenciarien directament. En canvi, amb ADN antic, la majoria del que trobem és soroll i hem de seqüenciar moltes més vegades per tal de trobar l'ADN diana. A vegades ens veiem obligats a subcontractar empreses externes seqüenciadores, ja que ho fan d'una manera massiva, i per això, ens resulta més econòmic.

Clara: I parlant una mica més de la contaminació, quins protocols especials es van seguir per evitar la contaminació?

Vanessa: Primer de tot, s'hauria de començar ja a nivell de camp, però això és molt difícil i moltes vegades estem estudiant col·leccions que s'han excavat abans. Llavors, el que hem de procurar nosaltres, és no contribuir-hi amb més contaminació. Hem de netejar molt, vigilar molt, fins i tot, he hagut de donar els vostres noms i DNI per demanar permís per entrar-vos i després garantir que netejarem més. S'ha d'anar amb molt de compte amb la contaminació externa, tot i que hi ha eines bioinformàtiques per saber que és contaminació moderna, però no t'exclou que a l'hora de seqüenciar t'estigui decreixent la qualitat de l'ADN i hagis de fer una inversió econòmica molt més gran.

Clara: I quines condicions ha de complir aquest ADN per poder ser interpretable?

Vanessa: Doncs, primer s'ha d'arribar a un mínim percentatge d'ADN, perquè sense aquest mínim no podem arribar a dir pràcticament res, és com si del teu cognom només sabés una lletra, seria molt difícil de desxifrar.

Clara: I en cas que es trobi ADN, què es fa?

Vanessa: Uf! Es fa de tot! Comença un procés molt lent. Primer l'autenticació de les seqüències, com t'he dit. Si es dona el cas que després de tots els passos pels quals ha passat per autenticar les seqüències queden parts de qualitat i interpretables, el que es pot fer és respondre les qüestions més bàsiques, determinar si és *Neandertal* o *Homo sapiens*. Tot i que això es pot fer de múltiples maneres, només amb l'ADN mitocondrial o amb l'ADN nuclear. Depenent del que sigui i la qualitat que se n'obtingui perquè amb poc ADN es podria arribar a respondre la pregunta bàsica.

Clara: Quins problemes o desafiaments podeu tenir en l'ús d'aquestes tècniques?

Vanessa: L'inconvenient més gros sempre és la contaminació i la falta de resolució perquè a vegades trobes, però no arribes a tenir prou informació per poder-ne treure conclusions o una anàlisi genètica de poblacions, més exhaustiva si mirem patrons de migració, parentesc... Necessites arribar a un mínim de marcadors recuperats o un mínim de seqüències per poder fer-ho amb suficient resolució. El que menys resolució implica és l'ADN mitocondrial perquè hi ha molts més mitocondris per cèl·lula, llavors és més fàcil de recuperar i és més curt. El sexe biològic de l'individu es pot determinar també amb poques dades.

Clara: Quina és la teva hipòtesi sobre les possibles conclusions de l'estudi amb la mandíbula de Banyoles.

Vanessa: Sincerament, a mi m'encantaria que fos un *Homo sapiens*, perquè es creu que no havien arribat abans, però a vegades, l'absència d'evidències o proves no implica la negació del fet que hi poguessin ser. I també existeix un fet, on hi va haver molt de debat i és que, a la península Ibèrica és la primera vegada que s'ha datat art rupestre i han sortit unes dates molt antigues, 60.000 anys aproximadament. Aquí entra el debat dels arqueòlegs de: qui va fer aquestes pintures? A ningú se li va ocórrer dir: "Són *Homo sapiens*, ja hi eren abans i havien pintat..." El debat en arqueologia ara mateix és si els *Neandertals* pintaven o no pintaven, és a dir, el fet de fer-ho o no, va lligat estrictament a la datació de la pintura, però ningú planteja si és possible que l'edat de la pintura no correspongui amb l'espècie que es creu que hi havia, potser ja hi havia *Homo sapiens* en una zona i època que es creia que no. De fet, se sap que hi havia *Homo sapiens* a Grècia des de fa 200.000 anys, perquè no han pogut seguir la costa Mediterrània i arribar a la península Ibèrica. També hi ha *Homo sapiens* al nord de l'Àfrica.

A mi, això, és el que m'encantaria que es demostrés.

Clara: Creus que la paleogenètica representa un desafiament o replantejament en l'estudi de la prehistòria humana?

Vanessa: Sí, jo crec que sí. És veritat que moltes hipòtesis anteriors a la paleogenètica, el que fem nosaltres, els genetistes, és verificar-les. No només es tracta de verificar o descartar, sinó que la paleogenètica és una ciència quantitativa, llavors, pots posar una magnitud a qualsevol esdeveniment històric que hagi passat. Cosa que dins del registre arqueològic és molt més difícil de fer.

Clara: Cap a on creus que pot evolucionar la paleogenètica? Té, fins i tot, més potencial del que li atorguem ara?

Vanessa: Jo penso que és centrar-nos més en les tècniques, fer-les evolucionar i sobretot abaratir-les perquè la seqüenciació en si és molt costosa econòmicament, i això et limita el nombre de seqüenciacions que pots fer.

Llavors, jo crec que el que ha d'avançar són els mètodes de recuperació de l'ADN, abaratir la seqüenciació i amb això, continuar fent assajos per saber si podem anar més enrere en el temps encara. Potser complementar-ho amb nous mètodes de captura que ens permetin que amb poc ADN en puguem aconseguir més informació. Es podria complementar també, per exemple, amb paleoproteòmica. Amb paleoproteòmica, podem anar molt més enrere en el temps i es pot fer una relació filogenètica d'uns grups amb altres. I treure conclusions en un aspecte més evolutiu, quant a l'estudi de l'espècie en si, que social. La simbiosi entre les dues ciències, la paleogenètica i la paleoproteòmica, podria portar a uns grans resultats.

