



UNIÓN EUROPEA

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Una manera de hacer Europa

CONVENIO ENTRE LIFEWATCH ERIC Y LA FUNDACIÓN GENERAL DE LA UNIVERSIDAD DE ALCALÁ PARA EL ESTUDIO DE LA BIODIVERSIDAD, LA PROVISIÓN Y MANTENIMIENTO DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y CULTURA ASOCIADAS A LOS CABALLOS MEDIANTE EL USO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS

ANEXO II.1.4.C)

EMISIÓN DEL INFORME SOBRE LA LOCALIZACIÓN EN DOÑANA O SU ENTORNO DE UNA COLECCIÓN DIGITAL CON HUESOS ESCANEADOS MEDIANTE TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA (TC), PARA QUE LA INVESTIGADORES O INTERESADOS EN GENERAL PUEDA ESTUDIAR LOS HUESOS EN 3D GENERADOS POR EL TAC.

ÍNDICE:

I.- INTRODUCCIÓN: TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA

I.A.- Convenio de colaboración entre la Fundación General de la Universidad de Alcalá y la Fundación Universidad-Sociedad de la Universidad de Extremadura

II.- TEST DE TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA

II.A.- Estación Biológica de Doñana – CSIC de Sevilla

II.B.- Museo de Historia Natural de Valencia

III.- REPOSITORIO DIGITAL DE HUESOS TOMOGRAFIADOS

V. ANEXO: CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE LA FUNDACIÓN GENERAL DE LA UNIVERSIDAD DE ALCALÁ Y LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD-SOCIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA PARA LA REALIZACIÓN DE IMÁGENES DE TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA (TC) DE GRAN TAMAÑO DE MUESTRAS DE LA ESPECIE *Equus ferus caballus* PROCEDENTES DE DIVERSAS COLECCIONES Y MUSEOS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Al leer este informe, se da por supuesto que se ha leído el documento del Anexo II.1.4B) para comprender en su totalidad el contenido.

I.- INTRODUCCIÓN: TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA APLICADA A LAS COLECCIONES OSTEOLÓGICAS

Los TAC son una herramienta fundamental en la medicina moderna debido a su capacidad para proporcionar imágenes precisas y detalladas de las estructuras internas del cuerpo. Esto facilita el diagnóstico temprano, el tratamiento efectivo y la planificación de procedimientos médicos, lo que en última instancia mejora la atención al paciente y contribuye a la medicina de precisión.

En el campo de la actividad clínica equina y en el diagnóstico radiológico y tomográfico equino pueden aportar otra visión o interpretación de los posibles hallazgos anatómicos o paleopatológicos, por ejemplo, lesiones óseas causadas por el empleo de sillas de montar, embocaduras o arreos y otros hallazgos que indiquen enfermedades características de esa especie (Bulatovic *et al.* 2014; Markovic *et al.* 2014). Gracias al estudio de este tipo de marcas y lesiones se puede obtener información sobre el tipo de trabajo que realizaban estos animales y las enfermedades predominantes en este periodo.

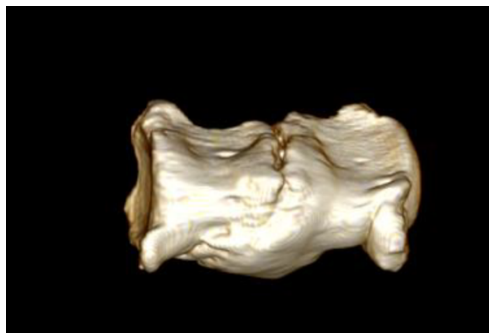
La aplicación de la tomografía axial computarizada (TAC) en la evaluación de piezas de colecciones óseas antiguas presenta diversas ventajas. Estas técnicas de diagnóstico por imagen avanzado han permitido realizar reconstrucciones multiplanares y en 3D de gran realismo, lo que facilita la manipulación y el estudio de los animales sin el riesgo que conlleva la manipulación de los restos óseos. La tecnología de TAC además permite utilizar dosis bajas de radiación, lo que evita el daño en el DNA remanente en los huesos sin necesidad de usar μ CT, ampliando el tamaño de las muestras a estudiar.

Esta tecnología no solo preserva la integridad de las piezas óseas, sino que también facilita la aplicación de herramientas estadísticas en la cuantificación de cualquier característica que se quiera estudiar. Los TAC son excelentes para detectar afecciones y patologías en los huesos, como fracturas, infecciones óseas, tumores u otras anomalías. Esto proporciona una comprensión más profunda de la historia de salud de los individuos y poblaciones representadas en las colecciones.

