

GEOLOGÍA DE LOS SISTEMAS CUATERNARIOS DE LA COSTA DE HUELVA.

SISTEMAS PLEISTOCENOS Y HOLOCENOS.

19 Y 20 DE FEBRERO DE 2022



Coordina:

Pepa Beiras Torrado
AEPECT-Andalucía Occidental

uhu.es
Universidad de Huelva

Colaboran:

Antonio Rodríguez Ramírez
Eduardo Mayoral Alfaro
Juan A. Morales González

INTRODUCCIÓN

Cuando hablamos de costa se nos viene a la mente de forma inmediata la imagen de una playa llena de bañistas. Sin embargo, la costa no son sólo las playas. En cualquier costa se distribuye una variedad de ambientes sedimentarios diferentes que están caracterizados por el modo en que los agentes costeros (ríos, olas, mareas y viento) actúan sobre ellos. De este modo en una costa podemos encontrar playas, pero también dunas, acantilados, deltas, estuarios y sistemas de islas-barrera.

Cada uno de estos medios sedimentarios puede subdividirse en partes o "submedios" que, como un mosaico, se distribuyen dentro del medio de mayor entidad. Entre estos subambientes de entidad menor cabe destacar, los deltas mareales, los abanicos de desborde, las lagunas costeras o *lagoons*, las llanuras de marea y las marismas. Tanto los medios sedimentarios como los submedios que los componen están en constante evolución, ya que en ellos actúan de manera continua los procesos de erosión, transporte y sedimentación, de tal forma que algunos de ellos como las playas o los canales mareales cambian de forma y de posición. Por otra parte existen medios que se transforman en otros distintos gracias a la evolución dinámica. Sirva de ejemplo el caso de las lagunas costeras, que por una sedimentación continua se transforman en llanuras de marea y éstas a su vez en marismas.

La costa de Huelva es un excelente laboratorio natural para estudiar la evolución de todos estos medios y muestra un amplio abanico de ejemplos actuales en los que se visualiza cómo ha ocurrido la evolución de medios litorales en el periodo Holoceno. Además, las formaciones geológicas que la erosión costera deja al descubierto permiten estudiar ejemplos de sistemas costeros desarrollados en una costa más antigua durante el Pleistoceno.

Por otra parte, en este sector se concentra un interés económico, social, institucional y político que hace indispensable el conocimiento de cara a la preservación y la gestión de los medios naturales, teniendo en cuenta, la continuidad de la zona litoral con un área de la importancia ecológica del Parque Nacional de Doñana.

La presente guía se presenta como una memoria de la excursión organizada por la AEPECT de Andalucía Occidental durante los días 19 y 20 de febrero de 2022 con la colaboración de la Facultad de Ciencias Experimentales de la UHU.

EL CUATERNARIO DE LA COSTA DE HUELVA

El litoral de Huelva constituye un sector costero del SW de la Península Ibérica que se extiende desde la desembocadura del Guadalquivir en el límite con la provincia de Cádiz, hasta la desembocadura del Guadiana, en la frontera con Portugal (Fig. 1). El área costera presenta un relieve suave y con desarrollo de amplias playas de arena interrumpida por desembocaduras fluviales y donde algunos sectores presentan sistemas acantilados que dejan al descubierto formaciones depositadas durante el Pleistoceno.

Desde el punto de vista fisiográfico la costa de Huelva puede considerarse de forma general un litoral bajo y arenoso. Siendo más precisos, la costa podría dividirse en dos sectores diferentes de acuerdo con su configuración topográfica y la distribución de medios sedimentarios. Con este criterio pueden distinguirse a) un sector con playas adosadas en la base del sistema de acantilados y otro sector en forma de largas playas desarrolladas en la zona frontal de antiguos sistemas de islas-barrera. Ambos sectores se encuentran separados por

extensos sistemas interiores desarrollados en las desembocaduras fluviales, donde se establecen importantes aparatos deltaicos (Guadiana y Guadalquivir) o estuarinos (Piedras, Tinto y Odiel) que se encuentran protegidos de la acción directa del oleaje y en cuyo interior domina la sedimentación mareal de tipo fangoso. Cada sector de la costa será analizado esta excursión en días sucesivos.



Figura 1. Localización del área, desembocaduras fluviales y sectores costeros.

DÍA 19: ASPERILLO/ABALARIO: EL REGISTRO CUATERNARIO DEL ASPERILLO

Entre el interfluvio definido por los valles del río Guadalquivir y Tinto, se localiza un extenso afloramiento de formaciones geológicas del Pleistoceno. Este es especialmente visible en el amplio acantilado que se define entre Matalascañas y Mazagón (Fig. 1) Todo el conjunto se encuentra recubierto de un complejo sistema dunar de edad holocena (Fig. 2)

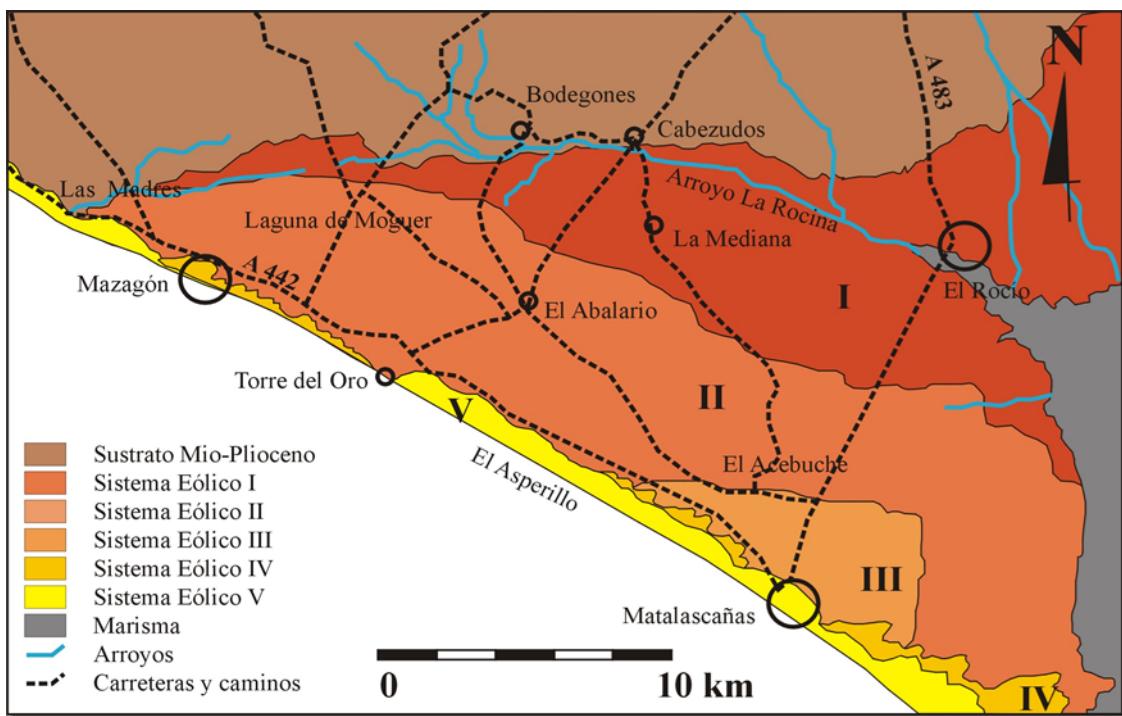


Figura 2. Localización y esquema geomorfológico del área.

La secuencia sedimentaria Pleistocena

La secuencia sedimentaria Pleistocena (Fig. 3) está constituida por una serie de formaciones eólicas, definidas por Zazo et al., (2005) como unidades U1, U2 y U3, separadas por paleosuelos ferruginosos y niveles ricos en materia orgánica (turba), sobre las que se sitúan las 5 secuencias de dunas del Holoceno. Es precisamente en la discontinuidad que se sitúa en la base de U1, que se sitúa en la zona intermareal, donde la erosión costera ha modelado una plataforma de abrasión costera, dejando expuestas toda una serie de icnitas de diversa naturaleza.

Esta discontinuidad está constituida por un paleosuelo formado por arenas limosas que representan una superficie irregular con toda una serie de huellas de vertebrados (Artiodactyla, Elephantidae, Canidae, aves acuáticas y homínidos) y otros rastros fósiles (Neto de Carvalho, C. et al., 2020; Mayoral et al., 2021). Estas huellas humanas representan el registro más antiguo del Pleistoceno superior de pisadas neandertales en el mundo, tomando como referencia unas dataciones efectuadas en 2005 por Zazo et al. Aunque estas se realizaron en un nivel eólico superior, reflejando una edad algo más reciente (106 ± 19 ka).

