

# Análisis geomorfológico de la desembocadura del Guadalquivir. Posibles influencias del cambio climático

Federico Arévalo-Rodríguez <sup>1</sup> | Carmen Escoda Pastor <sup>2</sup> | Federico Arévalo-Alonso <sup>3</sup> | Antonio Amado Lorenzo <sup>4</sup>

Recibido: 25-05-2024 | Versión final: 20-11-2024

## Resumen

A través de un enfoque multidisciplinar, la investigación propone un análisis de los posibles efectos que podrían producirse por el aumento del nivel del mar a consecuencia del cambio climático. Se elige para ello una localización que se ha modificado de manera extrema en los últimos 2.500 años: la desembocadura del Guadalquivir, en el sur de España. Se estudian los motivos que producen cambios en el nivel del mar y su relación con el factor humano. Desde un punto de vista metodológico, se parte del análisis de los trabajos previos que tratan cuestiones relativas a las modificaciones del nivel mar y, más específicamente, la transformación de la desembocadura del Guadalquivir desde una gran bahía en época tartesia (s. IV a VI a.C.) al denominado Lago Ligustino de época romana, hasta su situación actual de marisma. Los datos obtenidos, junto con los referentes escritos sobre la ciudad de Tarteso, se relacionan con la evolución del litoral en Sanlúcar de Barrameda, dibujando para ello la desembocadura en los últimos tres siglos. Esto permite encontrar las causas antrópicas que han producido una gran transformación en su litoral. Se concluyen las consecuencias que pudiera tener un ascenso del mar, tanto en la marisma, que con su inundación recuperaría la forma del Lago Ligustino, como en Sanlúcar de Barrameda.

**Palabras clave:** Guadalquivir; cambio climático; Lago Ligustino; Tarteso

## Citación

Arévalo-Rodríguez, F., Escoda, C., Arévalo-Alonso, F., & Amado A. (2025). Análisis geomorfológico de la desembocadura del Guadalquivir. Posibles influencias del cambio climático. *ACE: Architecture, City and Environment*, 19(57), 13348. <https://doi.org/10.5821/ace.19.57.13348>

# Geomorphological Analysis of the Guadalquivir Estuary. Possible Influences of Climate Change

## Abstract

Using a multidisciplinary approach, this study analyses the possible consequences of rising sea levels as a result of climate change. The chosen location is one that has undergone major transformations in the last 2.500 years: the Guadalquivir estuary, in the south of Spain. This article examines the causes of changes in sea level and their relationship with the human factor. From a methodological point of view, we begin by analysing the findings of earlier studies on issues related to changes in sea level and, more specifically, the transformation of the Guadalquivir estuary from a large bay in the Tartessian period (fourth-sixth century BCE) to the so-called Lacus Ligustinus of Roman times, and from that lake to its current status as a marsh. The data obtained, together with the written references about the city of Tartessus, are related to the evolution of the coastline in Sanlúcar de Barrameda, enabling us to form a picture of the estuary in the last three centuries and identify the anthropogenic causes that have transformed the coastline. Lastly, we draw conclusions about the consequences that a rise in sea level could have on the marsh, which would be flooded and revert to the shape of Lacus Ligustinus, and on Sanlúcar de Barrameda.

**Keywords:** Guadalquivir; climate change; Ligustino Lake; Tartessus

<sup>1</sup> Doctor, arquitecto, ETSAS, Universidad de Sevilla (ORCID: [0000-0002-4703-6129](https://orcid.org/0000-0002-4703-6129), Scopus Author ID: [57218993123](https://orcid.org/57218993123)),

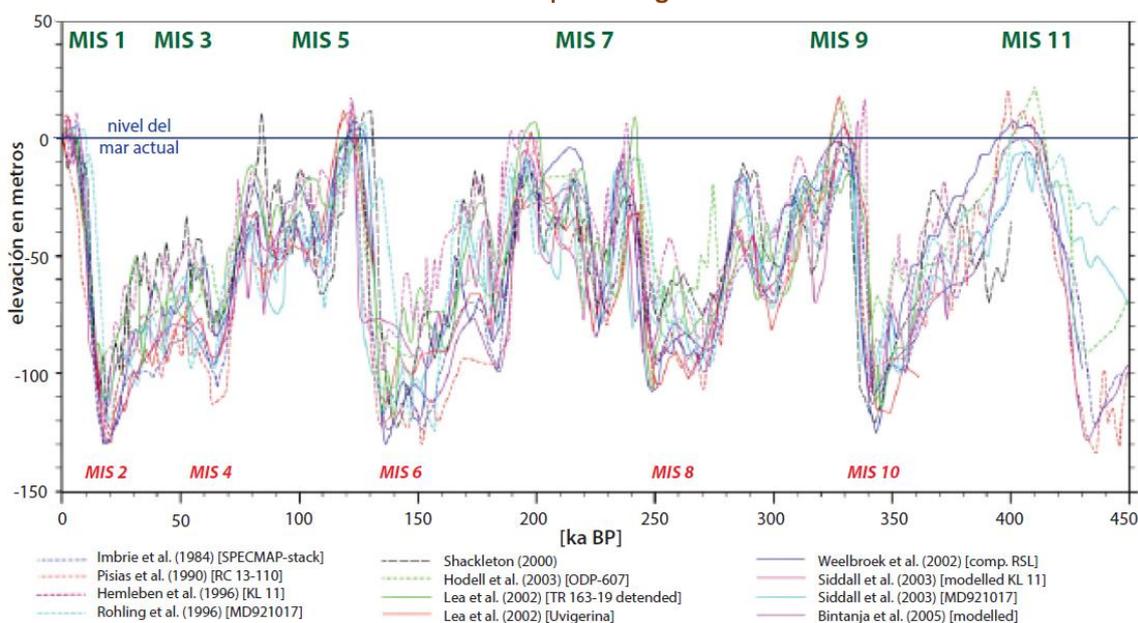
<sup>2</sup> Doctora, arquitecta, ETSAB, Universitat Politècnica de Catalunya (ORCID: [0000-0003-4438-1813](https://orcid.org/0000-0003-4438-1813)), <sup>3</sup> Arquitecto, Universidad de Sevilla (ORCID: [0009-0004-5838-5553](https://orcid.org/0009-0004-5838-5553)), <sup>4</sup> Doctor, arquitecto, ETSAC, Universidade da Coruña (ORCID: [0000-0002-4208-4463](https://orcid.org/0000-0002-4208-4463)). Correo de contacto: [farevalo@us.es](mailto:farevalo@us.es)

## 1. Introducción

### 1.1 Modificaciones en el nivel del mar

El nivel del mar actual, al que se le llama “nivel cero”, es tan sólo una situación circunstancial, algo así como un fotograma que se aísla dentro de un largometraje. Hace 125.000 años, el nivel del mar se encontraba entre 6 y 9 m por encima de la cota actual, con una temperatura de tan solo un grado por encima de la actual (Dutton et al, 2015). Por el contrario, hace 21.000 años, el nivel del mar se situó 120 metros por debajo de la cota actual, empezando a subir de manera continuada hasta situaciones más o menos similares a la actual (Transgresión Flandriense). Esta subida del nivel del mar parece que quedó estancada hace unos 6.000 años, modificándose la altura de los océanos fundamentalmente por corrientes superficiales. Los investigadores indican que en ese momento se llegó a la fase “highstand” (alto nivel del mar) en el que en la actualidad nos encontramos (Zazo, 2006). Esta variabilidad ha sido expresada gráficamente en tablas por algunos investigadores (Figura 1), en las que se expresa el tiempo en miles de años.

Figura 1. Evolución del nivel del mar en los últimos 450.000 años, en el que se expresan como “MIS x” los últimos periodos glaciales



Fuente: Dabrio y Polo 2015, (p. 175).

A partir de diversos datos (estratigrafía, arqueología, biología, geología...) asociados a los aportados por los mareógrafos, el nivel medio global del mar supuso un ascenso de aproximadamente de 1 a 1,2 mm/año en el ciclo 1850-1930. Después de esa fecha y hasta mitad de la década de los sesenta, esa tendencia parece que se detuvo (Pirazzoli, 1989; Mörner, 2000). Es a partir de los noventa cuando el uso de los satélites permitió medidas más exactas y globales (Zazo, 2006). Actualmente existen organizaciones dedicadas al estudio de la altimetría del mar, que facilitan el acceso a datos climáticos: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Aeronautic and Space Administration Jet Propulsion Laboratory (NASA/JPL), European Space Agency (ESA), European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT), y el Centre Nationale d'Études Spatiales (CNES).

Dentro de la ESA existe un programa basado en el estudio satelital y dedicada al cambio climático (CCI-ESA), la cual ha estimado, teniendo en cuenta los cambios orbitales, el rango de la altimetría y algunas correcciones geofísicas unidos a datos mareógrafos, que el nivel medido del mar aumenta 3.25 mm/año (con un error de 5 mm en predicciones a largo plazo).

Por otro lado, varias investigaciones se refieren a un claro incremento en el último siglo (Kopp et al., 2016) relacionado fundamentalmente con el calentamiento global, que cuenta con aceleraciones según diferentes periodos, pero que permiten concluir en una tendencia global en los últimos 20 años de aproximadamente 3.2 mm al año (Watson et al., 2015; Hay et al., 2015). En nuestro ámbito, se ha indicado recientemente después del análisis de series temporales, que el nivel del mar en la costa española ascendió a 1,6 mm al año de media desde 1948 a 2019, mientras que, desde este año en adelante, dicho ascenso ha aumentado hasta 2,8 mm al año, que es casi el doble (Vargas-Yáñez et al., 2023).

Según estas previsiones, el nivel del mar ascendería tan sólo unos 32 cm en un siglo. Este dato, que puede no ser alarmante para el gran público, se llegaría a multiplicar de manera exponencial por factores imprevisibles en estos momentos debido a la influencia del cambio climático, que no sólo afecta a la temperatura del planeta, sino a otros factores que se analizan a continuación y que pueden interactuar entre ellos aumentando de manera extrema los efectos.

## 1.2 Causas para las modificaciones en el nivel del mar

Existen importantes estudios monotemáticos (Frederikse et al., 2020) sobre las causas que pueden producir alteraciones en el nivel del mar en el mundo. Sin embargo, fuera de dichas investigaciones, la opinión pública y la información generalista aporta datos contradictorios y poco concluyentes. Mientras que algunas fuentes indican como causa casi única el efecto antrópico, especialmente el calentamiento por efecto invernadero por el ascenso continuado del CO<sub>2</sub>, los denominados negacionistas indican que estos cambios se han producido de manera cíclica a lo largo de la historia y que este momento no es sino parte de uno de los cambios naturales. De hecho, los sondeos de hielo de los últimos 400 ka han mostrado que, en los periodos entre glaciaciones, el ascenso de la temperatura precedió al ascenso de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> y estos se adelantaron a la subida del nivel del mar (Raynaud et al., 2005). Además, entre un período glacial y un interglaciar existieron cambios climáticos muy abruptos en un periodo de tiempo muy corto, prácticamente de unos decenios, no tanto debido a cambios de insolación por cambios orbitales, sino a otras situaciones atmosféricas y oceánicas que interactúan entre sí, generando una serie de mecanismos de retroalimentación en la que una ligera modificación de los parámetros puede dar lugar a un cambio global muy rápido (Zazo, 2006).