Además, los TAC son esenciales para la restauración y reconstrucción de especímenes óseos fragmentados o dañados. Las imágenes 3D permiten a los expertos visualizar cómo encajan las piezas y restaurarlas con precisión, lo que es especialmente valioso en la arqueología y antropología.



Corte transversal de un cráneo a la altura de los molares mediante TAC



Vista lateral de vértebra torácica mediante TAC



I.A.- Convenio de colaboración entre la Fundación General de la Universidad de Alcalá y la Fundación Universidad-Sociedad de la Universidad de Extremadura

Después de consultar con varios expertos en el área, se ha determinado que el único TAC específico para équidos en la Península Ibérica se encuentra en el Hospital Clínico Veterinario de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Extremadura (UEX).

Por lo tanto, no es sorprendente que el TAC de la UEX desempeñe un papel fundamental en el análisis de las muestras de équidos obtenidas en excavaciones arqueológicas, como el yacimiento de Casas del Turuñuelo en Guareña. Estas excavaciones han arrojado una gran cantidad de información sobre el enigmático Reino de Tartessos.

Por estas y otras razones a las expuestas anteriormente la FGUA elaboró un convenio de colaboración con la Universidad de Extremadura con el fin de cumplir con la tarea de este entregable (ANEXO A).

II.- TEST DE TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA

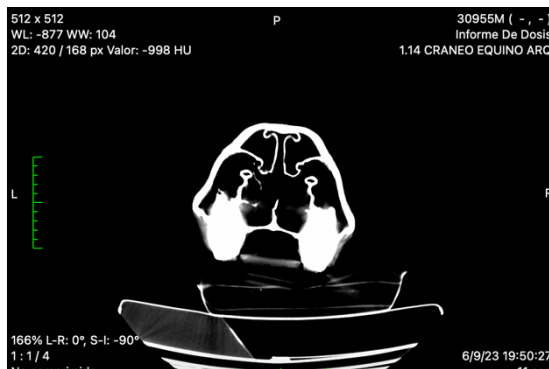
II.a) Estación Biológica de Doñana – CSIC de Sevilla

Gracias al convenio de colaboración mencionado en la introducción, el día 4 de septiembre de 2023 en la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Extremadura, se realizaron estudios tomográficos con un equipo CT Brivo 385 de última generación, adaptado para poder realizar estudios en caballos de los siguientes ejemplares pertenecientes a la colección de vertebrados de la Estación Biológica de Doñana. La propia Estación Biológica de Doñana fue la encargada de realizar y coordinar el traslado de todas las piezas pertenecientes a la especie *Equus caballus* de su colección a la Universidad de Extremadura y ser así la única institución que consiguió la totalidad de sus piezas tomografiadas¹

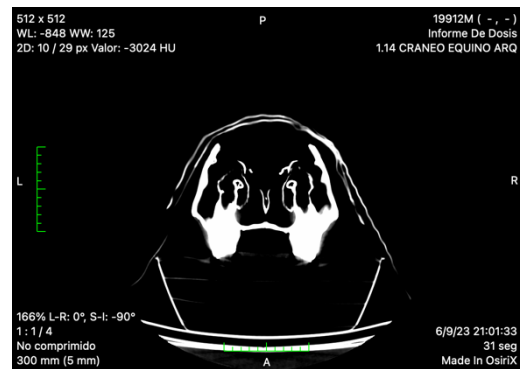
1

<https://studio.youtube.com/channel/UCTjs2PxpdwTRce0ebjdOfOw/videos/upload?filter=%5B%5D&sort=%7B%22columnType%22%3A%22date%22%2C%22sortOrder%22%3A%22DESCENDING%22%7D>

EBD	Nombre científico	Sexo	Edad	CT scan
19912M	<i>Equus caballus</i>	H		Cráneo, EI
29920M	<i>Equus caballus</i>	H		Cráneo
30073M	<i>Equus caballus</i>	M		Équido completo (dos costillas representativas)
30550M	<i>Equus caballus</i>	H		Cráneo, 3ª falange
30557M	<i>Equus caballus</i>			Tibia izquierda
30745M	<i>Equus caballus</i>	M		Équido completo (dos costillas representativas)
30955M	<i>Equus caballus</i>	M		Cráneo, mandíbula
30956M	<i>Equus caballus</i>	H		Cráneo, mandíbula
30957M	<i>Equus caballus</i>	H		Cráneo, mandíbula
32391M	<i>Equus przewalskii</i>	M		Cráneo, EI
33080M	<i>Equus caballus</i>	H		Cráneo, EI