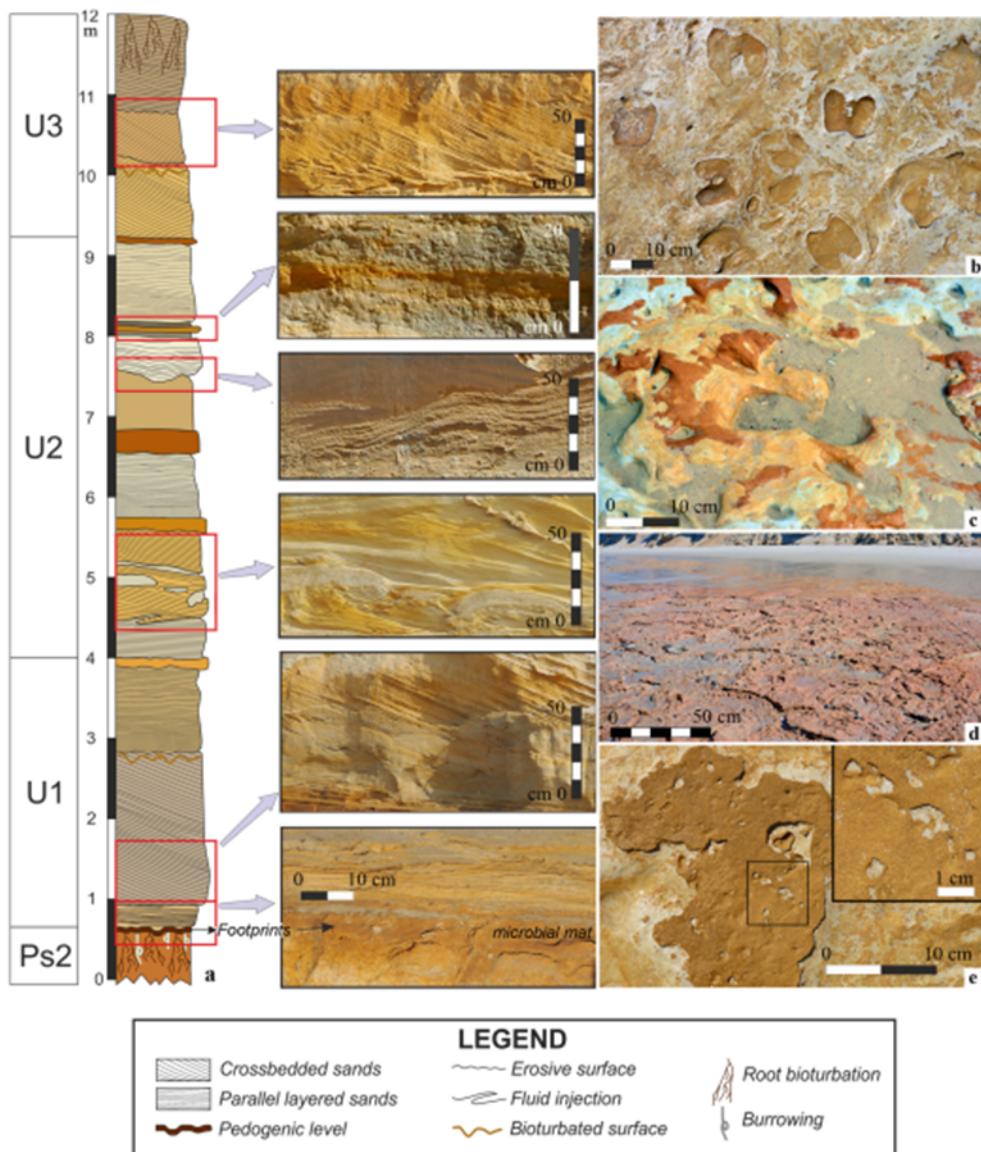


Figura 3. (a) Registro sedimentario del acantilado de Asperillo en el marco de las unidades distinguidas por Zazo et al.2005. (b) Vista detallada de varias pistas de Artiodactyla (c) Detalle del paleosol Ps2 que muestra estructuras concéntricas y transiciones de varios colores relacionadas con la actividad de raíces. (d) Tapiz microbiano ferruginizado con grietas poligonales. (e) Moldes de cristales de halita sobre el tapiz microbiano.



Figura 4.- Vista del acantilado del Asperillo y superficie con huellas de vertebrados

Los sistemas eólicos Holocenos

Coronando los depósitos Pleistocenos existe un amplio complejo dunar que se extiende en superficie desde la Laguna de Las Madres hasta las Marismas del Guadalquivir y desde la línea de costa hasta algo más allá del arroyo de La Rocina, en lo que se conoce como El Abalario. Geomorfológicamente todo el sistema presenta una forma de domo de orografía muy suave, alargado en la dirección NW-SE, debido al intenso solapamiento de las cinco secuencias de dunas holocenas que lo recubren (Rodríguez Ramírez, 1998). En total ocupa más de 45.000 ha, a lo que habría que sumar los sistemas de dunas activas de Doñana. Este amplio sistema dunar se constituye como uno de los complejos dunares más importantes de Europa, en el que se pueden diferenciar un total de cinco sistemas eólicos superficiales imbricados, generados en los últimos 10.000 años. La dirección de avance del sistema es hacia el ENE.

Los sistemas IV y V son los más recientes, situándose a lo largo de la franja costera. Son equivalentes a los sistemas activos de Doñana. Los sistemas I, II y III son los más antiguos, y se denominan semiestables (Fig. 2). Estos sistemas eólicos se caracterizan por el gran desarrollo de formaciones lagunares continentales, asociadas claramente a los modelados dunares, ya sea asociadas directamente a la presencia de cubetas deflactadas de paleodunas, lagunas en valles interdunares, y lagunas procedentes de la evolución por obturación del drenaje. El aporte hídrico está ligado fundamentalmente a los ricos mantos freáticos contenidos en los depósitos eólicos, aunque también pueden existir aportes por drenajes laterales relacionados con las aguas superficiales.

Evolución dinámica

Toda la secuencia eólica del Asperillo y El Abalario está en relación con las fluctuaciones climáticas acontecidas en los últimos cientos de miles de años y las consecuentes oscilaciones del nivel del mar. La gran disponibilidad de sedimentos arenosos (aportados por los ríos y la

erosión de los promontorios continentales), una orografía suave y unas óptimas condiciones de vientos dieron lugar a lo largo de los cientos de miles de años a una potente y extensa secuencia de dunas. La paleogeografía sería muy semejante a la actual, aunque con un clima diferente, favoreciendo la formación de turba en los sistemas lagunares. La dinámica marina, generada como consecuencia de la transgresión Holocena, fue erosionando estos depósitos dando lugar al acantilado del Asperillo. Este intenso dinamismo es perceptible en la ubicación actual de las torres de Almenara, construidas en el siglo XVI sobre el acantilado.

Los registros icnológicos

Los datos sobre el contenido icnológico de los grandes vertebrados del yacimiento fueron aportados por Neto de Carvalho et al. (2020a, b, 2021), donde definieron la superficie del paleosuelo donde se encuentran las pisadas como la “superficie pisoteada de Matalascañas”. En esta superficie identificaron tres morfotipos de huellas atribuidas a Artiodactyla (el uro, *Bos primigenius?* el ciervo rojo, *Cervus elaphus* y el jabalí, *Sus scrofa*), junto con un Elephantidae (*Palaeoloxodon antiquus*), un Canidae, (*Canis lupus*), y tres aves acuáticas (gansos, Anserinae, y limícolas, Charadrii). Esta icnoasociación la definieron como característica de una icnofacies de aves costeras. Posteriormente, un estudio más detallado del yacimiento por Mayoral et al. (2021), Duveau et al. (2021, 2022) puso de manifiesto la presencia de huellas de homínidos en el mismo yacimiento, cuyas características se expondrán a continuación.

Las pisadas de Matalascañas, un conjunto icnológico excepcional.

En el yacimiento se han descrito hasta la fecha un total de 87 huellas entre las obtenidas in situ, como las observadas a través del vuelo del dron efectuado durante el primer día de la investigación.

La longitud de la huella se midió a lo largo del eje longitudinal. Si la huella es longitudinalmente completa, es decir, medible desde la base del talón hasta el extremo distal de la impresión dejada por el hallux, esta longitud se denomina longitud total. La anchura corresponde a la mayor amplitud de la impresión del antepié y se mide a lo largo del eje mediolateral que es perpendicular al eje longitudinal. Para las huellas longitudinales completas, se determinó la relación entre la anchura y la longitud (Fig. 5)

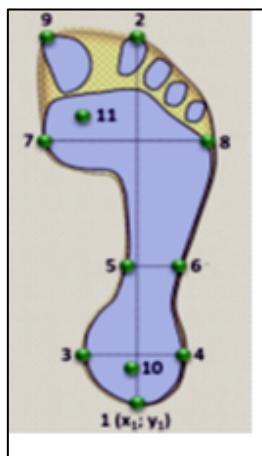


Figura 5. Puntos de referencia utilizados durante el análisis morfométrico geométrico.

Las medidas

La longitud observada oscila entre 14 y 29 cm (media: 21 cm), con una anchura de 4 a 13 cm (media: 7 cm).

La relación entre la anchura y la longitud total varía de 0,22 a 0,50 (media: 0,37) y la longitud total y la anchura están relativamente desvinculadas ($r^2 = 0.5$).

Por otra parte, se utilizaron fotografías detalladas de las huellas mejor conservadas para obtener modelos fotogramétricos 3D, así como imágenes sólidas, de color de profundidad y de contorno (Fig. 6).