También está muy extendida la idea de que el aumento del nivel del mar está influenciado fundamentalmente por el deshielo de los casquetes esféricos, sin considerar que ello es cierto en el caso de la Antártida y Groenlandia, pero no en el polo Norte, donde tan sólo existe hielo flotando sobre el mar. Si este se derritiera, no aumentaría el volumen de los océanos. Ahora bien, el deshielo completo de la Antártida, con alturas de hielo superiores en algunos puntos a los 3.000 metros, supondría un aumento de entre 60 y 70 metros en el nivel del mar. No se considera habitualmente algo que está científicamente probado: el aumento de la temperatura sí incrementa una expansión del volumen del agua. Es el denominado efecto estérico, que no implica modificación en la masa de agua (Zazo 2006).

El término *Eustasia* se ha usado desde mediados del siglo pasado para aludir a los cambios del nivel del mar. Mörner (2010) propuso cinco factores que afectan a las modificaciones del nivel de los océanos:

- Creación o desaparición de grandes masas de hielo (Glacioeustasia). Genera cambios lentos (en torno a 10 mm al año).
- Movimientos tectónicos (Tectonoeustasia),
- Modificaciones en el relieve del Geoide (Eustasia geoidal),
- Cambios en la “topografía” del mar debido a corrientes oceánicas superficiales, como sucede con la corriente del Golfo (hasta 5 m de diferencia) o con el Niño. Este fenómeno puede producir cambios a una gran velocidad: hasta los 100 mm al año.

- Cambios decadales de la rotación de la Tierra (Eustasia Rotacional) que puede subidas y bajadas del nivel del mar hasta en un metro. También puede producir rápidas modificaciones en el nivel del mar, que algunos autores proponen en hasta 30 mm al año.

A partir del análisis de la información obtenida de los satélites, que aportan datos altimétricos de los océanos, está suficientemente demostrado que no existe un “nivel del mar global” y que la altura relativa del mar no se modifica exclusivamente por el aumento de la temperatura. Dichos datos evidencian que las fluctuaciones del nivel del mar son muy variables de unos puntos a otros del planeta. Los investigadores han concluido en la mayoría de los casos que las modificaciones del nivel de mar se deben analizar desde una escala local y regional, por lo que son muy criticables las previsiones a nivel mundial y las proyecciones a un largo periodo de tiempo. Dichas previsiones son muy engañosas, sobre todo si se tienen en cuenta los factores que afectan a la dinámica de las costas a escala local (Zazo, 2006).

## 2. Geomorfología de la desembocadura del Guadalquivir con motivo de las variaciones en el nivel del mar

### 2.1 Niveles del mar en la zona de estudio

Las desembocaduras de los ríos con sistemas de flechas litorales, como sucede en el sur de Portugal y en la provincia de Huelva, incluyendo la desembocadura del Guadalquivir, constituyen el sistema más adecuado para el estudio de las modificaciones del nivel del mar. Precisamente, algunos de los ejemplos más estudiados en la península ibérica han sido la costa de Huelva (Zazo et al., 1994; Rodríguez et al., 1996; Rodríguez, 1996). En estos casos las flechas están formadas por crestas de dunas que se separan por surcos. Ello permite que se pueda estudiar la posición relativa del mar a través del análisis cartográfico y de los sedimentos, así como por las dataciones de radiocarbono combinados con datos históricos y arqueológicos.

A partir de dichos estudios, se ha podido concretar que, en la zona de estudio de esta investigación, la evolución de la línea de costa desde hace 5.000 años consiste en una “serie de fases progradantes (H) interrumpidas por períodos de corta duración (300-600 años) que se producen con una ciclicidad milenial (1400 a 3000 años), caracterizados por un nivel relativo del mar bajo” (Zazo, 2006, pág 123). También existen ciclos más reducidos de tan sólo 53 a 58 años, aunque son los periodos de 500 los que coinciden con las fases de una mayor actividad de erosión en las costas.

Muchas de las formas actuales litorales se formarían a partir del final del último periodo glaciario, fechado en torno al 8000 antes de nuestra era, de tal manera que en el 5500 a.C. el nivel del mar se encontraba a un máximo transgresivo dos metros por encima de la cota actual (Zazo, 1989, pág. 117). En estudios sobre las fluctuaciones del nivel del mar (Somoza et al., 1992), queda patente que en los últimos 7.000 años pueden apreciarse tres ciclos que se van alternando de manera continuada y que son coincidentes con estudios relacionados con el radiocarbono (Zazo et al., 1987). De todo ello se deduce que la desembocadura del Guadalquivir fuese en ese tiempo un gran golfo marino con una amplia embocadura oceánica, sin que en esos momentos existiese aún la barra arenosa de Doñana.

Diversos autores (Borja, 1995 y Rodríguez-Vidal, 1987), algunos de ellos basados en los datos de Mélières (1974), indican que el nivel del mar se eleva, alcanzando cotas aproximadas de +3,0 metros respecto al actual, que se daría en torno al 4500-3100 a.C. (Goy et al., 1986), lo que propició la aparición de islas-barrera con cierre de estuarios y su consiguiente colmatación (Rodríguez-Vidal, 1987; 2008). Esta situación quedaría estabilizada, con subidas lentas y oscilantes (Menanteau, 1991), con un descenso contrastado en torno al 3000 a.C., momento en el cual empieza a formarse la flecha litoral de Doñana (Zazo, 1989). Posteriormente, en torno al 1500 a.C., se produjo un nuevo ascenso del nivel del mar, subiendo de nuevo a la cota + 2 metros (Flor, 1990). Entre los años 1000 y 700 a.C., coincidente con un periodo de escasa actividad solar (“mínimo homérico”), se produjo la mayor disminución del nivel del mar de los últimos cuatro mil años (Guy 1975).

En el siglo VIII a.C, el nivel del mar descendió hasta la cota -2.70 m. con respecto al nivel del mar actual, dato que coincide con lo aportado por Caro Bellido (1995). Es en este momento cuando se desarrolla la cultura tartesia, que como se verá más adelante en los textos de época romana, instala su ciudad principal en unas islas en la desembocadura de un río, las cuales podrían haber desaparecido por la posterior subida del nivel del mar.

En el 600 a.C se produce un cambio radical, pues se produce una rápida deposición de materiales (Barral 2004; Borja y Barral, 2005; Ruiz et al, 2002) motivado por un ascenso del mar entre uno y dos metros (Guy, 1975 y Paskoff, 1987) por encima del mar actual durante el denominado “mínimo griego” (440-360 a.C), que se mantuvo hasta el 200 a.C (Dabrio et al., 1995). Este proceso, que ha sido expresado gráficamente por Fairbridge (1989), terminando en un ciclo opuesto, el “Máximo romano” (20 a.c. -80 d.C.). Es decir, en un relativo corto espacio temporal, tomando los valores máximos reseñados, el mar llegó a subir desde la cota -3 a la +2, lo que significa un ascenso de cinco metros. De nuevo el mar vuelve a entrar en el interior de la desembocadura del Guadalquivir y según Caro Bellido, “los islotes emplazados en el interior de la ensenada, en los micro-relieves, debieron ser abandonados” (Caro, 1995, p. 341).

La mutabilidad de los niveles del mar y de su afición a las poblaciones ribereñas antes de nuestra era en la desembocadura del Guadalquivir, se aprecia por la existencia de yacimientos del segundo milenio a.C que actualmente están enterrados por aluviones de las marismas de Rajaldbas (Borja, 1995), así como por la necrópolis romana de Chipiona, situada actualmente por debajo del nivel de la pleamar (Menanteau, 1980).

Tabla 1. **Modificaciones del nivel del mar en la zona de estudio**

	4500-3000 aC	3000-1500 aC	1500-1000 aC “mínimo homérico”	1000-700 a.C. Inicio cultura tartésica	600-200 aC “mínimo griego”	50aC-100dC “máximo romano”
Nivel del mar	+3.00	Bajada	+2.00	-3.00	+1 a 2 m	Bajada

Fuente: Autores.

## 2.2 *Modificación de la desembocadura*

La actual desembocadura del Guadalquivir se produce entre la flecha situada al sur del Coto de Doñana y la localidad gaditana de Sanlúcar de Barrameda (figura 2). Hasta llegar a dicha flecha arenosa formada por trenes de dunas, el río discurre por una marisma, una extensión plana que permite aún que las mareas lleguen hasta Sevilla, situada a casi 70 km de distancia por navegación fluvial. Por tanto, el desnivel entre dicha ciudad y el mar es muy escaso, por lo que un ascenso del nivel del mar afectaría de manera sensible a dicha ciudad. De hecho, la conexión entre el Guadalquivir y la dársena interior situada en Sevilla se realiza a través de una esclusa, igualándose la cota de la dársena y del río en las pleamares.

En una costa eminentemente sedimentaria, con ambientes en los que predominan las playas arenosas, las dunas eólicas y los estuarios, la actual morfología de la desembocadura del Guadalquivir es el resultado de una modificación del territorio relativamente reciente, con procesos tipificados de regresiones y transgresiones (Flor, 1990). El primero de los procesos (Rodríguez et al, 1996) se caracteriza por el inicio de la formación de la flecha de Doñana, que pudo empezar hace unos 6.500 años (Lario et al., 2002), representado en la Figura 3-A. Según lo visto anteriormente, el nivel del mar estaría en ese momento unos dos metros por encima de la cota actual y la desembocadura del Guadalquivir sería una extensa bahía desde Sanlúcar hasta, aproximadamente la torre almenara conocida como Torre de la Higuera (unos 25 km de distancia).

En la segunda fase (Figura 3-B), que se puede datar entre el 2.200 a.C. y el 600 a.C., coincidiendo por tanto con la cultura tartesia, aparecen varios fenómenos, como un mayor dominio fluvial por la disminución del nivel del mar, pero destaca fundamentalmente la aparición de una flecha en la actual Algaida, que debido a un ascenso del mar en unos dos metros entre el 600 y el 300 a.C., terminó convirtiéndose en isla con forma ovalada (Figura 3-C).