Cráneo Equus TAC



Cráneo Equus TAC

De cada hueso escaneado se obtienen las siguientes imágenes:

- a.- 2D Ortogonal MPR, que permite al usuario la visión simultánea de los tres planos en un punto dado del paciente escaneado.
- b.- 3D MPR, que permite el reformateo multiplanar en cualquier dirección incluyendo direcciones o planos oblicuos.
- c.- 3D MPI y 3D Volume Rendering, que permite la representación tridimensional de los diferentes tejidos del paciente, asignando diferentes colores y transparencias a las diferentes intensidades proporcionando una imagen pseudo-realista.

El estudio de los ejemplares se está llevando a cabo con un software de almacenamiento y visualización de imágenes médicas OsiriX@MD v.8.0.1 en el laboratorio de estudio e interpretación de imágenes.

El empleo del Software de Almacenamiento y visualización de imágenes médicas OsiriX@ MD v.8.0.1. permite también, posteriormente, la manipulación, almacenaje, impresión y transmisión de imágenes médicas cumpliendo el estándar DICOM que incluye un formato de archivo y un protocolo de comunicación en red.

II.b) Museo de Historia Natural de Valencia

En junio de 2023, tres piezas pertenecientes al Museo de Historia Natural de Valencia fueron tomografiadas² utilizando las instalaciones y el TAC del Oceanográfico de Valencia con el fin de evitar riesgos en el transporte de las piezas, las cuales fueron las siguientes:

- A.- La mandíbula de Hipparion
- B.- El cráneo completo de Equus
- C.- El maxilar fósil de equus incluido en matriz



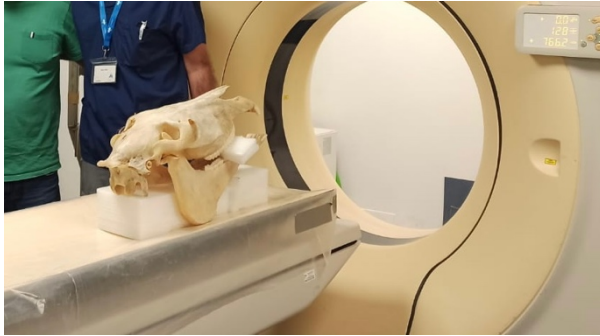
Maxilar fósil incluido en matriz



Mandíbula Oceanográfico de Valencia

²

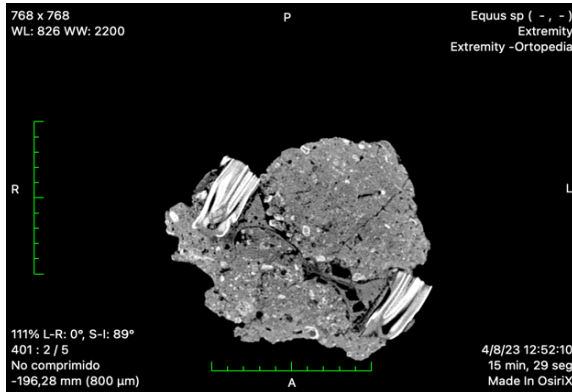
<https://studio.youtube.com/channel/UCTjs2PxpdwTRce0ebjdOfOw/videos/upload?filter=%5B%5D&sort=%7B%22columnType%22%3A%22date%22%2C%22sortOrder%22%3A%22DESCENDING%22%7D>