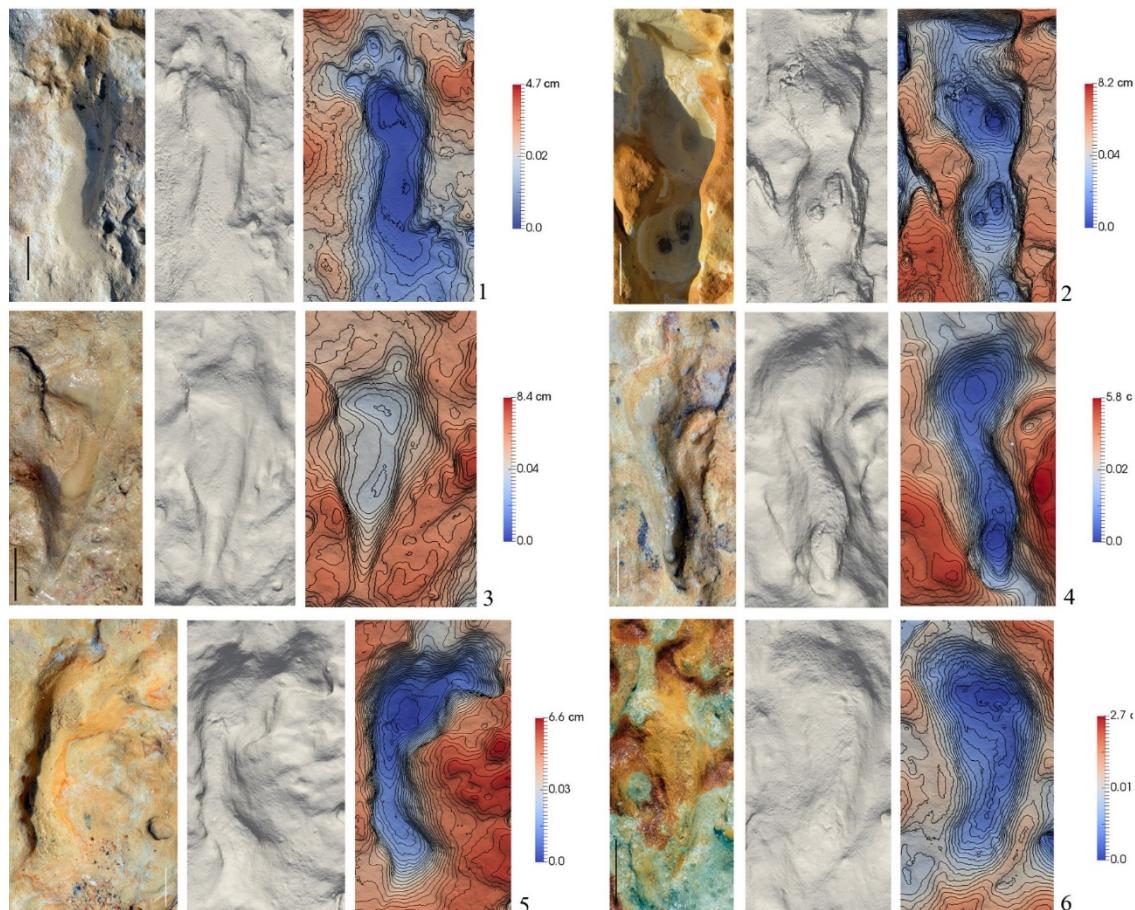


Figura 6. Pisadas completas con imágenes al natural, modelos sólidos y sombreadas de elevación en 3D con curvas de nivel.

Del análisis total se ha encontrado que 41 huellas corresponden a pies izquierdos, y 46 al derecho, habiéndose conservado como epirrelieves cóncavos en un sustrato lo suficientemente blando, pero consistente, para conservar bastante bien la morfología y el contorno de los pies (Fig. 6).



Figura 7. Huellas de homínidos del yacimiento de Matalascañas. Vistas al natural. Barra de escala, 5 cm.

Solo se han identificado cuatro pares de huellas consecutivas, con ángulos de paso que van de 4° a 13°. El resto de las huellas se consideran aisladas.

El carácter homínido queda claramente expuesto porque presentan un talón redondeado, un arco longitudinal, dedos relativamente cortos y un hallux abducido. Por otra parte, Las posiciones de máxima profundidad se sitúan bajo el talón y el antepié, lo que concuerda con la distribución de las presiones plantares durante la marcha bípeda humana (Fig. 8).

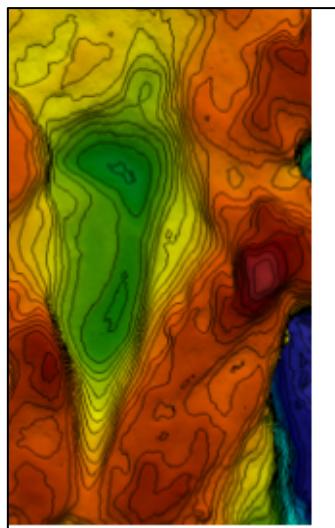


Figura 8. Curvas de nivel mostrando las zonas de máxima profundidad en la región del antepié y del talón.

La composición del Grupo

A partir del análisis paleobiológico de las pisadas se puede determinar la estatura, las clases de edad y el número mínimo de individuos.

En relación a la estatura, ésta se pudo estimar a partir de la longitud total de las huellas, dando unos valores mínimos de 1,04 m, un máximo de 1,88 m y un valor medio de 1,44 m (Fig. 9).

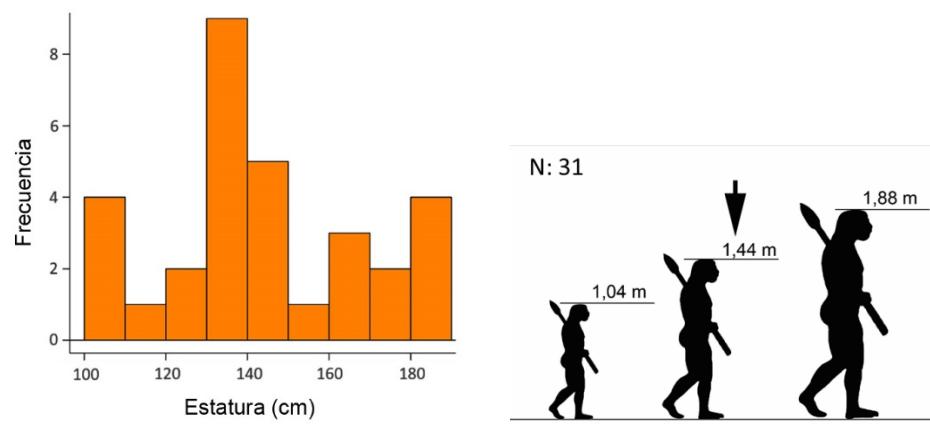


Figura 9. Valores medios de la estatura estimada a partir de la longitud total de las pisadas.

Al relacionar las estaturas con la edad se pudo observar que las dos huellas más pequeñas ($L_{tot} = 14$ cm, estatura: 1,04 m) corresponderían a una edad aproximada 6 años, mientras que once huellas estarían en el límite entre los niños y los adolescentes. Por otra parte, cinco huellas corresponden a estaturas entre 140 y 155 cm, que podrían ser adolescentes según el modelo (Fig. 10). Sin embargo, también podrían haber sido realizadas por hembras neandertales adultas o machos pequeños.

Por último, las cuatro huellas más largas ($L_{tot} = 28-29$ cm, estaturas: 182-188 cm) corresponderían a machos adultos.

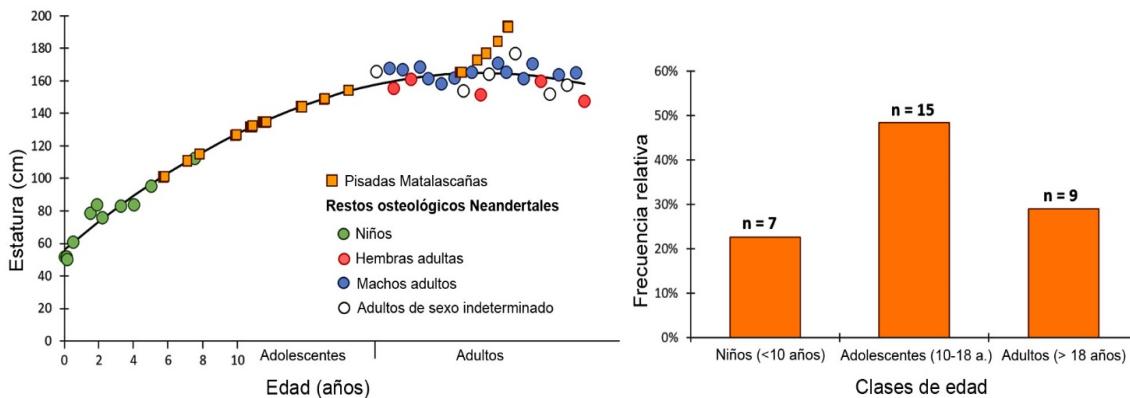


Figura 10. Posición de las estaturas estimadas en una curva que representa la variación de la estatura con la edad para los neandertales, definida a partir de los restos osteológicos. A la derecha: distribución de las clases de edad estimadas.

El número mínimo de individuos (MNI) es un factor esencial para poder estimar con la mayor precisión posible la composición del grupo, ya que al ser la mayoría de las pisadas aisladas es prácticamente imposible identificar conjuntos de huellas realizadas por un solo individuo.

Para ello se calculó la dispersión intraindividual de la longitud total de las huellas y según estos datos, el mayor valor de éstas es igual al 12,8%. Esto implica si consideramos las 31 huellas longitudinalmente completas, que el grupo estaría al menos formado por 3 individuos:

Un niño con una estatura entre 104 y 115 cm, de edad entre los 6 y los 8 años, un adolescente o adulto pequeño, con una estatura entre 126 y 149 cm, y un adulto alto (154-188 cm) que probablemente sería un hombre dado el dimorfismo sexual presente en los neandertales.

El contexto ambiental. ¿Dónde vivían?