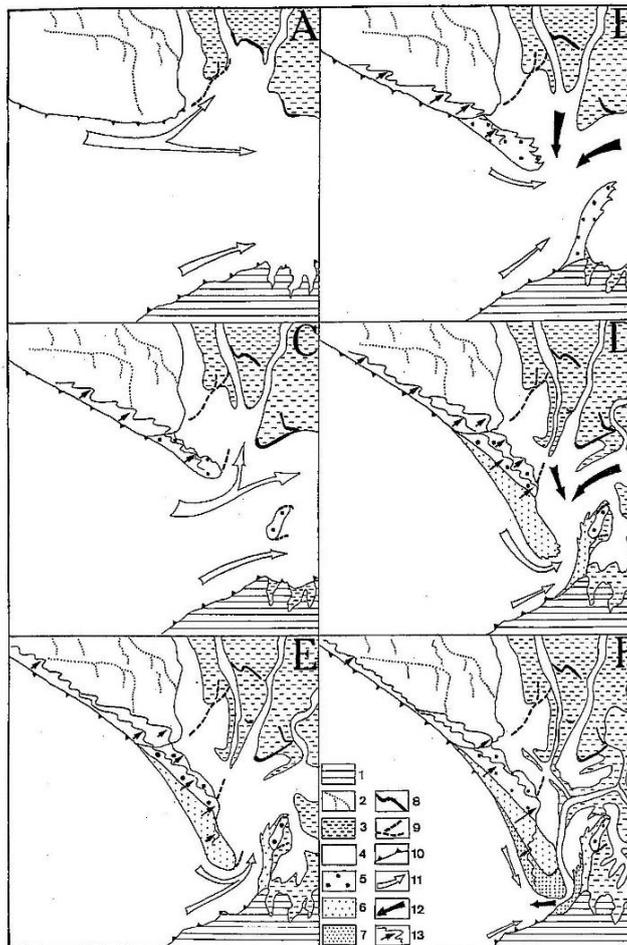
Actualmente puede apreciarse esa configuración de isla en las épocas de lluvias torrenciales, en las que la actual marisma queda prácticamente inundada (Figura 4).

Figura. 2. Izquierda: Fotografía aérea de la marisma y la desembocadura del Guadalquivir, en la que se incluye la ciudad de Sevilla. Derecha: Estado actual de la desembocadura con indicación de los puntos más importantes para esta investigación



Fuente: (Izquierda) GOOGLE EARTH, (Derecha) Dibujo de los autores.

Figura 3. Evolución morfológica del Coto de Doñana



Fuente: Rodríguez Ramírez et al 1996 (p. 1087).

La flecha de Doñana siguió aumentando y, en tan sólo unos tres o cuatro siglos, la bahía terminó convirtiéndose en el lago Ligustino que apreciaron los romanos al llegar a esta zona, es decir, un mar interior conectado con el océano, en la que pudieron existir islas barreras coincidentes con los bajos actuales entre Doñana y Sanlúcar de Barrameda. Dicha configuración se muestra en la figura 3-C y se mostrará de una manera más amplia en un apartado posterior de esta investigación.

**Figura. 4. Fotografía aérea del cauce del Guadalquivir en época lluviosa. Parte de Doñana está inundada y en la otra orilla destaca, emergente, se encuentra el Pinar de la Algaida**



Fuente: Fotografía realizada desde paramotor por Juan de Dios Carrera y encargada por los autores.

En ningún estudio previo se ha considerado la posibilidad de que hubiesen existido más islas-barrera (Díaz, 1989) además de la Algaida y de la flecha litoral. Sin embargo, esta investigación desarrolla un estudio basado en el análisis de la documentación gráfica siguiendo la metodología de otros trabajos (Arévalo, 2011 y 2012; Alonso et al., 2010) y le permite proponer que en época tartesia pudieron existir más islas de las que han sido tenidas en cuenta hasta ahora por los investigadores de Tarteso, que estarían situadas en los bajos existentes en la desembocadura. Tan sólo Caro Bellido se refiere a la “existencia de una zona poco profunda en la entrada de la bahía, o sea, de un bajo fondo, en nuestro caso de naturaleza rocosa, que sirvió para disminuir la velocidad de la corriente y de las olas, provocando la sedimentación de guijarros y arenas” (Caro, 1989, pág. 87). Analizando los fondos actuales de las cartas marinas de la zona, podemos encontrar dos barras rocosas, famosas en la época del Comercio de Indias (Arévalo, 2011), pues de su conocimiento dependía el éxito o el fracaso de la navegación de los barcos procedentes de América (Figura 2b). Dichos fondos rocosos, conocidos como Juan Pul y Bajo Picacho, situados actualmente prácticamente a ras de las grandes bajamares, podría haber sido la base de islas deltaicas donde tomarían sentido muchas de las narraciones sobre la ubicación de la capital tartesia.

### 3. Evolución de la desembocadura del Guadalquivir: golfo tartésico, lago Ligustino y marisma

#### 3.1 *Los problemas de la arqueología “presentista”*

En el estudio de la arqueología a partir de antiguas fuentes escritas ha existido en algunas ocasiones un grave error de concepto. Se trata del denominado “presentismo”, defendido de manera innata por muchos investigadores, que pretenden encontrar en la geografía actual, los restos descritos en textos literarios antiguos. Frente a esa actitud, la evolución del litoral (Clemente y Ménanteau, 1975) y la paleogeografía han demostrado la consustancial mutabilidad de la interfase tierra-mar (Borja, 1995). Es por ello por lo que han surgido numerosas críticas a décadas de exégesis de los textos antiguos (Arteaga et al., 1995). Sin embargo, estos se corresponden con un pasado lo suficiente lejano como para que, en determinadas ocasiones, el territorio haya evolucionado hasta una realidad física diametralmente opuesta a la descrita en los textos.

Esta situación es especialmente importante en la desembocadura del Guadalquivir, donde tal y como se ha expresado, en tan sólo 2.500 años, el territorio ha evolucionado desde un gran golfo en época tartesia (siglos V-VI a.C.), hasta la situación actual, en la que el Guadalquivir serpentea por un paisaje marismoso hasta su desembocadura. En ese tránsito, en época romana, quedó encerrado un gran espacio marítimo, conocido como Lago Ligustino, motivado por el aumento de la barra litoral del actual Coto de Doñana, la cual fue aumentando hasta dejar al río una salida similar a la existente en la actualidad.

La transformación de la desembocadura del Guadalquivir desde el *sinus Tartessus* (golfo tartésico) del siglo VI a.C. que recoge Avieno en su *Ora Marítima*, al *Ligustinus lacus* del siglo IV d.C. como se le llamaba ya en época de este poeta. Los estuarios de los ríos son puntos especialmente sensibles a los cambios físicos, de tal manera que en su transformación no sólo interviene el caudal de la desembocadura, sino que confluyen fenómenos como las olas, las mareas, los vientos, las corrientes marinas externas, los aportes fluviales e, incluso, aspectos que normalmente se desprecian por sus largos periodos de intervención (Dabrio et al., 1996): los cambios climáticos y de altura del nivel del mar.

### 3.2 Análisis de los textos clásicos. La Ora Marítima de Avieno

Tarteso es la denominación con la que para los griegos conocían a la que identificaron como primera civilización de Occidente. Era heredera del Bronce final atlántico y progresó por el comercio con la cultura fenicia. Su desarrollo se produjo entre los siglos IX al V a.C. en las actuales provincias de Huelva, Cádiz y Sevilla, así como posteriormente en la provincia de Badajoz. Uno de los textos clásicos que más se han analizado en la búsqueda de la ciudad de Tarteso es la *Ora Marítima* de Rufo Festo Avieno. Se trata realmente de un periplo escrito por en el siglo IV d.C., que narra con gran detalle la geografía de época tartésica (en torno a los siglos VI al IV a.C.), basado posiblemente en un documento de un navegante de Marsella del siglo V a.C. La descripción se basa en la navegación desde el río Gadiana hasta el Guadalquivir (Schulten, 1924), identificándose parajes como La Rábida o el estuario del río Tinto (Gavala, 1992). De la descripción de Avieno se entiende que en la desembocadura del río Tarteso existía una ciudad del mismo nombre asentada en una isla deltaica, situada en una extensa bahía denominada como *Tartessii Sinus*.

Por tanto, se trata de un escrito que describe una situación geográfica que ya no existía en el momento en el que Avieno escribe la obra (siglo IV d.C), sino que hace referencia a un territorio que había desaparecido con casi mil años de antelación. De hecho, cuando se escribe la *Ora Marítima*, ya no existía esa gran bahía tartésica, sino un gran estuario que se encerraba en una desembocadura similar a la actual y que daba lugar al Lago Ligustino de época romana. Actualmente, no quedan límites exactos de la superficie ocupada por ese espacio lacustre. No obstante, su legado físico sigue existiendo, no solo en el espacio de marisma al que ha dado lugar, una inmensa planicie por la que discurre el río, sino por la aparición, cada ciclo de grandes lluvias, de una gran extensión de tierra inundada, que prácticamente se confunde con el cauce del río (Figura 4).

Aunque el estudio de las fuentes escritas para localizar restos de antiguas culturas, que diversos investigadores han denominado como “topografía filológica” (Olmos, 1988) o “arqueología filológica”, ha sido ampliamente criticado por los historiadores y arqueólogos, no podemos dejar sin tratar algunas citas importantes que pueden recobrar un nuevo sentido a la luz de lo investigado en este trabajo. Los textos clásicos que tratan sobre Tarteso aportan una gran cantidad de datos contradictorios, fundamentalmente porque la mayoría de ellos están escritos después de la desaparición de esa cultura, pues las fuentes literarias muestran una realidad cambiante, tanto por el contacto entre culturas, como por los cambios geográficos descritos.

Avieno no parece conocer lo que está describiendo, pero lo importante es que ese autor del que se obtuvo la información sí estuvo realmente en Tarteso, tal y como demuestra por los detalles que aporta sobre la ciudad (González, 2004). El interés de este texto consiste en que es el último testimonio sobre Tarteso, que en palabras de Schulten (1924), sería el *terminus pos quem* para datar su desaparición.

Uno de los errores más comunes al interpretar la *Ora Maritima* de Avieno consiste en que los investigadores de Tarteso no tienen en cuenta el “presentismo” equivocado de éste, pues el poema describe que los tartesios se localizan en una bahía conocida como Sinus Tartessus, una realidad física existente en el siglo VI a.C., mientras que el término *Ligustino lacus* se refiere realmente al paisaje de la desembocadura del Guadalquivir mil años después, siglo IV d.C. De esta manera, la *Ora Maritima* resulta una trampa que ha sido debidamente enjuiciada por autores como Caro Bellido (1995), que interpretan un texto que relata un paisaje que ya no existe.

El valor de la *Ora Maritima* en la búsqueda de una localización de Tarteso ha sido enjuiciado por algunos investigadores y es posible encontrar defensores a ultranza de las tesis de Schulten, como sucede con autores extranjeros como Murphy (1977), aunque actualmente son más numerosos los que propugnan la falta de exactitud en sus referencias. El texto comete errores en la descripción de sus tierras y combina noticias sobre la antigua existencia de una ciudad denominada Tarteso en la desembocadura del río del mismo nombre, así como la identificación de Gades y Tarteso.

### 3.3 Navegando según la descripción de la *Ora Marítima*. Tantas hipótesis como investigadores

A pesar de todo lo indicado, debemos “navegar” según la *Ora Maritima* por la geografía que se dibuja en esta investigación, pudiendo contrastar la descrita por el autor con el territorio existente. De la descripción de Avieno se entiende que en la desembocadura del río Tarteso existía una ciudad del mismo nombre asentada en una isla deltaica situada en una extensa bahía marina denominada como *Tartessii Sinus*, es decir, Golfo Tartésico. En el texto se menciona la existencia de al menos tres islas, que podrían confundirse entre ellas. En los versos 255 a 259, la *Ora Maritima* se refiere a la primera de esas islas (Isla Cartare), que ha tenido múltiples identificaciones entre los estudiosos del tema, así como al Mons Cassius, que Schulten identifica con las Arenas Gordas, en el denominado Cerro del Asperillo en el Coto de Doñana, que consiste en una elevación dunar de 113 metros de altura situada entre Mazagón y Matalascañas que posteriormente fue estudiada por Gavala, (1992) y Borja (1995). Tras este lugar, Schulten entiende que el autor de el Periplo deja sin nombrar la desembocadura occidental del Guadalquivir, la que él sitúa dentro del actual Coto de Doñana.