Clara: Quins llibres em recomanes per trobar informació per poder fer aquest treball?

Vanessa: Això és complicat! No existeixen llibres ni manuals purs de paleogenètica. El que sí que hi ha, són llibres divulgatius molt interessants com el de Carles Lalueza-Fox anomenat "Desigualdad", també el de Johannes Krause, "El viaje de nuestros genes", David Reich, "Quiénes somos y cómo hemos llegado hasta aquí". Jo penso que aquests tres, són els exemples més didàctics que trobaràs. De nivell científic, hi ha articles de publicacions, que solen ser revistes molt especialitzades, però el llenguatge és difícil.

6.3 ANNEX III

El dia 30 de juliol de 2025, a les 10 del matí, va tenir lloc l'entrevista amb Julià Maroto Genover a les Coves de Serinyà. Primer, es van poder fer unes preguntes al professor i, seguidament, aquest, va permetre que féssim una visita a dues coves que estaven sent excavades en aquell moment.



Figura 30. Moment de l'entrevista

Font: pròpia

L'entrevista va durar 20 minuts aproximadament i a continuació serà transcrita:

Clara: Bon dia, Julià, abans de res, moltes gràcies per rebre'm, dedicar-me uns minuts i donar-me un cop de mà amb el meu treball de recerca. Primer de tot, com que vostè és una de les eminències en tot el tema de les datacions de la mandíbula, podria fer-me'n un resum de les principals?

Julià: Sí, actualment tenim dues datacions que són les més fiables sobre la mandíbula. En el passat hi havia hagut altres aproximacions, però s'havien fet en base a evidències més indirectes, per exemple, s'havien datat travertins de la zona, però que no estaven en contacte amb el fòssil. Però, és clar, això no eren evidències segures, eren bastant indirectes i poc fiables. Doncs més tard, es va veure que datar materials propers donava un error bastant alt.

Inicialment, també s'havia fet una primera datació del travertí enganxat al fòssil, pel mètode del carboni 14. Això també sabem que no és vàlid perquè el carboni 14 no es pot aplicar sobre matèria inorgànica. Per tot això ens hem de basar en les datacions on el travertí estigués intimament enganxat al fòssil.

Llavors, d'aquestes datacions, la primera va donar una edat pròxima als 45.000 anys. Aquesta datació parteix del supòsit que el travertí és un sistema químicament tancat, i per tant, que l'urani que hi havia a l'interior del travertí, i s'anava desintegrant, migrant cap a tori, no va tenir un intercanvi amb l'exterior. Altres investigadors afegeixen que aquest sistema pot ser un sistema obert i altres factors externs hagin pogut accelerar aquesta migració dels isòtops, i per tant, donaria una datació menor.

Per tant, van voler corregir aquest mètode agafant una mostra directa de la dentina d'una molar de la mandíbula. Es va mesurar l'activitat química d'aquesta dentina i es va presentar la correcció. Aquesta va datar el fòssil entre 65.000-66.000 anys amb un cert marge d'error. De totes maneres les dues datacions es consideren equilibrades i vàlides. Hi ha investigadors que defensen la primera i investigadors que defensen la segona.

Resumint, tenim aquestes dues opcions, que si les unim, l'edat de la mandíbula estaria entre els 40.000 i 70.000 anys, descartant altres datacions que la feien més antiga i acotant la possibilitat d'espècie en *Neandertal* i *Homo sapiens*.

Clara: Aquestes dues datacions que es consideren les més vàlides, qui les va fer?

Julià: La de 40.000-45.000 la van fer en Ramon Julià, un geòleg català i un investigador nord-americà, James Bischoff. I la segona datació la va realitzar Rainer Grün, un investigador alemany que està treballant a Austràlia.

Clara: D'acord, i quina importància creus que pot tenir la paleogenètica en l'estudi de fòssils com la mandíbula?

Julià: Té un paper fonamental, un canvi de paradigma, perquè suposa passar d'un registre descriptiu i analític a tenir tota una sèrie d'informació no visible i no morfològica del fòssil, biològica sobretot. Està canviant la manera de treballar en el món de l'antropologia, fins i tot, m'atreviria a dir que ha posat en crisi la definició d'espècie. De fet, actualment, a les darreres publicacions es parla més de poblacions que d'espècies, ja que és un terme on ells se senten més còmodes i treballen amb més sensació de prudència. En el món de la ciència és important.

Clara: Val, ara una mica més d'opinió personal. Sense saber quines seran les conclusions de l'estudi que estan fent al Max Planck, quines creus tu que podrien ser? Quines t'agradaria que fossin personalment?

Julià: En quant a el que m'agradaria, no tinc una preferència personal. Totes les dades noves sumen i són importants. Siguin les que siguin m'agradaran molt, ja que seran noves i seran una nova aportació. Què puc sospitar jo? Doncs el que sabem avui en dia és que la mandíbula probablement sigui d'un sàpiens, però presenta una característica morfològica típica de *Neandertal*, que és que no té mentó. El que podem pensar que ens dirà aquesta anàlisi paleogenètica és que ens explicarà que és un sàpiens que en un passat recent va tenir una hibridació o una aportació genètica de poblacions *neandertals*.

Clara: Quan es van posar en contacte amb tu Elena i Merlin del Max Planck, sabien per on treure la dentina?

Julià: Van aprofitar la mateixa "porta" d'esmalt que es va treure per a la datació de Rainer Grüm.

Clara: Moltes gràcies per tot, Dr. Maroto Genover.

Julià: De res, gràcies a vosaltres.