La zona donde se encuentra el afloramiento correspondería a un bloque hundido generado por una falla (Falla de Torre del Loro, TLF) que generó un acantilado marino (paleoacantilado del Asperillo), cuya base estaría constituida por el paleosuelo (Ps2) (Zazo et al., 2005). Sobre este paleosuelo, que formaba una amplia plataforma de casi 15 km en dirección NO-SE, se desarrolló un largo corredor inundado de agua que favoreció la aparición de un extenso tapete microbiano.

Estas zonas estarían protegidas lateralmente por incipientes cordones dunares con una extensa cobertura vegetal. Estas dunas se acumularon contra el escarpe de la falla, dando lugar a la unidad eólica U1 que con el tiempo fosilizaría la superficie del paleosuelo. Es en este contexto donde se produjeron las huellas de los grandes vertebrados (Artiodactyla, Elephantidae, Canidae, etc.), principalmente en las zonas inundadas y las de los homínidos, en las zonas limítrofes a las anteriores (Fig. 11).

Los neandertales eran cazadores-recolectores, por lo que los motivos de su presencia se deben principalmente a los viajes, el transporte de recursos o las estrategias de búsqueda de alimento.

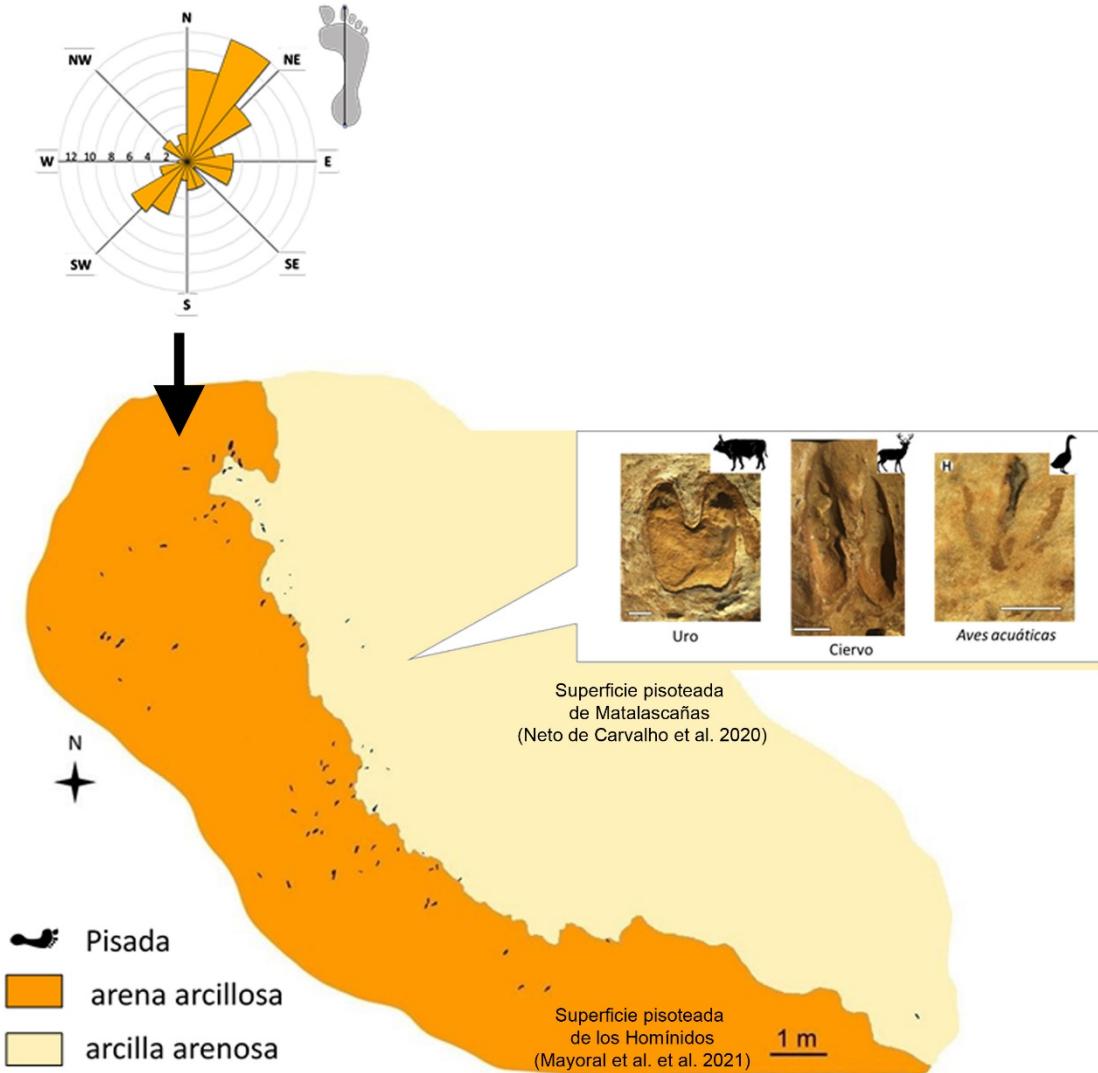


Figura 11. Distribución espacial de las pisadas de homínidos y su relación con la zona donde se registran las otras pisadas de vertebrados.

Para plantear una hipótesis acerca del comportamiento de estos homínidos hay que tener en cuenta varios hechos. En primer lugar, que la composición estimada del grupo estaría dominada por individuos no adultos (71%), de los cuales casi el 25% son niños. En segundo lugar, que la mayoría de las huellas (alrededor del 75%) se encuentran fuera de la zona inundada, donde se registra el paso de grandes mamíferos y aves, y en tercer y último lugar, que la dirección dominante de las huellas es SO-NE (Fig. 11), en el sentido de avance o retroceso hacia la charca.

De esta forma, si la mayoría de las huellas se sitúan en el borde de la zona inundada, sin adentrarse totalmente en ella, se podría plantear una estrategia de caza, acechando animales en el agua, probablemente no los grandes artiodáctilos o proboscídeos, sino aves acuáticas y limícolas o pequeños carnívoros o incluso la pesca o búsqueda de peces o moluscos.

La hipótesis del viaje, como zona de paso tampoco es descartable, si bien la posibilidad de un pequeño grupo de homínidos transportando recursos es difícil de probar a partir de la morfología de las huellas. Los análisis experimentales han mostrado que la variación en la longitud total de la huella cuando los individuos van cargados o sin carga es muy pequeña (menos de un cm de media).

Por ello, y dado que la dirección dominante de estas huellas no es NO-SE, como cabría esperar si el grupo bordeara las zonas anegadas y se moviera en paralelo a la paleocosta, lo más probable es que los individuos estuvieran realizando algún tipo de actividad en torno a la mencionada laguna (Fig. 12).

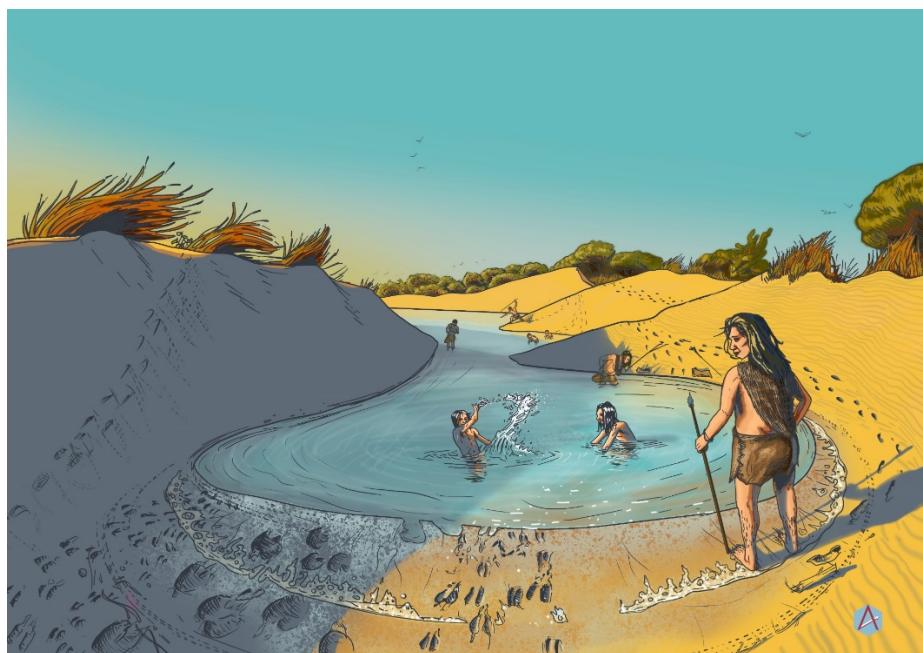


Figura 12. Recreación artística del comportamiento de los neandertales en Matalascañas (L.A. Morales).

Bibliografía

- Duveau, J., Mayoral, E., Díaz Martínez, I. et al. 2021. On the tracks of Neandertals on the Iberian Coast. Palaeobiological analyses of the footprints from Matalascañas (Almonte, SW Spain). European Society for the study of Human Evolution, ESHE ABSTRACTS • 173
- Duveau, J., Mayoral, E., Díaz Martínez, I. et al. 2022. De nouvelles traces néandertaliennes découvertes en Espagne: analyses paléobiologiques des empreintes de pieds de Matalascañas. Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris, 34 (S), Résumés, S-19-S-20.
- Neto de Carvalho, C. et al., 2020a. First vertebrate tracks and palaeoenvironment in a MIS-5 context in the Doñana National Park (Huelva, SW Spain). Quat. Sci. Rev. 243, 106508 (2020).
- Neto de Carvalho, C. et al., 2020b. Paleoecological implications of large-sized wild boar tracks recorded during the last interglacial (MIS 5) at Huelva (Sw Spain). Palaios 35, 512–523 (2020).
- Neto de Carvalho, C. et al., 2021. First tracks of newborn straighttusked elephants (*Palaeoloxodon antiquus*). Nature Sci Rep 11:17311.
- Mayoral, E., Díaz-Martínez, I., Duveau, J. et al., 2021a. Tracking late Pleistocene Neandertals on the Iberian coast. Nature Sci Rep 11, 4103.
- Rodríguez-Rámirez, A., 1998. Geomorfología del Parque Nacional de Doñana y su Entorno. Ed.: Organismo Autónomo Parques Nacionales–Ministerio de Medio Ambiente. 146 p. 5 mapas.