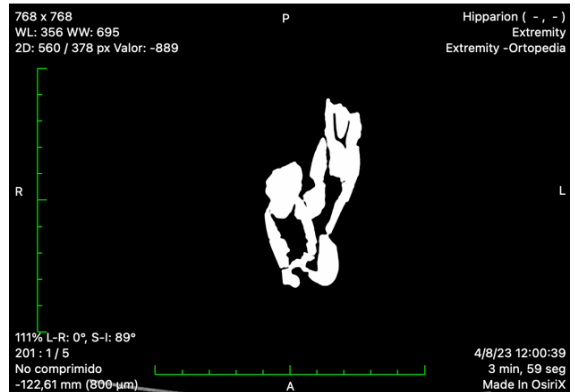
Cráneo Oceanográfico de Valencia



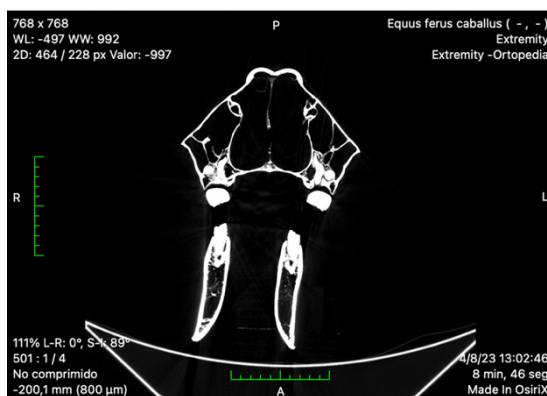
TAC Oceanográfico de Valencia



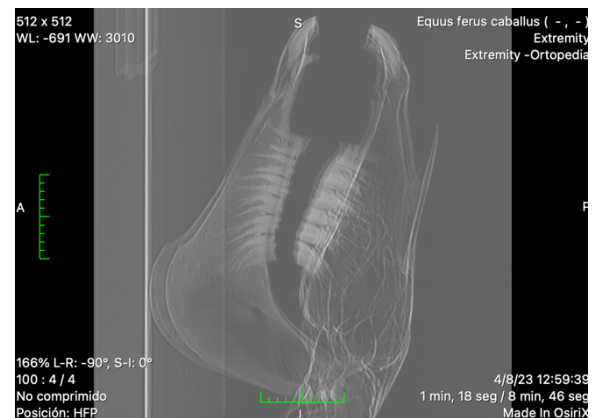
Maxilar fósil TAC



Mandíbula de Hipparion TAC



Cráneo Equus TAC



Cráneo Equus TAC

Con el fin de comparar esta técnica con las descritas en el entregable correspondiente al Anexo II.1.4d) el Museo de Historia Natural de Valencia elaboró un informe en el que se compara la resolución y precisión de los modelos 3D generados por tres técnicas diferentes: la tomografía axial computarizada, la fotogrametría y el escaneado 3D con luz estructurada para una misma pieza (ANEXO B). Esta comparación se basa en los modelos 3D obtenidos a partir del mismo objeto, utilizando la máxima resolución o capacidad de cada dispositivo. La comparación se realiza observando el número total de puntos de información, que forman una nube densa, y el número de triángulos en la malla poligonal del modelo. La calidad de un modelo 3D se considera mayor cuando se obtienen más puntos homólogos o comunes y cuando la malla poligonal tiene más triángulos, lo que implica que son más pequeños y representan de manera más precisa la morfología externa del ejemplar. Una forma adicional de comparar la calidad de los modelos 3D generados por las diferentes técnicas es imprimirlos con los mismos criterios en la misma impresora. Esto permite una evaluación visual de cuán parecidas son las superficies y dimensiones del modelo impreso en relación al ejemplar original.

III.- REPOSITORIO DIGITAL DE HUESOS TOMOGRAFIADOS

En calidad de un repositorio digital, se ha evaluado que la base de datos Specify, referida en el documento del Anexo II.1.4B), representa el lugar óptimo para proporcionar a los investigadores el acceso a la información necesaria. Gracias a este proyecto, hemos logrado la integración de todos los especímenes pertenecientes a la especie *Equus caballus* en la base de datos de Specify, junto con toda la información disponible para cada uno de estos ejemplares. Por lo tanto, los modelos 3D se incorporarán como componentes que estarán a disposición para su visualización.

La manera de acceder a esta base de datos es estar dado de alta como institución editora u observadora por parte de la institución miembro, el Grupo de Investigación Friends of Thoreau del Instituto Franklin de la Universidad de Alcalá.

V. ANEXO: CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE LA FUNDACIÓN GENERAL DE LA UNIVERSIDAD DE ALCALÁ Y LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD-SOCIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA PARA LA REALIZACIÓN DE IMÁGENES DE TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA (TC) DE GRAN TAMAÑO DE MUESTRAS DE LA ESPECIE *Equus ferus caballus* PROCEDENTES DE DIVERSAS COLECCIONES Y MUSEOS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

ANEXO A

Convenio de colaboración entre la Fundación General de la Universidad de Alcalá y la Fundación Universidad-Sociedad de la Universidad de Extremadura



FONDO EUROPEO DE
DESARROLLO REGIONAL
Una manera de hacer Europa

Unión Europea

CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE LA FUNDACIÓN GENERAL DE LA UNIVERSIDAD DE ALCALÁ Y LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD-SOCIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA PARA LA REALIZACIÓN DE IMÁGENES DE TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA (TC) DE GRAN TAMAÑO DE MUESTRAS DE LA ESPECIE *Equus ferus caballus* PROCEDENTES DE DIVERSAS COLECCIONES Y MUSEOS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

REUNIDOS.