La otra isla descrita en la *Ora Maritima* está situada cercana al *Tartesium fretum* y estaba consagrada a Iuno. Debe coincidir según los estudios consultados con la actual Algaida, que en la antigüedad era un conjunto de islas separadas por canales (Menanteau, 1991), siendo uno de ellos el lugar donde actualmente se sitúa la colonia de mismo nombre y por el que sería posible la navegación hasta el puerto de Eborá, actualmente lejos del cauce del río y donde se encuentra el cortijo de mismo nombre, siendo este un lugar conocido por la aparición de un tesoro en 1958.

Uno de los pasajes más relevantes de la *Ora Marítima* es aquel en el que describe la ciudad de Tarteso entre dos brazos de río: “El río Tarteso, sin embargo, deslizándose por campos abiertos desde el lago Ligustino, ciñe la isla por ambos lados con su corriente. Y no corre por un solo lecho, ni surca el solo la tierra subyacente, pues, por el lado por donde nace la luz de la aurora, proyecta tres brazos sobre los campos; dos veces, con dos desembocaduras, baña también las zonas meridionales de la ciudad” (Villalba, 1994, pág. 96).

Avieno describe los brazos del río e indica que éste sale del *Lacus Ligustinus* y rodea la Isla Cartare por todas partes. Dice igualmente que al salir del lago tiene tres brazos y luego por cuatro brazos baña la parte sur de la ciudad (v 283-290). Esta descripción aparece dibujada en el libro de Schulten y descrita de la siguiente forma: “Tartesos estaba situada en la isla de terreno aluvial, en la orilla occidental de la desembocadura oriental, esto es, en el borde sur de la isla. Schulten deduce que “la posición de Tartessos era a orillas del brazo oriental y lejos del lago ligur, esto es, en la proximidad de la costa” (Schulten, 1924, p. 187). Aunque Pomponio Mela, nacido en el siglo I en la algecireña Tingentera, debió conocer con toda seguridad la desembocadura del Guadalquivir, identifica Tarteso con Carteia, yacimiento arqueológico situado en la localidad gaditana de San Roque.

A pesar de todo, nos interesa su descripción del Betis, pues indica que el río vierte sus aguas en un gran lago (*lacus licustinus*) y sale de él por dos brazos. Eso quiere decir que en cinco siglos había desaparecido ya uno de sus brazos.

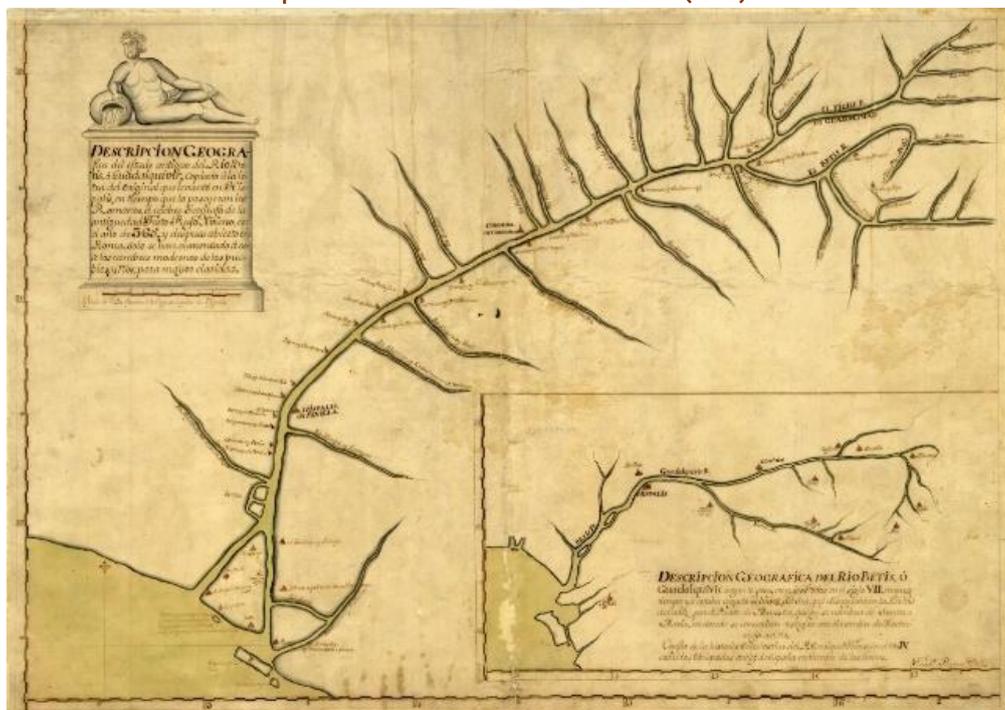
De todas estas descripciones se puede concluir que la ciudad de Tartessos podría estar en varias islas deltaicas dentro de una gran bahía, en una geografía tan inexistente en estos momentos como en época romana. Es posible que aún quedara en época romana alguna de las islas deltaicas, posiblemente sometida al influjo de las mareas. Así se puede entender que el río siguiera desembocando por dos cauces.

## 4. La representación gráfica de la bahía tartésica y del Lago Ligustino

### 4.1 Del plano de Gavala a las aplicaciones digitales de inundación

Algunas de las primeras representaciones de la desembocadura del Guadalquivir dibujadas en base a las descripciones de la época clásica se realizaron en el siglo XVIII y principios del XIX, coincidiendo prácticamente con el terremoto de Lisboa (1755), momento en el que el tsunami producido por el mismo dejó al descubierto zonas sumergidas que fueron descritas por cronistas locales (Martínez, 2001). De 1752 es el grabado de Enrique Flórez y Tomás Francisco Prieto titulado *Mapa de la Bética Antigua según el sistema de Ptolomeo* (Peral, 2017), pero en el que la desembocadura no se representa. Mucho más interesante es la *Descripción geográfica del estado antiguo del Rio Betis o Guadalquivir. Copiado a la letra del original que levantó en Hispalis, en tiempo en que lo poseyeron los Romanos...* (Peral, 2017, pág 207). Este plano (Figura 5), incluido en un manuscrito de Francisco José Antonio Pizarro en torno a 1778, es denominado por su autor como una copia del plano de Rufo Festo Avieno, supuesto responsable del dibujo original. Motivado por los problemas de navegación del río en esa época, muestra como el antiguo Betis, hoy Guadalquivir, desagua en el mar a través de dos caños de similares proporciones (Aladro, 2017).

Figura. 5. “Descripción geográfica del estado antiguo del Rio Betis o Guadalquivir...”. Plano dibujado por Francisco José Antonio Pizarro (1778)



Fuente: Ministerio de Defensa. Archivo Cartográfico y de Estudios del Centro Geográfico del Ejército. (Tomado de Peral, 2017, p. 207).

Un poco posterior, exactamente de 1810 es un atlas elaborado por Juan López de Vargas y su hermano a partir de los planos de su padre, Tomás López. En él se incluye un plano de 1788 titulado *Mapa que comprende la provincia antigua de la Bética dividida en cuatro conventos jurídicos según Plinio...* (Peral, 2017, pag 204). Como en el caso anterior, la desembocadura del Guadalquivir se bifurca, de tal manera que uno de los brazos resultantes es una conexión con el Guadalete, que desemboca en la actualidad en la Bahía de Cádiz, más exactamente en el Puerto de Santa María (Figura 6).

Figura. 6. “Mapa que comprende la provincia antigua de la Bética dividida en cuatro conventos jurídicos según Plinio”. Juan López de Vargas (1788)



Fuente: Biblioteca Nacional de España. (Tomado de Peral, 2017, p. 204).

A partir de los primeros estudios basados en el “presentismo” de la geografía actual, la búsqueda de Tarteso en la desembocadura del Guadalquivir toma otro significado en la segunda mitad del siglo XX con la publicación de la obra de Gavala (1992), pues a partir de datos geológicos y analizando las curvas de nivel de los planos topográficos, dibujó el litoral que encontrarían los fenicios al arribar a las tierras tartesias (Figura 7). Un proceso similar fue seguido por César Pemán (1941) y, posteriormente, por Menanteau (1980), quien formuló una nueva investigación con los estudios realizados por Pellicer (1995).

En el plano de Gavala se muestra la bahía tartésica, que inundaría la actual marisma y en la que pueblos del interior, como Trebujena, Lebrija, Las Cabezas de San Juan, Los Palacios, Coria del Río, Puebla del Río, Villamanrique y el Rocio, se encuentran situados actualmente en el borde de ese gran espacio marítimo ya desaparecido. Llama significativamente la atención que Sevilla se encontraría prácticamente a orillas de esa gran bahía. No se dibujan en el plano las islas-barrera que pudieron existir en la desembocadura, siendo especialmente evidente la ausencia de la elevación de la Algaida, junto a Sanlúcar.

Figura 7. Hipótesis del estuario del Guadalquivir en época Tartesia



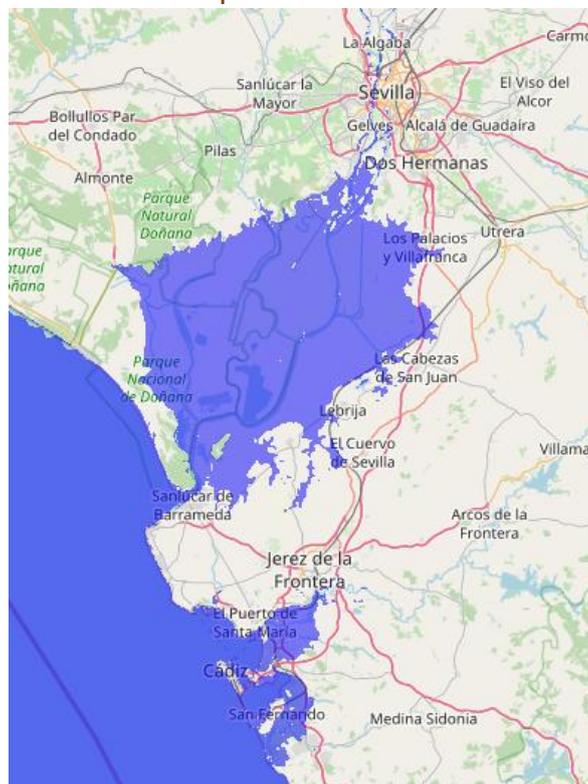
Fuente: Gavala, 1958: lam II.