Zazo, C., Mercier, N., Silva, P.G., Dabrio, C.J., Goy, J.L., Roquero, E., Soler, V., Borja, F., Lario, J., Polo, D., Luque, L., 2005. Landscape evolution and geodynamic controls in the Gulf of Cadiz (Huelva coast, SW Spain) during the Late Quaternary. *Geomorphology* 68, 269–290

DÍA 20: COSTA OCCIDENTAL DE HUELVA

MARCO HIDRODINÁMICO Y EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS HOLOCENOS

La configuración costera actual es el resultado de la actuación del régimen hidrodinámico que modela este litoral desde la última transgresión postglacial (Flandriense) y, que se ha visto modificada en tiempos más recientes por la acción humana. Actualmente la costa está afectada por un régimen mesomareal con un rango de la marea medio de 2,2 m, en las mareas vivas el rango máximo alcanza 3,7 m y en las mareas muertas el mínimo es 0,7 m. Sobre los sistemas abiertos de la costa actúa un oleaje con una altura media de 0,6 m y una longitud de onda media de casi 40 m. Dominan las olas procedentes del SO, lo que da lugar a una deriva litoral que transporta sedimento de Oeste a Este, y que es responsable de la construcción de las playas y las formas arenosas situadas frente a las desembocaduras fluviales. Los ríos que desembocan en esta costa poseen un caudal muy irregular, existiendo una importante variación estacional sumada a una acusada irregularidad interanual.

El punto de partida de la evolución de la costa es la última transgresión postglacial (Flandriense) que se inició hace unos 11.000 años y que culminó con la estabilización del nivel del mar en la posición actual hace unos 4.500 años (aunque algunos autores afirman que esta estabilización tuvo lugar en torno a los 6.000 años atrás). Esto significó una inundación de las desembocaduras fluviales existentes en el periodo anterior y la aparición de un conjunto de zonas húmedas, protegidas de la acción directa del oleaje pero influenciadas por la actividad fluvial y, sobre todo, por las mareas. En ese momento la costa quedaría configurada como una costa irregular con grandes bahías en forma de embudo en las desembocaduras fluviales y cabos en los interfluvios (Fig. 13).

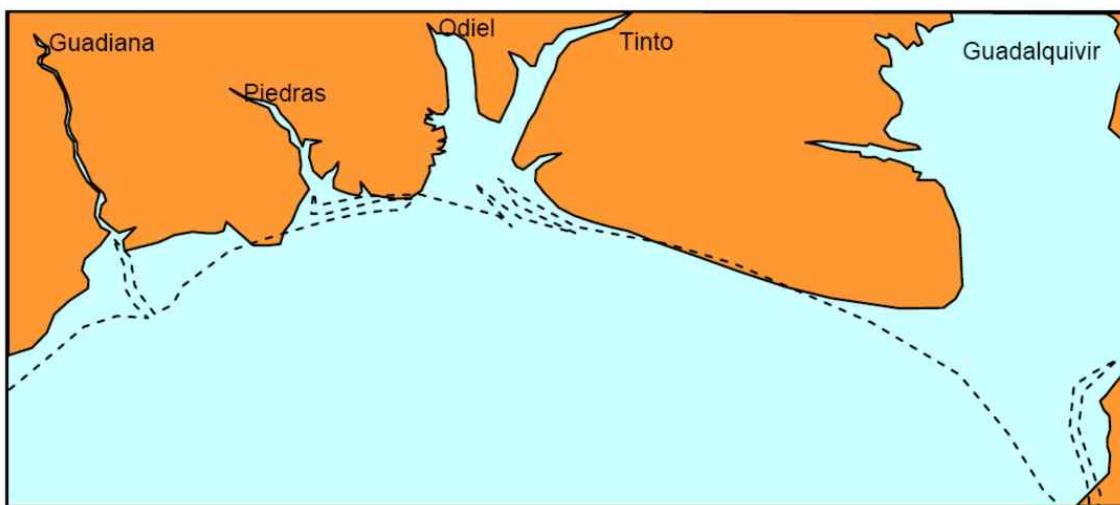


Figura 13. Paleogeografía de la costa de Huelva a la finalización de la transgresión Flandriense.

Después de esta elevación los agentes costeros no disponían de arena para construir playas y de esta forma los cabos existentes comenzaron a ser erosionados y proporcionaron algunas arenas y gravas que, sobre todo, llenaron el fondo de los estuarios, ya que la marea introducía estos materiales en ellos, poco a poco estos cabos comenzaron a retroceder y a convertirse en acantilados costeros, regularizando en cierta medida el perfil costero. Este es el caso de los paleocantiles que se observan distribuidos a lo largo de todo el litoral, separados actualmente de la línea de costa por sedimentos posteriores.

Esta situación duró hasta hace unos 3000 años, a partir de este momento el oleaje dominante en esta costa comenzó a traer arena procedente de la erosión de los acantilados del Algarve Portugués y también la que aportaba a la costa el Río Guadiana. La llegada de arena procedente de la erosión de estos acantilados y del aporte fluvial dio lugar a la generación de sistemas de

islas-barrera y playas adosadas a los frentes acantilados de tal forma que éstos dejaron de ser erosionados, así se formó un cordón continuo de islas que hoy en día pueden reconocerse como rasgos geomorfológicos en las fotografías aéreas (Fig. 14).

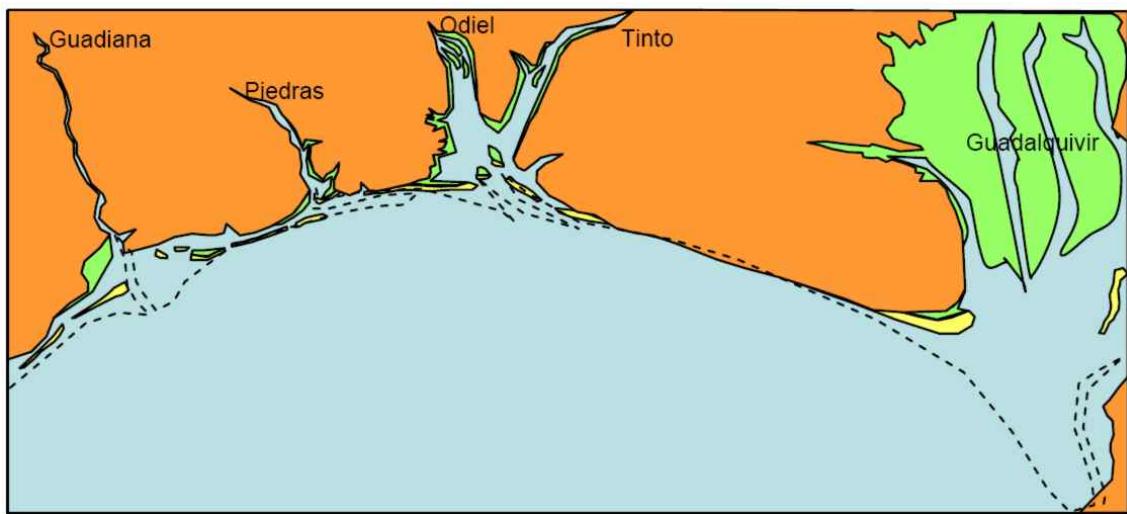


Figura 14. Paleogeografía de la costa de Huelva hace unos 3000 años tras la construcción de los primeros cordones arenosos por parte del oleaje.

En la parte abierta al mar y expuesta al oleaje de estas islas-barrera se desarrollaron playas y en su parte trasera, protegida de las olas, largas lagunas costeras que poco a poco se convirtieron en llanuras de marea y finalmente en marismas. Entre las islas, algunos canales de marea drenaban las lagunas costeras formando deltas de marea, cuya arena era utilizada por el oleaje para construir nuevas islas o para hacer crecer las anteriores hacia el frente y desplazando hacia el mar la línea de costa, en un proceso conocido como progradación costera.

Algunas de estas islas en lugar de situarse en el frente de los acantilados se situaron en la desembocadura de los estuarios cerrándolos parcialmente y restringiendo su zona interna a la acción del oleaje, a partir de este momento comenzó la colmatación sedimentaria de los estuarios, protegidos tras las barreras. El relleno estuarino se realizó a base de una potente acumulación de gravas, arenas y fangos denominados cuerpos de acreción estuarina y poco a poco en el interior del estuario las corrientes mareales fueron perdiendo energía y dejaron de introducir arena y grava en el valle interior, entonces comenzó el relleno de éstos con el típico fango negro, generado en el interior de los estuarios por la mezcla de aguas dulce y salada, a veces intercalado con sedimento fluvial. De esta forma los estuarios y lagunas fueron perdiendo profundidad y acabaron apareciendo llanuras de marea cuando el fondo llegó hasta la zona intermareal y, finalmente, cuando las llanuras fueron colonizadas por la vegetación aparecieron las extensas marismas que hoy conocemos (Fig. 15).