De una parte, la FUNDACIÓN GENERAL DE LA UNIVERSIDAD DE ALCALÁ DE HENARES, con domicilio social en calle Imagen, número 1-3 de Alcalá de Henares (Madrid) C.P. 28801, C.I.F. G80090863 (en adelante, FGUA) y en su nombre y representación, María Teresa del Val Núñez, con DNI 14598578H, en su calidad de Directora General de la citada entidad en virtud de poder otorgado ante el notario de Madrid, D. José Javier Castilleja Rodríguez, el 7 de abril de 2014.

De otra parte, la FUNDACIÓN UNIVERSIDAD-SOCIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA, con domicilio social en Avda. de Elvas s/n, C.P. 06071, Badajoz, C.I.F. G06456487 (en adelante FU-SUex) y en su nombre y representación, Javier Díaz Valea, con DNI 50094347W, en su calidad de Director-Gerente de la citada entidad, en virtud de poder otorgado ante el notario de Notario de Badajoz D. Luis Pla Rubio, el 31 de julio de 2006,

EXPONEN

(1).- Que como es de conocimiento mutuo el apartado b) de la cláusula tercera y anexoIV del CONVENIO ENTRE

LIFEWATCH ERIC Y LA FUNDACIÓN GENERAL DE LA UNIVERSIDAD DE ALCALÁ PARA EL ESTUDIO DE LA BIODIVERSIDAD, LA PROVISIÓN Y MANTENIMIENTO DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y CULTURA ASOCIADAS A LOS CABALLOS MEDIANTE EL USO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS, de 21 de febrero de 2023,

señalan, tras indicar los medios personales que el citado ERIC aporta al convenio, que

b) La FGUA aportará:

- El trabajo del equipo investigador propio o externo, bien a título individual, bien de instituciones o entidades colaboradoras, designados para el estudio conforme al listado que figura en el Anexo IV.

Y que, entre los investigadores que expresamente se menciona, por indicación expresa del ERIC, en dicho anexo IV que lleva por rúbrica "EQUIPO DE TRABAJO Y PERSONAS, ENTIDADES E INSTITUCIONES QUE COLABORAN CON EL PROGRAMA FRIENDS OF THOREAU DEL INSTITUTO FRANKLIN-UAH", que es el equipo de la Universidad de Alcalá que está llevando a cabo las actividades de investigación e innovación del citado Convenio, en el segundo apartado-guión, dedicado a "Otras personas e instituciones" - Dña. María Martín Cuervo Responsable del Servicio de Medicina Interna Equina, Universidad de Extremadura, Cáceres.

Dicha colaboración data de algunos años con motivo de las "investigaciones en paleontología mediante el miembro externo del equipo, Jaime Lira, que trabaja en Toulouse con el Grupo de Ludovico Orlando, de investigadores en genética evolutiva de équidos, con tomas de muestras en espacios españoles a efectos de clarificar los vínculos entre caballos preneolíticos y del neolítico y los más modernos posteriores", que se describe en el Anexo I.B. del mismo Convenio ("EXPERIENCIA CIENTÍFICO- TÉCNOLÓGICA DEL INSTITUTO FRANKLIN DE ESTUDIOS NORTEAMERICANOS A TRAVÉS DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN FRIENDS OF THOREAU APLICADA A LA BIODIVERSIDAD

Y LOS ECOSISTEMAS DE LA ESPECIE *Equus ferus caballus*") y también es conocida, de ahí su interés y su mención expresa en dicho Anexo IV, por el ERIC, con motivo de los contactos llevados a cabo por el mismo en materia de biodiversidad con la Secretaría General de Ciencia, Tecnología, Innovación y Universidad de la Junta de Extremadura, a través de su Secretario Titular, D. Jesús Alonso Sánchez, quien puso al corriente igualmente al ERIC acerca de los trabajos llevados a cabo por Dña. María Martín Cuervo Responsable del servicio de Medicina Interna Equina, Universidad de Extremadura, Cáceres, relacionadas con las excavaciones de El Turuñuelo a las que más adelante se hace referencia.