El citado plano es reproducido a menudo y considerado de manera incierta como Lago Ligustino. Sin embargo, como ya se ha indicado, en época romana la flecha de Doñana había crecido ya lo suficiente como para dejar encerrada esa bahía. Con las técnicas relacionadas con los sistemas de información geográfica, así como con otras aplicaciones que permiten la modificación de los niveles del mar, es posible recrear cómo podría haber sido el Lago Ligustino. Con la aplicación de FLOOD MAP (<https://www.floodmap.net/>) es posible realizar una simulación consistente en subir el nivel del mar a la cota que pueda interesar. En la imagen que se muestra (Figura 8) el nivel del mar se ha elevado a la cota +3, obteniéndose un resultado muy similar al obtenido por Gavala a mitad del siglo pasado por técnicas manuales, aunque mostrando ya la flecha de Doñana y el pinar de la Algaida.

Similar procedimiento se ha seguido con la aplicación FLOOD FIRETREE (Figura 7), obteniendo el mismo resultado, pero con la diferencia de que en la aplicación anterior se mostraba el dibujo sobre un plano, mientras que en este segundo caso se muestra el sombreado de la inundación sobre una fotografía de satélite.

Por tanto, a partir de los datos obtenidos, sería posible proponer cómo sería la desembocadura en época romana del Lago Ligustino, así como predecir la inundación en caso de un cambio en el nivel del mar. A diferencia de los planos publicados hasta la fecha, debemos suponer que la flecha de Doñana debía aproximarse ya hasta Sanlúcar, aunque es posible que quedase algún cauce por la zona norte. También debía emerger el actual Pinar de la Algaida, que en época fenicia y tartésica fue una isla deltaica y donde aún quedan restos de cultura fenicia.

Figura 8. Imagen obtenida de la aplicación "Flood Map", con un nivel del mar 7 metros por encima de la cota actual



Fuente: <https://www.floodmap.net/>

Figura 9. Imagen similar sobre fotografía aérea obtenida en "Flood.firetree"



Fuente: <http://flood.firetree.net>

## 5. Posibles afecciones a la localidad de Sanlúcar de Barrameda

### 5.1 *Modificación reciente de la costa en la desembocadura*

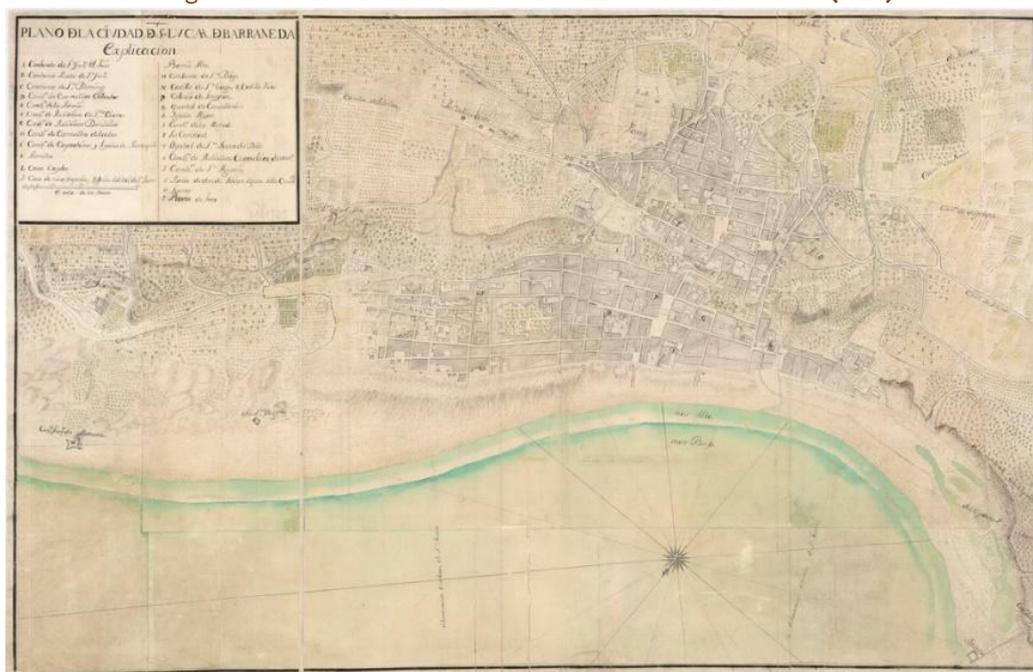
Diversos historiadores hacen referencia a que en la Edad Media la orilla del mar se encontraba al pie de la “barranca” de Sanlúcar de Barrameda (Barbadillo 1989). De hecho, se sabe que en la actual calle Chanca, justo debajo del desnivel y muy cerca de las Covachas, existían unas atarazanas, lo cual no hace sino fortalecer más aún dicha versión. Ello significa que no existía el actual Barrio Bajo y debemos considerar, por tanto, que el mar ha experimentado un importante retroceso desde aquel momento, en torno a los mil doscientos metros. En escritos del siglo XVI se menciona a Sanlúcar de Barrameda como el “puerto de la Foz”, por su forma curva en forma de hoz. En aquel momento el mar ya se había retirado del pie de la “barranca” y la línea de costa se había desplazado ya unos cien metros hasta la actualmente conocida como calle Banda Playa, que sigue denominándose de esta manera a pesar de no ser ya la orilla del mar. Dicha fisonomía puede observarse en el dibujo de 1567 de Anton van Wyngaerde (Figura 10), paisajista flamenco que recibió en 1561 el encargo de Felipe II de dibujar vistas de ciudades de España. En el caso de Sanlúcar, el punto de vista se sitúa encima del río con el plano de horizonte a la altura del palacio de Medina Sidonia y mostrando una playa cóncava que va desde el actual Bajo de Guía (a la izquierda de la vista) hasta el promontorio donde se situaría algo más tarde el castillo del Espíritu Santo (a la derecha de la imagen).

Figura 10. Vista de Sanlúcar dibujada por Anton Van Wyngaerde (1567)



Fuente: Kagan, 1986 (p 323-325).

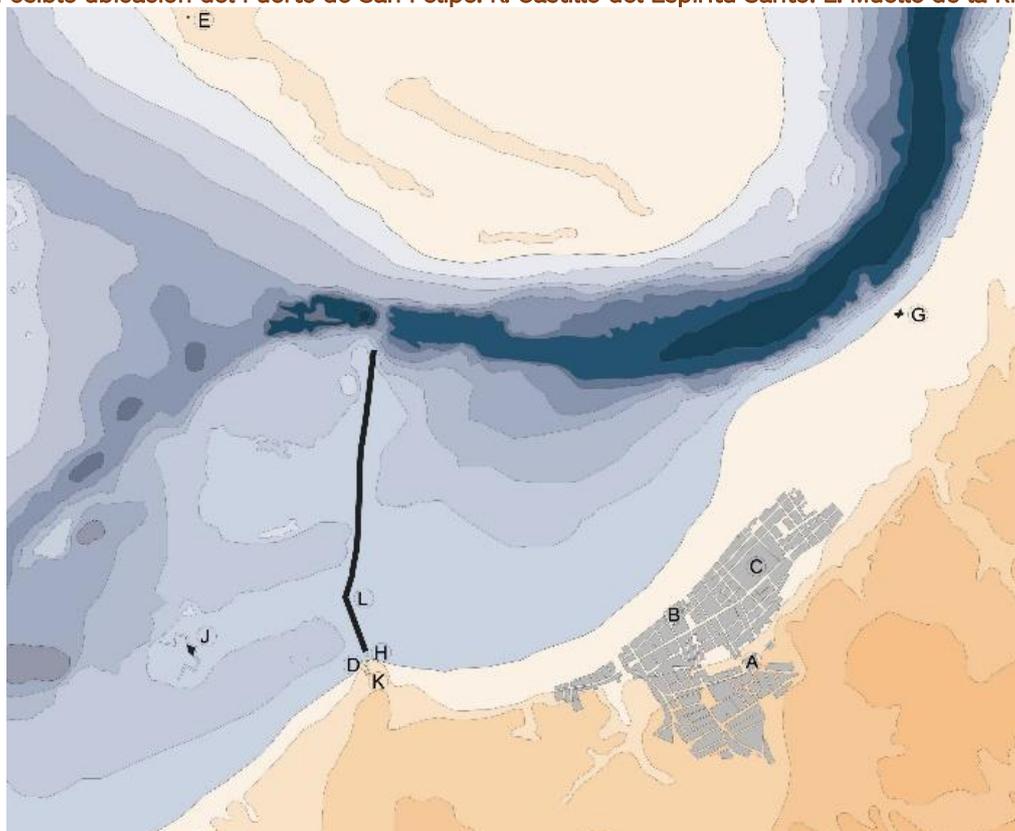
Figura 11. “Plano de la ciudad de San Lucar de Barrameda” (1725)



Fuente: Centro Geográfico del Ejército, Arm G, Tabla 9, carpeta 4ª, nº 498.

De 1725, un siglo y medio aproximadamente posterior a la vista de Wyngaerde, es un plano de Sanlúcar de Barrameda en el que se dibujan las calles, la playa y la topografía circundante (Figura 11), pudiéndose apreciar la forma de la playa similar a la vista de Wyngaerde, así como la primera línea de edificaciones situadas en la actual calle Banda Playa. En esta investigación se ha dispuesto dicho plano encima de la cartografía actual y se ha comprobado que era de una gran exactitud, lo cual nos ha permitido dibujar un plano con la fisonomía exacta que tendría la ciudad y su entorno en esa época, pudiendo situar de una manera cierta la línea de costa en la primera mitad del siglo XVIII (Figura 12).

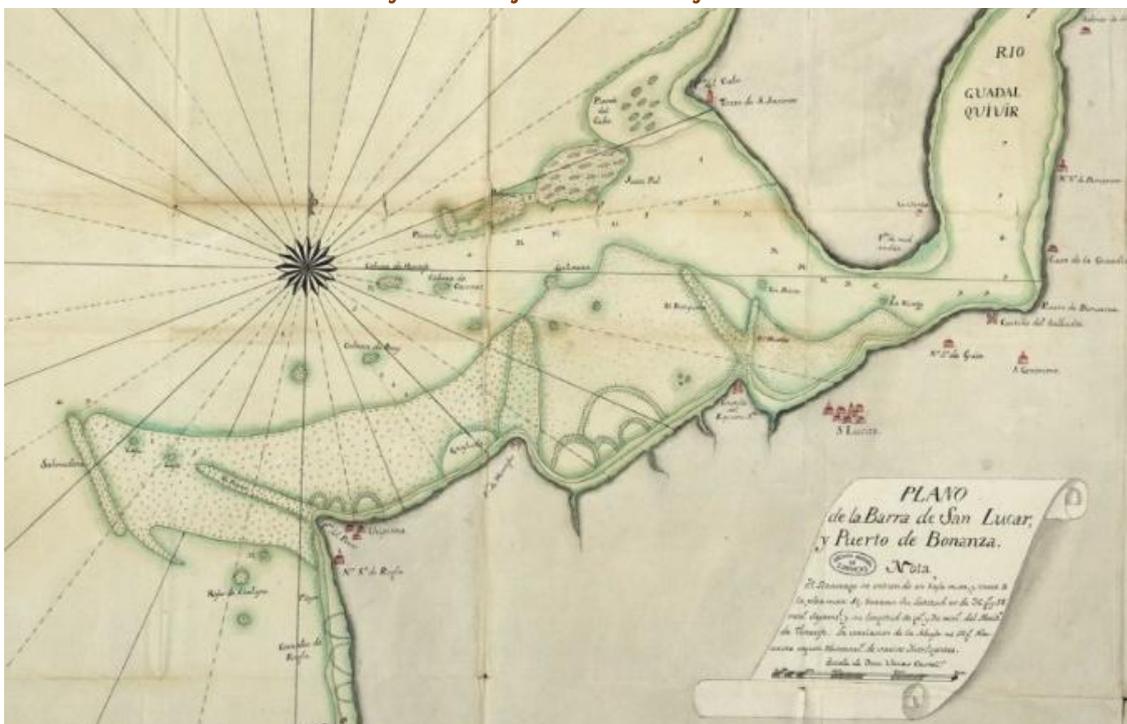
**Figura 12. Hipótesis de la ciudad de Sanlúcar de Barrameda y su entorno en 1725, partir del plano de la Figura anterior, superpuesto sobre la planimetría actual. A. Castillo de San Diego. B. Baluarte del Peso (desaparecido). C. Baluarte de Santo Domingo (desaparecido). D. Torre del Espíritu Santo. E. Torre de San Jacinto. G. Castillo de San Salvador. H. Fortificación en la base del Espíritu Santo. J. Posible ubicación del Fuerte de San Felipe. K. Castillo del Espíritu Santo. L. Muelle de la Riza**



Fuente: dibujo de los autores.