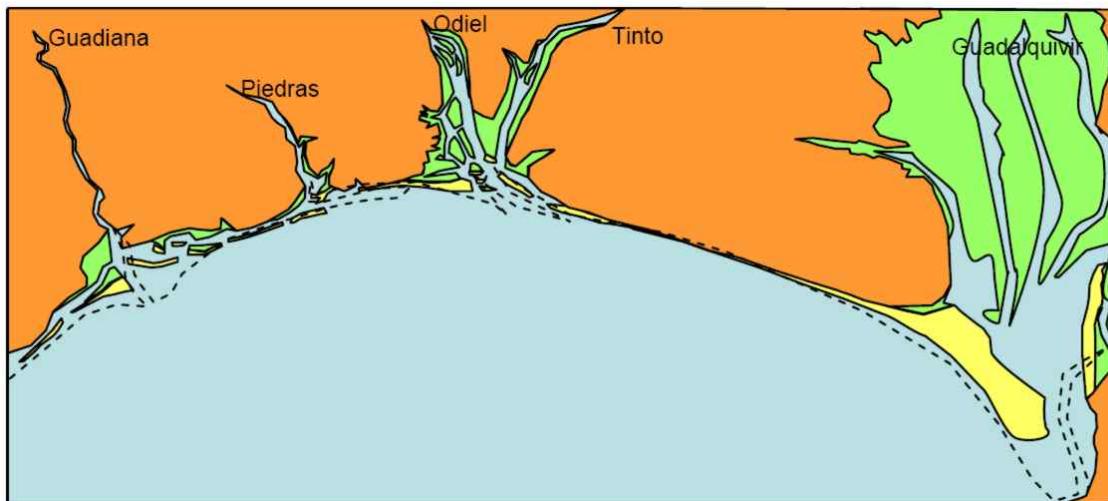


Figura 15. Paleogeografía de la costa de Huelva hace unos 500 años una vez desarrollado el relleno del interior de los estuarios por extensos cuerpos de marismas.

SISTEMAS COSTEROS HOLOCENOS

Estuario del Guadiana

Los efectos de la transgresión Flandriense suponen, en la desembocadura del Río Guadiana, el sistema más occidental de esta costa, la formación de un canal estuarino limitado por un sustrato rocoso (*rock bounded*), sobre un valle fluvial estrecho y situado sobre un sustrato paleozoico competente, que inhibe la formación de una bahía extensa. De esta forma, el canal del Guadiana ejerce funciones de simple tránsito sedimentario (*bypassing*), con lo que resulta ser el principal aporte de clastos a la costa. Sin embargo, en su salida al mar, los sedimentos han logrado construir un amplio delta con morfología controlada por la acción de las olas.

En el interior de los estuarios no actúan las olas y es la marea la encargada del movimiento neto del sedimento. En una primera fase, el sedimento arenoso aportado por los ríos es depositado en la zona alta de los estuarios al confluir la corriente fluvial con la marea ascendente (flujo mareal). A partir de este punto, la corriente de reflujo mareal (vacante) retoma una parte del sedimento del fondo de los canales y la transporta hacia la boca del estuario, donde se mezcla con la arena marina introducida por la corriente de flujo (llenante). Todo este transporte tiene lugar a través de la zona más profunda de los canales, mientras que en los sectores más someros tiene lugar una sedimentación activa de los fangos transportados en suspensión y de los floculados.

El dominio marino del estuario del Guadiana es el más extenso de los sectores. En él se observan sucesivas islas-barrera separadas por cuerpos de marisma que han contribuido a la progradación de la costa y a la transformación de este tramo del sistema en un delta.

Los procesos sedimentarios y los sedimentos muestran una gran variabilidad, tanto lateral y vertical, como longitudinal. El aporte sedimentario es de origen doble: fluvial y marino. Las corrientes mareales de reflujo transportan arena a la desembocadura, sedimento que es retrabajado por el oleaje en la construcción de los cordones arenosos. El exceso de arena vuelve al estuario y las corrientes de flujo lo depositan en las llanuras mareales adyacentes a la parte trasera de las islas. La repetición de este proceso produce una progradación lateral del sistema, de forma que éste resulta ser controlado por la acción del oleaje en la costa abierta y por la acción de la marea en las partes traseras de las barras arenosas. El resultado final es el de un medio deltaico dominado por la acción del oleaje, con una flecha litoral grande que obstruye la

entrada al estuario e islas barreras, producidas en plataformas de batida en el delta mareal de reflujo de la desembocadura.

En la playa se pueden observar los bajos de desembocadura que constituyen la zona sumergida del delta. Estos bajos se han aproximado a tierra desde la construcción de dos espigones, migrando hacia el Norte a un ritmo de más de 40 metros por año, reproduciendo en la actualidad el proceso que en el pasado contribuyó al crecimiento de las islas-barrera más antiguas.

La playa está configurada como una alternancia de sectores erosivos y sectores acumulativos. La distribución longitudinal de estos sectores está relacionada con la topografía de los bajos y la disipación de la energía del oleaje en los mismos a través de los procesos de refracción y difracción (Fig. 16).



Figura 16. Fotografía aérea de la desembocadura del Guadiana en 2011.

Antiguas islas barrera de Isla Cristina y Lepe

Desde la perspectiva que ofrece el lugar elevado de la torre del Catalán se observa la actual playa lineal, separada de la llanura trasera por un cordón de dunas litorales. Esta llanura trasera está más evolucionada hacia poniente, ya que las islas fueron creciendo de Oeste a Este, conforme la arena procedente del Guadiana fue llegando a este sector costero trasportada por la deriva litoral.

Así, se observa que tras la urbanización, la llanura más antigua se encuentra ocupada por cultivos, mientras que justo debajo del emplazamiento de la parada se trata de praderas con vegetación de agua dulce y conforme nos acercamos al Terrón se hace topográficamente más baja estando colonizada por vegetación halófila propia de marismas mareales y finalmente, en el horizonte, se observa el comienzo de la Flecha de El Rompido, donde la zona de trasbarrera es aún una laguna costera. De esta forma, en un solo vistazo de izquierda a derecha pueden verse todos los estadios de evolución de un sistema protegido. Esta evolución dinámica ha conllevado además una sucesión ecológica.

Estuario del Piedras y Flecha de El Rompido

El estuario del río Piedras funciona actualmente como un lagoon estuarino al haberse cortado totalmente la influencia fluvial desde la construcción de las presas del Piedras y Los Machos.

En las desembocaduras de los estuarios la corriente de marea tiende a construir cuerpos de arena perpendiculares a la costa, mientras que el oleaje retrabaja esta arena intentando construir barras paralelas a la costa que migran hacia tierra. El resultado es la formación de amplios deltas

de marea que cierran parcialmente las bocas de los estuarios. Los deltas de marea consisten en: a) amplias plataformas arenosas intermareales donde actúan conjuntamente las mareas y el oleaje y b) extensos lóbulos frontales submareales con forma de media luna dominados por la corriente de reflujo mareal. Actualmente el mejor ejemplo de estos deltas se sitúa frente a la flecha de El Rompido, en la desembocadura del Piedras (Fig. 17), que es además el único sistema de deltas de reflujo mareal que queda en la costa de Andalucía, ya que todos los existentes anteriormente fueron desmantelados por el oleaje tras la construcción de espigones a la entrada de los principales puertos protegidos.



Figura 17. Panorámica de la punta de la flecha y el sistema de deltas de reflujo mareal..

Este sistema suele presentar dos canales principales de reflujo conectados a sendos lóbulos frontales. Estos canales sufren una migración muy rápida hacia levante, migrando el canal del Oeste más rápidamente que el Este y produciéndose fenómenos cílicos de captura. En paralelo a esta migración se produce una modificación en la extensión de las plataformas de batida intermareales que separan estos canales, a la vez que el oleaje hace crecer la punta de la flecha a un ritmo que supera los 30 metros al año, mientras que la migración de los canales puede alcanzar los 29 metros por mes.

Recientemente el canal de poniente ha sido dragado para contribuir a la mejora de las condiciones de navegación de las numerosas embarcaciones de recreo que tienen puerto en el interior del sistema.

Estuario de la ría de Huelva

En función de los agentes que se suman en los estuarios existen tres sectores o dominios diferentes, así en el sector donde interactúan río y marea se conoce como Estuario Fluvial, el dominio en que actúan olas y mareas es el Estuario Marino y dónde actúa sólo la marea es el Estuario Central o Medio. En cada uno de estos sectores el relleno presenta una asociación de sedimentos diferente.

El recorrido hacia la desembocadura comienza atravesando el estuario central del Odiel. En este sector aparecen llanuras mareales amplias que ya casi han alcanzado la zona supramareal, desarrollando abundante vegetación de marisma. A la entrada de la carretera de acceso se observan las salinas extensivas de Aragonesas, que extrae la sal a fines industriales para la obtención de Cloro. Las dimensiones de las salinas dan idea de la intensa trasformación que ha sufrido la zona central del estuario del Odiel, en el que una superficie de marisma equivalente a más de 1.300 campos de fútbol ha sido convertida en áreas de explotación, disminuyendo notablemente el prisma de marea y haciendo que las corrientes mareales sean más débiles.