(2).- Que su inclusión se debe a que en el Anexo II.1.4.c del citado Convenio) se menciona la tarea de "*determinar en Doñana o su entorno (...) una colección digital con huesos escaneados mediante tomografía computarizada (TC), para que los investigadores o interesados en general pueda estudiar los huesos en 3D generados por el TC, para lo cual habría que crear un sistema de acceso y posible utilización por terceros de dichas imágenes que asegure que estén protegidas y no sean descargables (por ejemplo, mediante software de gestión de imágenes médicas OSIRIX, o similar) de manera que quede allí situado una especie de Museo digital con esas imágenes y otras que se generen en cualquier parte del mundo con un TC, a partir de cesiones de las digitalizadas en otras colecciones o museos*", Tarea que, tras mantener diversas reuniones con múltiples expertos en la materia, se ha llegado a la conclusión de que el TC de la Universidad de Extremadura (UEX), ubicado en el Hospital Clínico Veterinario de la Facultad de Veterinaria, es en principio, además, el único existente en la Península Ibérica específico para équidos.

(3).- Que, en informe elaborado por el equipo del Grupo de Investigación Friends of Thoreau del Instituto Franklin, la unidad científica que está llevando a cabo la investigación, se ha concluido que gracias a las técnicas de diagnóstico por imagen avanzado, se pueden realizar reconstrucciones multiplanares y en 3D de gran realismo, que permite la manipulación y el estudio de los animales sin el riesgo que conlleva la manipulación de los restos óseos. Su tecnología permite utilizar dosis bajas de radiación que evitarán el daño en el DNA remanente en los

huesos sin necesidad de usar μ CT, ampliando el tamaño de las muestras a estudiar. Así mismo facilita la aplicación de herramientas estadísticas en la cuantificación de cualquier característica que se quiera estudiar.

(4) Que, además, en el campo de la actividad clínica equina y en el diagnóstico radiológico y tomográfico equino pueden aportar otra visión o interpretación de los posibles hallazgos anatómicos o paleopatológicos, por ejemplo, lesiones óseas causadas por el empleo de sillas de montar, embocaduras o arreos y otros hallazgos que indiquen enfermedades características de esa especie (Bulatovic *et al.* 2014; Markovic *et al.* 2014). Gracias al estudio de este tipo de marcas y lesiones se puede obtener información sobre el tipo de trabajo que realizaban estos animales y las enfermedades predominantes en este periodo.

(5).- Que el empleo del Software de Almacenamiento y visualización de imágenes médicas OsiriX® MD v.8.0.1. permite también, posteriormente, la manipulación, almacenaje, impresión y transmisión de imágenes médicas cumpliendo el estándar DICOM que incluye un formato de archivo y un protocolo de comunicación en red.

(6).- Que, según otros expertos consultados, el TC de la Universidad de Extremadura (UEX), ubicado en el Hospital Clínico Veterinario de la Facultad de Veterinaria, aporta varias funciones, tales como:

- 2D Ortogonal MPR, que permite al usuario la visión simultánea de los tres planos en un punto dado del paciente escaneado.
- 3D MPR, que permite el reformateo multiplanar en cualquier dirección incluyendo direcciones o planos oblicuos.
- 3D MPI y 3D Volume Rendering, que permite la representación tridimensional de los diferentes tejidos del paciente, asignando diferentes colores y transparencias a las diferentes intensidades proporcionando una imagen pseudo-realista.

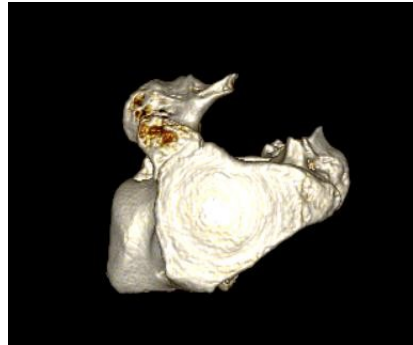
Además, el uso de la Tomografía Computerizada (TC) en el estudio de material arqueológico ha sido ampliamente documentado en los últimos años (Rühli *et al.* 2002; Beckmann 2006) aunque su principal difusión ha sido en el campo del estudio las momias (Harwood-Nash 1979; Applbaum *et al.* 1999).