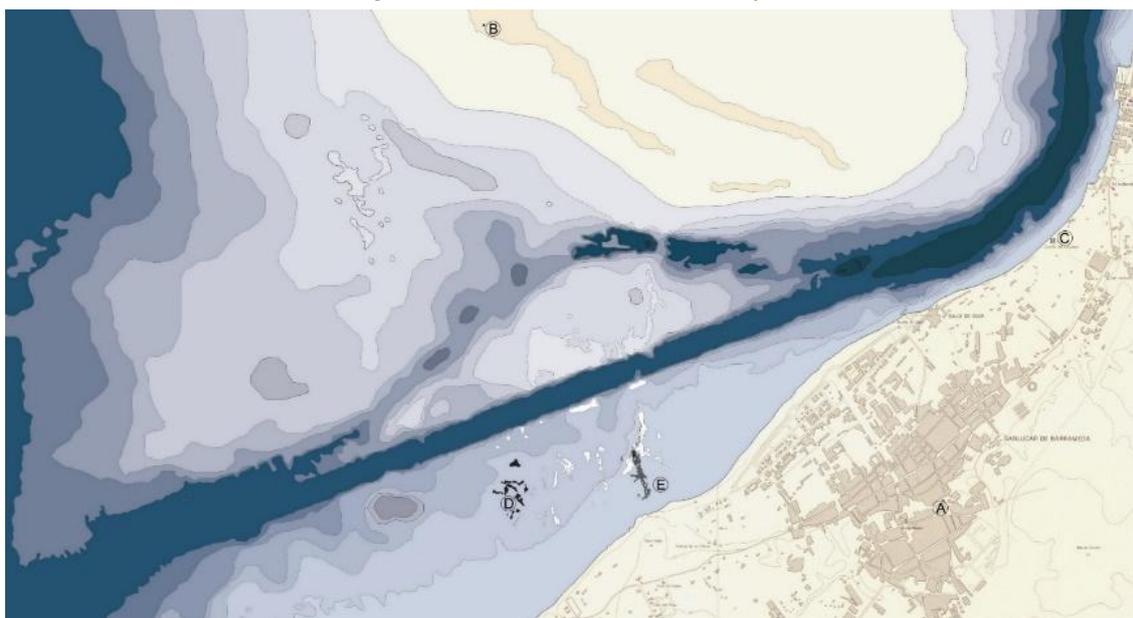
En el plano obtenido se muestra la situación del Muelle de la Riza, que se construyó a partir del proyecto del ingeniero francés Antonio Bobón en 1688 (Barbadillo, 1989), aunque nunca llegó a finalizarse del todo, pues el fondo arena exigía la construcción de una cimentación costosa. Se trata esta de una estructura ruinoso, que hasta la investigación desarrollada por Arévalo (2012), se consideraba como los restos de un antiguo corral de pesca. La intención de dicho muelle era la de crear una gran presa que uniera las dos orillas de la desembocadura, consiguiendo así una fuerte corriente en las bajadas de las mareas para que los barcos pudiesen salir de la desembocadura. La presa quedó arruinada para su fin, pero se utilizó como muelle durante mucho tiempo, quedando así recogido en planimetrías posteriores (Figura 13). La información sobre dicho proyecto nos llega de la mano de Velázquez Gaztelu, quien refiere en 1774 que el muelle contaba con “longitud de 300 pasos y cuatro varas de ancho (...) hasta la Torre de San Jacinto que está en la playa opuesta, dominándole a él, el fuerte del Espíritu Santo” (Velázquez, 1998, pág. 292). La obra fue un rotundo fracaso, pues “estrechadas las aguas por la costa del puerto de hacia Sanlúcar, se hizo más rápida la corriente del río y vertieron a la margen contrapuesta del Coto de Doñana” (Velázquez, 1998, pág. 292).

Figura 13. "Plano de la barra de Sanlúcar y Puerto de Bonanza" (1766). Se aprecia la situación del muelle y de los Bajos de Juan Pul y de Picacho



Fuente: Archivo General de Simancas, M.P.y D. XLVII-078, G.M. leg. 508.

Figura 14. Situación actual de la desembocadura. Se muestra en color oscuro las zonas con mayor profundidad de agua. A. Castillo de San Diego, B. Torre de San Jacinto en el Coto de Doñana. C. Castillo de San Salvador. D. Cimentación sumergida de una fortificación. E. Restos del Muelle de la Riza y su continuación hacia la orilla opuesta

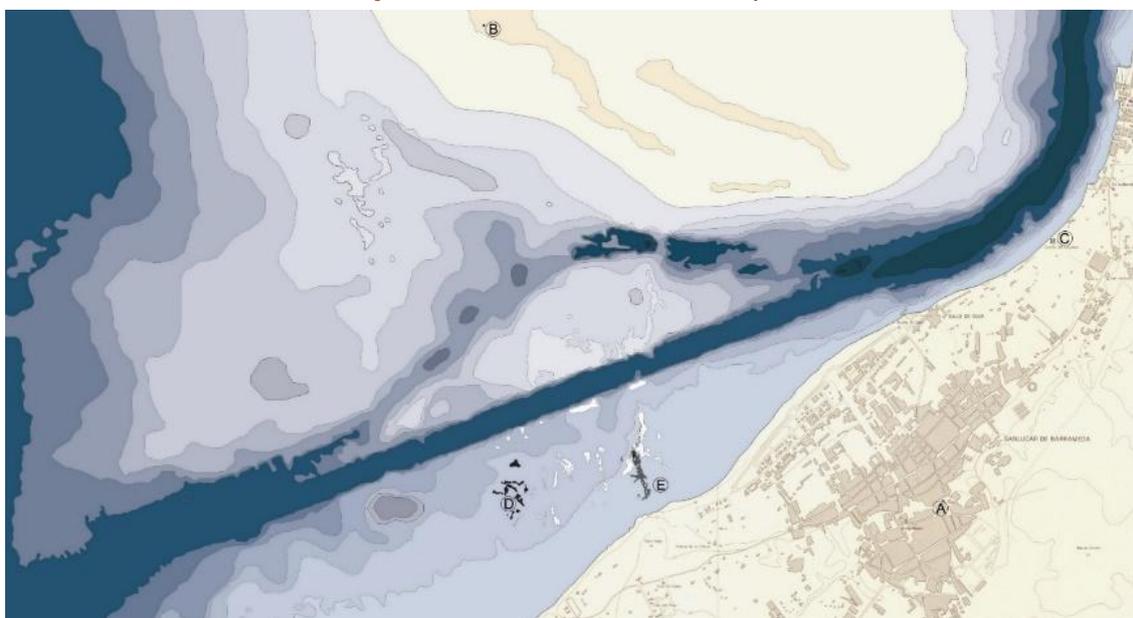


Fuente: dibujo de los autores.

De acuerdo con estudios de Chías (2011) y Chías y Abad (2012) sobre las modificaciones producidas en la evolución geomorfológica de la Bahía de Cádiz por la intervención del factor humano, debemos concluir algo similar en este territorio: el Muelle de la Riza produjo un gran arenal al quedar remansada la desembocadura, lo que implicó el avance de la línea de costa, apareciendo así una nueva zona emergente de dunas donde se asentaría en los siglos siguientes el barrio bajo de Sanlúcar, llegando en la actualidad a una situación que se muestra en la Figura 14. Por tanto, la línea de costa retrocedió cientos de metros en menos de dos siglos.

En fechas más recientes, las primeras casas de veraneantes, con una arquitectura regionalista muy reconocible, estaban cerca de la pleamar a principios del siglo XX, mientras que actualmente existen dos manzanas de edificaciones entre dichas viviendas y la costa. También se produjeron modificaciones menores por la excavación del nuevo canal de navegación en los años setenta del siglo pasado, el cual puede apreciarse en la Figura 14. Dicha actuación supuso una regresión de más de cien metros en la playa de las Piletas.

**Figura 14. Situación actual de la desembocadura. Se muestra en color oscuro las zonas con mayor profundidad de agua. A. Castillo de San Diego, B. Torre de San Jacinto en el Coto de Doñana. C. Castillo de San Salvador. D. Cimentación sumergida de una fortificación. E. Restos del Muelle de la Riza y su continuación hacia la orilla opuesta**



Fuente: dibujo de los autores.

## 5.2 Previsión en caso de ascenso del nivel del mar

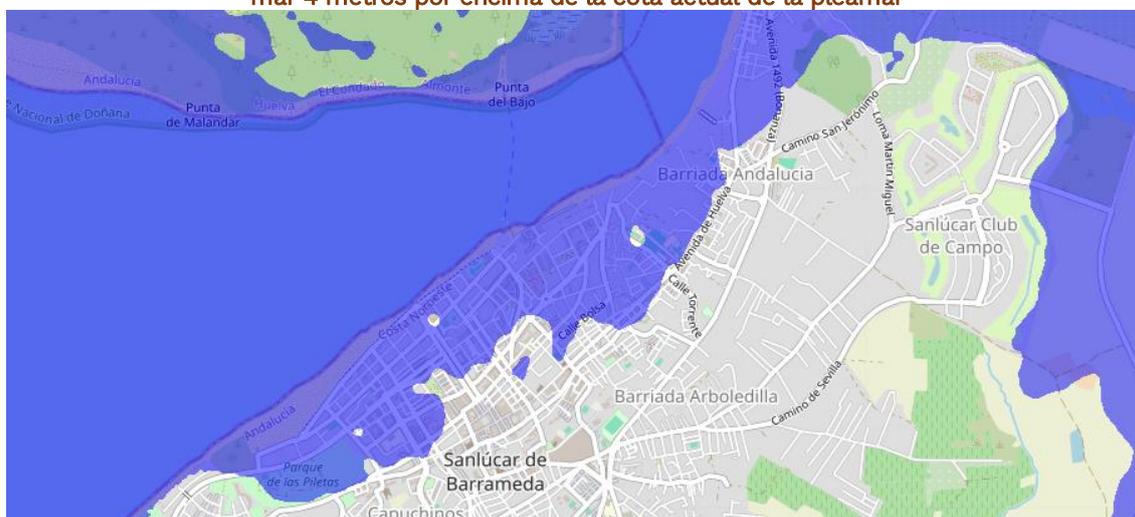
Al igual que se ha analizado en esta investigación la influencia que pudiera tener un posible aumento del nivel del mar en la zona de la marisma del Guadalquivir, con la aparición de una zona inundada similar al lago Ligustino de época romana, se plantea cuál sería el resultado de un incremento similar en la costa de Sanlúcar de Barrameda.