Conforme se va avanzando por la carretera se van cruzando diferentes canales mareales que separan varias islas de marismas (Bacuta Norte y Bacuta Sur) hasta llegar a Isla Saltés (Fig. 18). Esta isla forma parte del sistema de cierre del estuario y presenta una estructura similar a la observada al atravesar las llanuras deltáticas de la desembocadura del Guadiana, donde alternan cordones arenosos con superficies de marisma alta. Los cordones arenosos reciben el nombre local de “ganchos” y todos ellos tienen nombre propio (El Almendral, El Acebuchal, La Cascajera y Cabezo Alto).



Figura 18. Panorámica de isla Saltés con el sistema de cheniers.

El proceso de formación de esta isla es diferente del caso de Isla Canela, ya que en Saltés son los temporales los que hacen migrar las barras de arena y grava bioclástica sobre una llanura de marea previa, aislando la zona trasera de las barras, donde se desarrollan marismas. El modelo de facies resultante de este proceso también es completamente distinto al observado en isla Canela, ya que en el caso de Saltés las facies gruesas se disponen sobre las facies de arenas fangosas con alto contenido en materia orgánica típicas de las llanuras mareales. Esto permite clasificar a los “ganchos arenosos” como *cheniers* y a la isla de Saltés como una verdadera llanura de *cheniers*.

Desde la llanura de *cheniers* de Saltés se observan los otros dos elementos que componen el sistema de cierre del estuario. Tanto al oeste como al este se desarrollan flechas litorales, alimentadas por la deriva litoral desde el oeste: las flechas de Punta Umbría y Punta Arenillas, separadas de isla Saltés por dos importantes canales mareales que drenan todo el sistema mareal interior.

La construcción del dique Juan Carlos I supuso una gran modificación de la dinámica de este tramo costero, ya que en el extremo de Isla Saltés se desarrollaba un sistema de seis deltas de marea, cuyos canales fueron cortados por el dique. La arena de los lóbulos frontales fue retrabajada por el oleaje para construir una playa al frente del espigón y cerrar definitivamente la llanura de marea de El Manto.

Bibliografía

- J.A. Morales; J. Borrego and R.A. Davis. 2014. New mechanism for chenier development and a facies model of the Saltés Island chenier plain (SW Spain). *Geomorphology*. 204: 265 - 276.
- J.A. Morales; I. Delgado and J.M. Gutiérrez-Mas. 2015. Bedform variability and flow regime in a barrier-inlet system. The mesotidal Piedras mouth (Huelva, SW Spain). *Geologica Acta*, 13: 137-153.

- J.A. Morales; A. Rodríguez-Ramírez and M. Sedrati. 2018. Beaches of Huelva. In: Morales, J.A. (Ed). *The Spanish Coastal Systems*. Springer Nature. Heidelberg. pp. 335-360.
- B.M. Carro; J. Borrego and J. A. Morales. 2018. Estuaries of the Huelva Coast: Odiel and Tinto estuaries (SW Spain). In: Morales, J.A. (Ed). *The Spanish Coastal Systems*. Springer Nature. Heidelberg. pp. 543-564.
- J.A. Morales and E. Garel. 2018. The Guadiana River Delta. In: Morales, J.A. (Ed). *The Spanish Coastal Systems*. Springer Nature. Heidelberg. pp. 565-584.

ANEXO

CONTEXTO GENERAL Y APUNTES DIDÁCTICOS

Nos parece necesario contextualizar la información que se aborda en esta salida de campo con el objetivo de que el alumnado de Educación Secundaria consiga poner en relación lo nuevo y concreto con lo ya aprendido y más general. Por otra parte las salidas al campo pueden tener diferentes objetivos. Uno podría ser que el alumnado adquiera conocimientos naturalísticos de su entorno. Otro, obtener recursos didácticos que nos permitan guiarlo en el progreso de los conocimientos desde lo concreto hacia lo general y de lo local a lo regional o global.

Además de alguna información general, proponemos algunas actividades que esperamos os sean útiles en ese proceso de contextualización e integración de conocimientos generales.

ESCALA DEL TIEMPO GEOLÓGICO

Aunque las observaciones que se realizan en los recorridos se concentran en un tiempo muy corto (últimos 100.000 años) parece interesante incluir una escala que abarque la historia geológica de la depresión del Guadalquivir. De esa manera, la recreación de los paleoambientes encuentra su espacio temporal y permite ir asociando información.

		Serie / Época		Piso / Edad	GSSP	Edad (Ma)		
Eonotema / Eón		Cuaternario	Holoceno	S M I	Megalayense Norgripiense Groenlandiense	actualidad 0.0042 0.0082		
Eratema / Era					Superior	0.0117		
Sistema / Periodo					Medio	0.126		
Neozóico		Pleistoceno			Calabriense	0.781		
Cenozoico					Gelasiense	1.80		
Neógeno		Plioceno			Piacenziense	2.58		
Mesozoico					Zancliense	3.600		
Paleozoico		Mioceno			Messiniense	5.333		
Eoceno					Tortonense	7.246		
Mesoceno					Serravallense	11.63		
Oligoceno					Langhiense	13.82		
Mioceno					Burdigaliense	15.97		
Plioceno					Aquitaniente	20.44		
Pleistoceno						23.03		
Holoceno								

- Ubicar las icnitas en el registro cronoestratigráfico
- Ubicar las reconstrucciones paleogeográficas
- ¿Qué caracteriza el inicio del Periodo Cuaternario

PALEOGEOGRAFÍA DE LA DEPRESIÓN DEL GUADALQUIVIR

La depresión del Guadalquivir forma parte de los saberes geográficos más comunes en la Secundaria, es útil ubicar los nuevos conocimientos en relación con la formación de esta cuenca en cuyo extremo occidental nos situamos



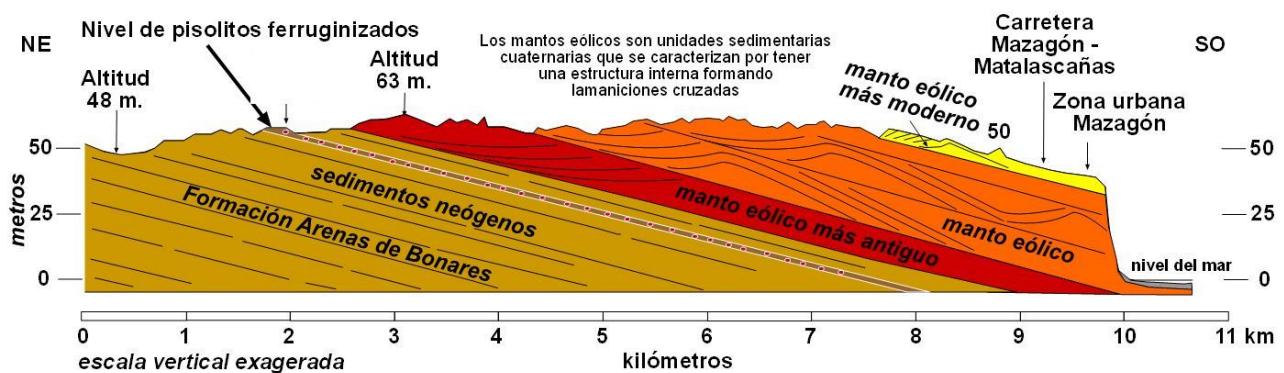
Figura 2. Reconstrucción paleogeográfica idealizada para la Cuenca del Guadalquivir a partir del Neógeno superior. Tortoniense superior (arriba), Messiniense inferior y Plioceno (abajo). Modificado de Esteban et al. (1996).

- ¿Con qué proceso orogénico está relacionada la formación de la Cuenca del Guadalquivir? Podrías indicar qué placas tectónicas están implicadas y qué tipo de límites se presentan?
- Investiga: dónde aparecen en la provincia de Huelva rocas formadas en el Tortoniense, donde se explotan, cómo son y qué paleoambiente revelan. ¿De qué edad son las rocas sobre las que aparecen la huellas de aves, mamíferos y humanas del recorrido de la playa de Matalascañas? ¿En qué se parecen y en qué se diferencian de las de Tortoniense? Compara los ambientes.
- Investiga: Busca un mapa actual de la misma área geográfica de la península ibérica y señala las diferencias. Describe como es hoy el paisaje en el extremo occidental de la cuenca del Guadalquivir y sitúa en el mapa paleogeográfico, aproximadamente, el área de estudio de esta guía.