Gracias al TC se pueden reconocer patologías que sufrieron los individuos de aquella época (Allan *et al.* 2009), reconstruir en 3D y estudiar artículos de uso cotidiano como cerámica o instrumentos de metal (Rossi, 1999; Applbaum *et al.* 2004) e incluso realizar reconstrucciones faciales para conocer el aspecto de los individuos mediante los marcadores óseos (Hill *et al.* 1993). Ello sin perjuicio de que existen otras técnicas de diagnóstico por imagen que permiten estudiar los restos biológicos arqueológicos como la radiología (Hughes 2010) y la resonancia magnética nuclear (Rühli *et al.* 2007), equipos de los que, a efectos de ampliar las tecnologías utilizables en el Convenio, también dispone de ellos Universidad de Extremadura.

No es de extrañar, pues, que el citado TC de la UEX, se haya convertido en piedra angular en el análisis de las muestras de équidos procedentes de las excavaciones arqueológicas, entre otras, del yacimiento de Casas del Turuñuelo de Guareña, entre otras, que tanto conocimiento están generando acerca del desconocido Reino de Tartessos, una de cuyas mejores exposiciones se encuentra en este momento, precisamente, en el Museo Arqueológico Regional de Madrid, situado en Alcalá de Henares, "Los Últimos Días de Tarteso", que incluye cincuenta piezas del citado yacimiento, exposición que está permitiendo uno de los mejores y más completos conocimientos hasta la fecha de esta civilización del suroeste de la Península Ibérica entre el siglo VII a.C y finales del siglo VI a.C..

Se trata el equipo descrito de un CT Brivo 385 de última generación, adaptado para poder realizar estudios en caballos. Además, las instalaciones cuentan con un software de almacenamiento y visualización de imágenes médicas OsiriX® MD v.8.0.1, un laboratorio de estudio e interpretación de imágenes, equipos de radiología para piezas anatómicas y equipos de revelado automático.

La relevancia de su aportación a la investigación descrita del citado CONVENIO, de enorme trascendencia, reside en que, aunque a efectos de esta misma tarea del Anexo II.1.4.d se cuenta con escáneres de superficie aportados por el Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN) y el Museo de la Universidad de Valencia de Historia Natural (MUVHN), así como de otros destinados en el Museo de la Evolución Humana de Burgos (MEH), relacionado con las excavaciones de Atapuerca, el citado TC de la UEx proporciona otra información adicional y mucho más precisa. Si bien el escáner de superficie permite reconstrucciones en 3D de gran realismo, el TC permite, además, estudiar el interior de las muestras, ya que un TC es una secuencia de radiografías. Se trata de una técnica muy rápida que permite realizar el estudio de un cráneo completo de un caballo en menos de 1 minuto y es complementaria del escáner de superficie en el estudio de material óseo arqueológico, como se puede apreciar en las imágenes que siguen:



Reconstrucción en 3D de una vértebra Mediante TC

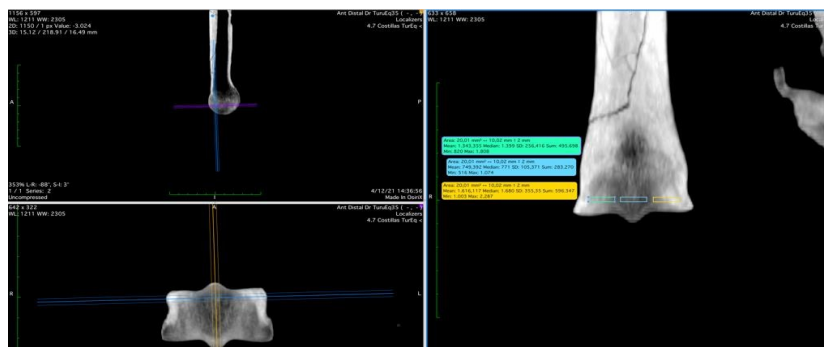


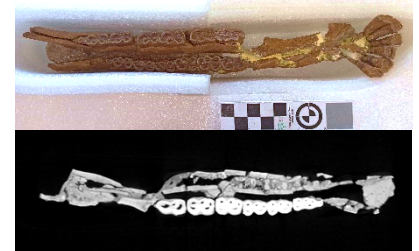
Imagen en diferentes planos de un metacarpo mediante TC

ANEXO B

TOMOGRAFÍA COMPUTERIZADA MANDÍBULA FÓSIL

Consideraciones sobre el empleo y comparación con otras técnicas

El ejemplar se corresponde con una mandíbula fosilizada de un équido del género *Hipparion* con una edad geológica de Mioceno superior (6´2 millones de años) localizado en el yacimiento de Venta del Moro (Valencia). La densidad y composición química de la propia mandíbula y de los molares, premolares e incisivos hacen adecuado un escaneo tanto a nivel superficial como interno haciendo de este modo visibles cavidades naturales, fracturas o alteraciones físico-químicas de otra forma imposibles de observar. La tomografía axial computarizada (TAC) se caracteriza por ser una técnica rápida y precisa capaz de ajustarse a un determinado intervalo de densidades que coincidan con el objeto a escanear eliminando el resto de información. La energía de la fuente de rayos X empleada puede modificarse según su intensidad, penetrando más o menos en la muestra