Para ello, se ha recurrido a las aplicaciones ya usadas en este trabajo. Tan sólo con un ascenso de cuatro metros por encima la pleamar, grandes zonas de la ciudad quedarían ya inundadas, pues parte del Barrio Bajo se encuentra a esta cota aproximada. Esta situación implicaría la pérdida de una gran cantidad de construcciones y del patrimonio arquitectónico, en relación con la preocupación actual por los entornos urbanos (Sánchez et al., 2023; Benedet, 2020).

En la Figuras 15 y 16 se muestra una situación muy parecida a la de la primera mitad del siglo XVIII, cuando la línea de costa se encontraba ya en la calle Banda Playa.

Hay que tener en cuenta que, en ese proceso de retirada del mar, se crearon incluso dunas, algunas de ellas aún han quedado fosilizadas, como sucede en la zona del Cerro Falón. Es por ello que parte de esta zona necesitaría un ascenso mayor al que inicialmente sería previsible para su total inmersión.

Figura 15. Imagen obtenida de la aplicación "Flood Map", con un nivel del mar 4 metros por encima de la cota actual de la pleamar



Fuente: <https://www.floodmap.net/>. Comprobación realizada por los autores.

Figura 16. Imagen similar sobre fotografía aérea obtenida con la aplicación "Flood.firetree".



Fuente: <http://flood.firetree.net>. Comprobación realizada por los autores.

## 6. Conclusiones

La evolución de la desembocadura del Guadalquivir en los últimos 2.500 años es analizada a partir de los datos multidisciplinarios, tanto escritos como gráficos. Una de las primeras cuestiones que se concluyen a tenor del análisis de otras investigaciones es que el nivel del mar no ha siempre el mismo a lo largo de la historia. Esto, aparte de al menos dos tsunamis registrados en la zona, deberían servir de base para investigar los cambios tan singulares que se han producido en la desembocadura, concluyendo que ha existido una evolución desde una gran bahía en época tartesia (s. IX a V a.C.), a un gran estuario encerrado por la formación de la flecha de Doñana, el denominado como Lago Ligustino de época romana, hasta la configuración actual, en la que el Guadalquivir recorre una marisma antes de su salida al mar.

Para analizar la configuración en época tartesia se repasa la extensa bibliografía sobre dicha civilización, que en parte se basan en una geografía basada en el presente y no en la realidad territorial de la época. Se revisa para ello la *Ora Marítima* de Avieno, escrita ya en el siglo IV d.C, cuando ya no existía la gran bahía, sino una flecha que cerraba el Lago Ligustino. El análisis de los fondos de la desembocadura permite proponer en este estudio algo inédito en publicaciones previas: la posibilidad de que Tarteso se encontrara en alguna isla deltaica de la bahía, que pudo desaparecer por el crecimiento vertiginosos de la flecha y el aumento correlativo de la corriente por ese motivo.

Una vez entendida la fisonomía de la desembocadura en los diversos procesos de cambio, se ha simulado con aplicaciones informáticas las posibles consecuencias de un aumento del nivel del mar. En el caso de la marisma, un aumento de 7 metros supondría la recuperación del Lago Ligustino de época romana, de tal manera que la actual marisma del Guadalquivir quedaría completamente inundada y el Guadalquivir desembocaría de nuevo en Coria del Río, muy cerca de Sevilla, como sucedía hace dos mil años. Afortunadamente, las localidades de Trebujena y Lebrija quedarían a salvo de ser inundadas.

La investigación supera la escala territorial de la desembocadura y se centra finalmente en la escala urbana, recurriendo a registros históricos, tanto escritos como gráficos. Al estudiar el caso de Sanlúcar de Barrameda, parte del Barrio Bajo se inundaría, volviendo a una situación similar a la del siglo XVIII. Para establecer esta hipótesis, se ha investigado el litoral de la desembocadura a partir de vistas urbanas y planimetrías de los últimos cinco siglos y se han relacionado con crónicas históricas. La situación exacta de la costa en el siglo XVIII se ha conseguido mediante la translación de un plano de la ciudad fechado en 1725 sobre la cartografía actual, observando como la obra del Muelle de la Riza pudo influir en la retirada del mar cientos de metros y modificando el perfil de la costa hacia una convexidad diametralmente opuesta a la preexistente. Si esa subida del mar llegara a cumplirse, la playa de Sanlúcar volvería a la ser la “foz”, tal y como lo denominara Anton Van Wyngaerde en el siglo XVI.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a los revisores por sus acertadas consideraciones, que han servido para mejorar el texto final y añadir algunas imágenes relacionadas con el trabajo.

## Autoría

Federico Arévalo-Rodríguez ha participado en la conceptualización y diseño de la investigación, así como en el desarrollo de la metodología, búsqueda de imágenes, dibujo de planos y redacción del texto y conclusiones. Carmen Escoda Pastor y Antonio Amado Lorenzo han colaborado en la redacción y revisión del texto, añadiendo importantes aportaciones al mismo. Federico Arévalo-Alonso ha colaborado en los dibujos de la planimetría del trabajo, lo que ha permitido aportar al texto el resultado del análisis gráfico. También ha colaborado en la revisión del trabajo final.

**Conflicto de intereses:** No hay conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Aladro Prieto, J.M. (2017). Francisco Pizarro (1742-1800). En José Peral (coord.), *Guadalquivir. Mapas y relatos de un río. Imagen y mirada* (pp 206-207). Sevilla, España: Biblioteca de la Universidad de Sevilla. <http://dx.doi.org/10.12795/9788447221080>
- Alonso Villalobos, C., Márquez Carmona, L., Valiente Romero, A. y Benítez López, D. (2010). El conocimiento del patrimonio subacuático desde la perspectiva de las fuentes documentales. *Revista Ph*, 73, 112-125. <https://doi.org/10.33349/2010.73.2913>
- Arévalo Rodríguez, F. (2011). La arquitectura para la defensa de la desembocadura del Guadalquivir en el momento del traslado de la Casa de contratación a Cádiz. *Fuertes, baluartes, puertos y olvidos. In*

*El Río Guadalquivir, Del mar a la marisma* (pp 257-265). Sevilla, España: Consejería de Obras Públicas y transportes de la Junta de Andalucía.

Arévalo Rodríguez, F. (2012). El análisis documental y el levantamiento como metodología de investigación en arquitecturas desaparecidas: el Baluarte de San Felipe y el Muelle de la Riza en la desembocadura del Guadalquivir. *Revista EGA*, 20, 134-143. <https://doi.org/10.4995/ega.2012.1411>

Arteaga, O., Schulz; H.D. y Roos,A.M. (1995). El problema del Lacus Ligustinus. Investigaciones geoarqueológicas en torno a las Marismas del Guadalquivir. *Tartessos 25 años después* (pp 99-135). Jerez de la Frontera, España: Ayuntamiento de Jerez de la Frontera.

Balbontín, S. (2020). La experiencia sensible del paisaje sonoro frente a la catástrofe natural: el caso del tsunami del 27f en Caleta Tumbes, Talcahuano, Chile. *ACE: Architecture, City and Environment*, 14(42), 7007. <http://dx.doi.org/10.5821/ace.14.42.7007>

Barbadillo Delgado, P. (1989). *Historia de la ciudad de Sanlúcar de Barrameda*. Facsímil de la primera edición (1942). Sanlúcar de Barrameda, España: Delegación de Cultura y Escuela-Taller Tartessos del Ayuntamiento de Sanlúcar de Barrameda.

Barral, M.A. (2004). *Estudio geoarqueológico de la ciudad de Sevilla. Reconstrucción paleogeográfica durante el Holoceno reciente (últimos 2500 años)*, (Tesis doctoral). Universidad de Sevilla, Sevilla.

Benedet, V., Azpeitia, A. y Azkárate, A. (2020). Landscape and urbanism in the 21st century: some reflections on the state of affairs. *ACE: Architecture, City and Environment*, 15(43), 8987. <http://dx.doi.org/10.5821/ace.15.43.8987>

Borja Serrera, F. (1995). Paleogeografía de las costas atlánticas de Andalucía durante el Holoceno medio-superior. Prehistoria reciente, protohistoria y fases históricas. *Tartessos 25 años después* (pp 73-97). Jerez de la Frontera, España: Ayuntamiento de Jerez de la Frontera.

Borja Serrera, F. y Barral Muñoz, M.A. (2005). Evolución histórica de la vega de Sevilla, Estudio de geoarqueología urbana. *La Catedral en la ciudad (I). Sevilla, de Astarté a San Isidoro* (pp 5-36). Sevilla, España: Aula Hernán Ruiz

Caro Bellido, A. (1989). Consideraciones sobre el bronce antiguo y pleno en el Bajo Guadalquivir. *Tartessos. Arqueología protohistórica del Bajo Guadalquivir* pp (85-120). Sabadell, España: AUSA.

Caro Bellido, A. (1995). Contribución a la protohistoria del bajo Guadalquivir. El área de Lebrija (Sevilla). *Tartessos 25 años después* (pp 333-358). Jerez de la Frontera, España: Ayuntamiento de Jerez de la Frontera.

Chías Navarro, P. (2012). Territorio y cartografía. Paisajes e interpretaciones. Imágenes gráficas cartográficas y literarias: el caso de Cádiz. *Revista EGA*, 19, 38-47. <https://doi.org/10.4995/ega.2012.1356>

Chías Navarro, P. y Abad Balboa, T. (2011). La Bahía de Cádiz: territorio fortificado y paisaje. En P. Chías y T. Abad (Eds), *El Patrimonio fortificado. Cádiz y el Caribe: una relación transatlántica* (pp 25-173). Alcalá de Henares, España: Universidad de Alcalá, Fundación Llopis y Ayuntamiento de Cádiz.

Clemente, L. y Ménanteau, L. (1975). Variaciones de la influencia marina y su incidencia en la transformación del paisaje fluvial del delta del Guadalquivir durante los últimos milenios. *Actas 2ª Reunión Nacional de G.E.T.C.* (pp 167-176). Jaca, España.