ESTRATIGRAFÍA DE LA COSTA ORIENTAL

Comparar e interpretar representaciones gráficas es una de las destrezas que el alumnado de secundaria debe desarrollar y cualquier oportunidad es buena. Además nos permite hacernos una mejor idea del territorio que pisamos

La ubicación de este corte no coincide con los puntos en los que visitaremos el afloramiento costero, como se indica en la imagen, se sitúa en un punto más occidental

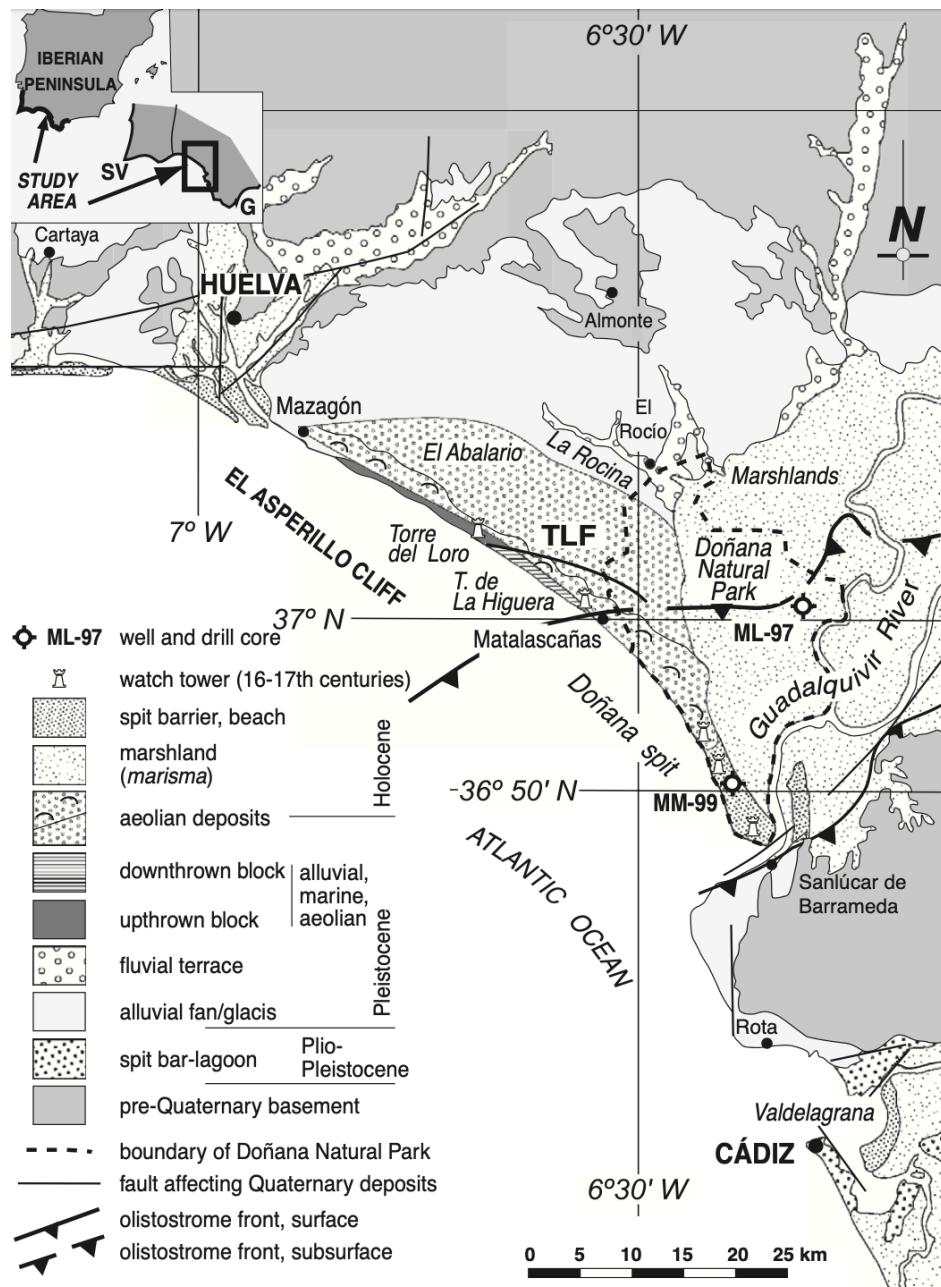


Alonso-Chaves F.M.

- Comparar esta imagen con la Figura 2 de la guía y establecer las correspondencias entre la información que se ofrece en ambas.
- De qué época son los mantos eólicos representados en el perfil.
- En este perfil no aparecen las unidades pleistocénicas que vemos en la playa de Matalascañas o en Cuesta Maneli. Busca posibles explicaciones. La imagen siguiente te suministra información de utilidad para hacer conjeturas.

En la imagen (Zazo et al 2005), **TFL** señala la falla de la Torre del Oro, falla normal que no afecta al holoceno, siendo “downtrown block” el bloque hundido y “upthrown block” el bloque levantado

- ¿Dónde se localizaría en esta imagen el paleoacantilado del Asperillo en cuya base se generó el ambiente que se recrea en la Figura 12 de la Guía de Campo?



LA EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

Si algo se evidencia en este recorrido costero son los cambios en la línea de costa, muy bien documentados en el cuaderno. Queremos aportar aquí una reflexión. El estudio de los cambios del perfil costero en los tiempos recientes, incluso históricos, tiene utilidad didáctica en el tratamiento de los usos sostenibles y responsables del territorio. A lo largo del recorrido se observan diferentes conflictos entre la evolución de la línea de costa y los intereses humanos. Identificarlos y analizar sus causas es una buen ejercicio didáctico que permite aproximar al alumnado a la necesidad de la planificación, del consenso social, del conocimiento del entorno y de la estimación de los riesgos para el bienestar social y el ahorro del dinero público. Todo ello de mucho interés para aproximar las materias de libre configuración a contenidos transversales.

- En la Figura 1 de la Guía de Campo, identifica los sistemas deltaicos y los estuarinos e indica el criterio establecido para distinguirlos. Investiga cuales pueden ser las causas de que se formen uno u otro sistema.



En la imagen, se ve la urbanización de la Antilla e Isla Antilla que se pueden divisar en la parada de la Torre del Catalán (Foto P. Beiras)

- Señala sobre la foto la antigua linea de costa en la base del cabezo sobre el que se encuentra la Torre del Catalán
- ¿Se puede decir que el cabezo es un acantilado muerto o paleocantil? Explícalo
- Haz un esquema para explicar la formación de esa llanura que hoy separa el cabezo del mar
- Traza una linea, desde la base de la fotografía siguiendo el primer frente de dunas en la parte alta de la playa. ¿Qué pasa cuando llegas a las urbanizaciones?
- Investiga: Zonas de la costa en donde hay viviendas en riesgo frente a temporales, actuaciones periódicas de regeneración de playas, reclamaciones vecinales por pérdida de playa, etc.

EL CLIMA DE LA TIERRA: PERIODOS GLACIALES E INTERGLACIALES.

En la actual situación de alarma social frente a los cambios del clima y el calentamiento global, el tratamiento de los cambios climáticos en el planeta proporciona un contexto en el que reflexionar sobre esa cuestión trasladándola del terreno de las creencias al terreno de la ciencia. Por otra parte, aproximarse a cómo seguir la pista de los cambios ambientales (no obligatoriamente relacionados con cambios climáticos globales) en el registro estratigráfico es una buena manera de iniciarse en los métodos de estudio de la historia de la Tierra.

- Investiga: ¿ La Tierra ha tenido siempre casquetes glaciares? Qué es una glaciación? ¿Cuántas glaciaciones se supone que han ocurrido en la historia de la tierra? ¿Cuándo empezó la última glaciación?
- “La evolución dinámica de la secuencia eólica del Asperillo y El Abalario está en relación con las fluctuaciones climáticas acontecidas en los últimos cientos de miles de años....” (Pág. 6 de la Guía de Campo)) Investiga cuales han sido esas fluctuaciones climáticas y su relación con cambios en el nivel del mar.
- En el acantilado del Asperillo encontramos niveles de turba. Investiga dónde existen en la actualidad zonas de turberas en la costa de Huelva. Describe en qué ambiente se encuentran.
- ¿Que es un paleosuelo? ¿Qué cambios ambientales indican los paleosuelos ferruginosos que separan las secuencias eólicas?

LOS TRES VERANOS PERDIDOS Y EL COMETA-DIOS

Los anillos de los pinos californianos (que alcanzan edades de 5.000 años) indican que los árboles sufrieron daños por heladas en algún verano alrededor del año 42 a.C. Ese mismo año, el historiador romano Plutarco registra que «durante todo el año anterior el disco del Sol se mostró pálido y sin radiación.»

Los romanos no relacionaron el extraño aspecto del Sol con las erupciones que esos años tenían lugar en el Etna, en la relativamente lejana Sicilia; por el contrario, atribuyeron la anomalía a la cólera de los dioses ante el asesinato de César, sucedido el 15 de marzo del 44 a.C. Sin embargo, la relación entre erupciones y clima existió, y ha podido precisarse a través de sondeos realizados en el casquete polar de Groenlandia. Tres niveles anuales de hielo depositados aproximadamente en 50 a.C. contienen una cierta cantidad de ácido sulfúrico, que debe provenir de precipitaciones contaminadas por dióxido de azufre, gas frecuente en las nubes volcánicas.

La correlación definitiva entre las erupciones y las anomalías climáticas llegó a través de registros históricos de la dinastía Han, reinante entonces en China. Los registros, tallados en bambú, afirman que las cosechas de tres años consecutivos se perdieron, y que en mayo del año 43 «el sol era azul pálido y no arrojaba sombras». En octubre se había recobrado, pero en la primavera siguiente «el sol, la luna y las estrellas aparecieron velados e indistintos». Así pues, dos de los años anómalos fueron el 43 y el 42 a.C. El tercero se detectó por medio de un fenómeno bien distinto: un cometa, registrado por los romanos, chinos y coreanos en el verano de 44 a.C., mostraba color rojo, signo probable de la existencia de polvo volcánico en la estratosfera, ya que el fenómeno fue universal. Los registros chinos, más precisos, permiten situar la aparición del cometa entre mayo y junio del año 44. Como escribió el romano Dio Cassius «la mayoría... cree que César se ha convertido en un nuevo dios.»

Este texto de Francisco Anguita en su “Origen e Historia de la Tierra” (Ed. Rueda 1988) nos lleva a considerar un fenómeno de cambio climático de dimensiones muy diferentes a las glaciaciones. Con él queremos dejar abierta la conjetura sobre cuales pueden ser las dimensiones del impacto que la humanidad, especie *Homo sapiens* única superviviente de las diferentes que han existido, puede ejercer sobre el cambio climático planetario y sobre su futuro.