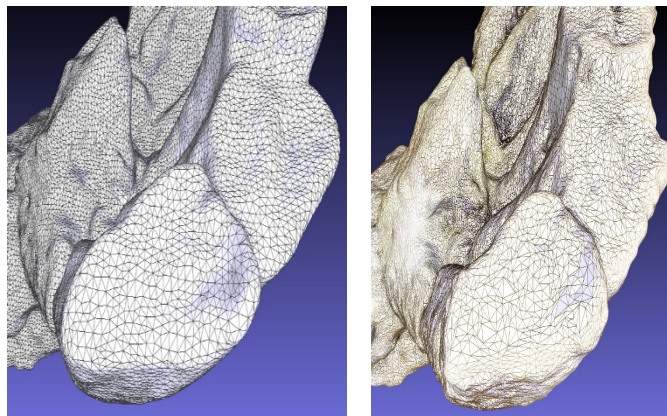
Arriba: fósil original de la mandíbula de *Hipparion* con su protección de espuma de polietileno expandido listo para ser escaneado. Debajo: visualización de una tomografía del ejemplar

La principal ventaja del TAC es su capacidad de realizar tomografías, es decir, en nuestro caso rebanadas de tan solo unas 700 micras de espesor y obtener una imagen interna y externa del ejemplar. Por el contrario, aunque las imágenes se pueden colorear el TAC no es capaz de capturar la textura o color original del ejemplar.

Existen dos tipos principales de tomógrafos computarizados que entre otras características se diferencian por el tamaño de muestras que pueden procesar. De este modo tenemos los TAC médicos para ejemplares medianos a grandes, mientras que los microCT, son tomógrafos computarizados optimizados para muestras milimétricas a centimétricas.

En cuanto a los criterios de calidad, es decir, la resolución o precisión del modelo 3D, estos pueden ser comparados entre las 3 técnicas (tomografía axial computarizada, fotogrametría y escaneo 3D con luz estructurada) utilizando los modelos digitales 3D obtenidos a partir del mismo objeto y a la máxima resolución o capacidad posible de cada aparato. En la comparativa, se observa el número de puntos de información totales obtenidos (nube densa) así como el número de triángulos (malla poligonal). Un modelo 3D tendrá mayor calidad cuanto más grande sean el número de puntos homólogos o comunes obtenidos y cuando tenga más número de triángulos, es decir, que serán más pequeños y representaran mejor la morfología externa del ejemplar.

Otra forma de comparar la calidad del modelo 3D obtenido por diferentes técnicas es imprimiendo con los mismos criterios en la misma impresora el modelo generado con fotogrametría, escáner 3D y Tomografía computarizada. Esto nos indicará visualmente como de parecido es la superficie y dimensiones al ejemplar original.



Comparativa de la superficie de los incisivos (mandíbula *Hipparion*). A la izquierda modelo generado con escáner 3D con triángulos de tamaño muy homogéneos. A la derecha, el mismo ejemplar realizado mediante fotogrametría con triángulos más pequeños en general y de disposición más heterogénea con un resultado final de mayor calidad.



La tomografía computerizada en general requiere de un profesional para manejar el dispositivo y editar los datos obtenidos. En el caso de los TAC médicos pueden tener un acceso más restringido al sector sanitario sin embargo los microCT están cada vez más extendidos, aunque el coste de su utilización pudiera resultar elevado. Así mismo, tenemos el inconveniente de la limitación de tamaño según el aparato escogido, aunque en cualquier caso es la única técnica que nos permitirá obtener información interna y externa del ejemplar de forma no invasiva, incluso sin tener que sacar el ejemplar del envoltorio o envase protector.

Proceso de escaneado de la mandíbula de Hipparion con TAC médico (Oceanográfico de la Ciudad de las Artes y de las Ciencias de Valencia). Los veterinarios Carlos Rojo Solís, Carlos Barros García y el director del departamento de veterinaria Daniel García Párrega colaboraron con la realización de diferentes tomografías para el proyecto e-Horse.