Dabrio, C., Polo, M.D., Zazo, C., Hoyos, M., Lario, J., Goy, J. y Borja, F. (1996). Climate change and coastal evolution in Europe. Final report. *Rijks Geologische Dienst* (pp. 11.1-11.29). Haarlem, Países Bajos

Dabrio, C.J. y Polo, M.D. (2015). Cambios del nivel del mar. Sea level changes. *Enseñanza de las ciencias de la tierra. Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23, 171-179. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/306517>

Dabrio, C.J., Goy, J.L., Lario, J., Zazo, C., Borja, F. y González, A (1995). INQUA M.B.S.S. En *Newsletter*, 17, 19-22. Berlín, Alemania

Díaz del Olmo, F. (1989). Paleografía tartésica. *Tartessos. Arqueología protohistórica del Bajo Guadalquivir* (pp. 13-23). Sabadell, España: AUSA.

Dutton, A., Carlson, A.E., Long A., Milne, G.A., Clark, P.U., DeConto, R., Horton, B., Rahmstorf, S. y Raymo, M. (2015). Sea-Level rise due to polar ice-sheet mass loss during past warm periods. *Science*, 349(6244), aaa4019. <https://doi.org/10.1126/science.aaa4019>

Fairbridge, R. (1989). *A question of climate*. Oxford, Reino Unido: Earthwath Report.

- Flor, G. (1990). Tipología de dunas eólicas. Procesos de erosión-sedimentación costera y evolución litoral de la provincia de Huelva (Golfo de Cádiz occidental, Sur de España). *Estudios geológicos*, 46, 99-109. Madrid, España: CSIC.
- Frederikse, T., Landerer, F., Caron, L., Adhikari, S., Parkes, D., Humphrey, V., Dangendorf, S., Hogarth, P., Zanna, L., Lijing, L. y Wu, Y. (2020). The causes of sea-level rise since 1900. *Nature* 584, 393–397 <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2591-3>
- Gavala Laborde, J. (1992). *Geología de la costa y Bahía de Cádiz. El poema Ora Marítima de Avieno*. (Faccímul del libro de 1958). Cádiz, España: Servicio de Publicaciones de la Diputación de Cádiz.
- González de Canales Cerisola, F. (2004). *Del Occidente mítico griego a Tarsis-Tarteso. Fuentes escritas y documentación arqueológica*. Madrid, España: Biblioteca Nueva.
- Goy, J.L., Zazo, C. y Dabrio, C. (1986). Evolution des systèmes de lagoon-isles barrières du Tyrrhénien à l'actuel à Campos Dalías (Almería, Espagne). *Changements Globaux en Afrique durant le Quaternaire. Passé, présent e future* (pp. 172-269). París, Francia: Ed. Orston.
- Guy, M. (1975). Changements dans les voies d'eau naturelles, variations climatiques et variations du niveau des mers. *Caesariodunum* (98-101). Tours, Francia: Inst. Rech.Lat. et Centre A.Piganiol.
- Hay, C.C., Morrow, E., Kopp, R.E. y Mitrovica, J.X., (2015). Probabilistic reanalysis of twentieth-century sea-level rise. *Nature*, 517, 481– 484. <https://doi.org/10.1038/nature14093>
- Kagan, R.L. (1986). *Ciudades del Siglo de Oro. Las vistas españolas de Anton Van den Wyngaerde*. Madrid, España: Ediciones El Viso.
- Kopp, R. E., Kemp, A.; Bittermann, K.; Horton, B., Donnelly, J., Gehrels, R., Hay, C., Mitrovica, J., Morrow, E. y Rahmstorf, S. (2016). Temperature-Driven Global Sea-Level Variability in the Common Era". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(11), E1434–41. <https://doi.org/10.1073/pnas.1517056113>
- Lario, J., Zazo, C., Goy, L.J., Dabrio, C.J., Borja, F., Silva, P., Sierro, F.J., González, A., Soler, V. y Yll, E.I. (2002). Changes in sedimentation trends in SW Iberia Holocene estuaries (Spain). *Quaternary International*, 93-94(2022), 171-176. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00015-0](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00015-0)
- Martínez Solares, J. M (2001.) *Los efectos en España del terremoto de Lisboa (1 de noviembre de 1755)* Madrid, España: Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Fomento.
- Mélieres, F. (1974). *Recherches sur la dynamique sédimentaire du Golfe de Cádiz (Espagne)* (Tesis doctoral). Universidad de París VI, París.
- Menanteau, L. (1991). Los paisajes sanluqueños y su evolución histórica. *Los pueblos de la provincia de Cádiz*, 32, Sanlúcar de Barrameda, I. (pp 13–67). Cádiz, España: Diputación de Cádiz.
- Menanteau, L. (1980). *Les marismas du Guadalquivir : exemple de transformation d'un paysage alluvial au cours du Quaternaire récent* (Tesis doctoral). Université de Paris-Sorbone, París.
- Mörner, N.A. (2000). Sea level changes and coastal dynamics in the Indian Ocean. *Integrated Coastal Zone Management, Launch Issue*, 17–20.
- Mörner, N.A. (2010). Some problems in the reconstruction of mean sea level and its changes with time. *Quaternary International*, 221(2010), 3–8.
- Murphy, J.P. (1977). *Avienus. Ora Maritima*. Chicago, USA: Ares Publishers.
- Olmos Romera, R. (1988). A. Schulten y la historiografía sobre Tartessos en la primera mitad del siglo XX. *Congreso internacional Historiografía de la Arqueología y de la Historia Antigua en España* (siglos XVIII-XX) (pp. 135–144). Madrid, España: Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales.
- Paskoff, R. (1987). Las variaciones del nivel del mar. *Mundo científico* (1058-1071). Barcelona, España: Editorial Fontalba.
- Pellicer, M. (1995). Balance de 25 años de investigación sobre Tartessos (1968–1993). *Tartessos 25 años después* (pp 41–71). Jerez de la Frontera, España: Ayuntamiento de Jerez de la Frontera.
- Pemán Pemartín, C. (1941). Nuevas contribuciones al estudio del problema de Tartessos. *Archivo español de Arqueología*, 14, 177–187. Madrid, España: CSIC.
- Peral López, J. (2017). *Guadalquivir. Mapas y relatos de un río. Imagen y mirada*. Catálogo de la exposición. Sevilla, España: Biblioteca de la Universidad de Sevilla. <http://dx.doi.org/10.12795/9788447221080>

- Pirazzoli, P.A. (1989). Trends of relative sea-level changes: past, present, future. *Quaternary International*, 2(1989), 63-71. [https://doi.org/10.1016/1040-6182\(89\)90022-0](https://doi.org/10.1016/1040-6182(89)90022-0)
- Raynaud, D., Barnola, J.M., Souchez, R., Lorrain, R., Petit, J.R., Duval, P. y Lipenkov, V.Ya., 2005. The record for marine isotopic stage 11. *Nature*, 436, 39-40. <https://doi.org/10.1038/43639b>
- Rodríguez.A., Rodríguez, J., Cáceres, L., Clemente, L., Belluomi, G., Manfra, L., Impronta, S. y Andrés, J.R. (1996). Evolución costera de la desembocadura del Guadalquivir en los últimos 6.000 años (SW de España). *Geogaceta*, 20, 1086-1088. Salamanca: Sociedad Geológica de España <http://hdl.handle.net/10272/12742>.
- Rodríguez-Ramírez, A. (1996). *Geomorfología continental y submarina del Golfo de Cádiz (Guadiana-Guadalquivir) durante el cuaternario reciente* (Tesis doctoral). Universidad de Huelva, Huelva.
- Rodríguez-Vidal, J. (1987). Modelo de evolución geomorfológico de la flecha litoral de Punta Umbría, Huelva. *Actas VII Reunión sobre el Cuaternario* (pp .245-248). Santander, España: Asociación Española para el Estudio del Cuaternario, Universidad de Cantabria.
- Rodríguez-Vidal, J., (2008). Escenarios de cambio climático en una región del SW peninsular. *Simposio Evaluación crítica de las previsiones sobre el cambio climático: una perspectiva científica*. Madrid, España: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Fundación Ramón Areces.
- Ruiz Muñoz, F., Rodríguez Ramírez, A., Cáceres Puro, L. M., Rodríguez Vidal, J. y Yáñez Camacho, C. (2002). Cambios paleoambientales en la desembocadura del río Guadalquivir durante el Holoceno reciente. *Geogaceta*, nº 31, 167-170. Salamanca, España: Sociedad Geológica de España. <http://hdl.handle.net/10272/9408>
- Sánchez-Montañés, B., Rey, J. Peral, J. y Cortés, L.M. (2023). Propuesta de una metodología para la integración de elementos de control climático en entornos urbanos patrimoniales en el sur de Europa. *ACE: Arquitectura, Ciudad y Medio Ambiente*, 18(53), 12070. <https://doi.org/10.5821/ace.18.53.12070>
- Schulten, A. (1924). Tartessos. Contribución a la historia más antigua de Occidente. *Revista de Occidente* (pp 67-94). Madrid, España.
- Somoza, L., Zazo, C., Goy J.L. y Diaz Del Rio, V. (1992). Sea-level fluctuation in the mediterranean spanish coast during the last 7.000 years. Applications as forecasting model for future sea level trend. *The ocean change: management patterns and the environment*. En International Geographical Union, Commission on Marine Geography (pp. 19-26). Sevilla, España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- Vargas-Yáñez, M., Tel, E., Marcos, M., Moya, F., Ballesteros, E., Alonso, C. y García, C., (2023). Factors Contributing to the Long-Term Sea Level Trends in the Iberian Peninsula and the Balearic and Canary Islands. *Geosciences*, 13, 160. <https://doi.org/10.3390/geosciences13060160>
- Velázquez Gaztelu, J.P. (1998). *Estado marítimo de Sanlúcar de Barrameda, 1774*. Edición facsímil del original de 1774. Sanlúcar de Barrameda, España: A.S.E.H.A.
- Villalba i Varneda, P. (1994). Ora Marítima. *Avieno. Ora Marítima, Descriptio Orbis Terrae, Phaenomena*. Colección Testimonia Hispaniae Antiqua I (pp. 33-169). Madrid, España: Ediciones Historia 2000
- Watson, C. S., White, N.J., Church, J.A., King, M.A., Burgette, R.J. y Legresy, B. (2015). Unabated Global Mean Sea-Level Rise over the Satellite Altimeter Era. *Nature Climate Change*, 5(6), 565-568. <https://doi.org/10.1038/nclimate2635>
- Zazo, C. (1989). Los depósitos marinos cuaternarios en el Golfo de Cádiz. *El cuaternario en Andalucía occidental* (pp. 113-122). Ávila, España: Asociación Española para el Estudio del Cuaternario.
- Zazo, C. (2006). Climate change and sea level: Iberian Peninsula in a global context. *Rev. C & G.*, 20(3-4), 115-130. <http://hdl.handle.net/10261/4389>
- Zazo, C., Goy, J.L., Somoza, L., Dabrio, C., Belluomi, G., Impronta, S., Lario, J., Bardají, T. y Silva, P.G. (1994). Holocene sequence of sea-level fluctuations in relation to climatic trends in the Atlantic-Mediterranean linkage coast. *Journal of Coastal Research*, 10, 933-945. <http://hdl.handle.net/10261/247725>
- Zazo, C., Zazo, C., Goy, J. L., Somoza, L., Bardají, T. y Dabrio, C. J. (1987). *Recent Quaternary marine levels in Peninsular Spain. State of knowledge and discussion*. CSIC.