



APLICACIÓN DE UN SIG A LA ARQUEOLOGÍA SUBACUÁTICA DE MENORCA

APPLYING A GIS TO THE UNDERWATER ARCHAEOLOGY OF MENORCA

Fernando Contreras^{a,*} , Adrian Fernández^a 

^a Sanisera Archaeology Institute, C/ Obispo Severo, 13, 3, 07760 Ciutadella de Menorca, España. info@archaeology.institute, adrianfdez57@hotmail.com

Highlights:

- Análisis de los elementos que integra la Carta Arqueológica subacuática de Menorca estableciéndose el patrón de actuación que se aplicará a medida que vayan descubriéndose nuevos vestigios.
- Se combina la información de temática arqueológica con diversas disciplinas a las que se asocia, que proceden del medio geofísico marino, de los agentes climáticos y de la cartografía histórica.
- A partir de un análisis probabilístico, han quedado definidas las zonas del litoral costero de Menorca que facilitarán el descubrimiento de nuevos hallazgos subacuáticos arqueológicos.

Abstract:

A Geographic Information System (GIS), as a software used to integrate and relate spatial variables, has tools which are widely used in archaeology, either on the land surface, to analyse the spatial distribution of artefacts/settlements, or on the marine subsurface, to explore and analyse underwater elements, providing valuable data.

The Menorca (Balearic Islands, Spain) Archaeological Chart of underwater references currently consists of 285 elements that correspond to wrecks, anchorages and isolated finds from different chronological periods. The developed GIS was intended to define for the next few years the lines of research that can be promoted, as well as to recommend the vestiges that deserve to be protected.

The Department of Culture of the Menorca Insular Council has, among its priority lines, the knowledge related to the underwater archaeology of the island; a primary objective list includes preserving, protecting, investigating and disseminating it. With this purpose, in recent decades, projects and works have been promoted aimed at knowing more precisely about the submerged archaeological heritage, drawing up inventories and charts that have been inserted in the Underwater Menorca Archaeological Map.

The GIS project was developed to structure and analyse the information that can be extracted from the archaeological map, relating to the themes that have been incorporated from the variety of factors affecting the geophysical and environmental aspects associated with the Menorca maritime archaeology.

This study focused on developing the information from the underwater archaeological map, and providing the most likely areas with findings for future surveys and research, shown as optimal areas. The archaeological chart was georeferenced and digitised into a shapefile layer to create a geographical database that could be managed in the ArcGis software. Environmental conditions of the Menorca underwater, such as wind direction, wind speed, meteotsunamis, underwater geology and oceanic currents, were analysed and spatially related using the GIS to predict potential best areas for the anchorage process.

An approximation to a shoreline reconstruction (for 1000 BC period) was conducted through palaeoenvironmental interpretation, considering geomorphological features from aerial photography, erosion rates and variations in the past sea levels. Thanks to the GIS analyses, it was possible to define both the excellent conditions of some marine areas that were probably used as anchorages since ancient times, and the most likely coastline of the island that may offer new underwater remains. The analysis was adjusted to the landscape reconstruction, which was also helpful for establishing those certain optimal areas, but according to the territorial features estimated for various periods.

Based on the spatial analysis of the archaeological chart underwater elements and on the analysis of optimal areas, possible anchorage places have been established, such as *Ses Fontanelles*, *La Mola de Fornells* and *Cala Tamarells*, where punic remains could be found. A series of areas with a higher probability of locating new underwater remains have been determined.

The northern shore area, from *Cap de Favartix* to *Illes Bledes*, was classified as the best area for finding new underwater remains. Inner bays such as *Addaia*, *Favartix* or *Fornells* were the second-best area for finding remains.

* Corresponding author: Fernando Contreras, info@archaeology.institute



Stagnant waters areas, like *Albufera d'es Grau* or *Cala'n Bosch*, would deserve special recognition and surveys since it is possibly one of the most inhabited areas north of the port of *Mahón*, due to the natural resources that lie in this territory.

The GIS analysis of the findings distribution supported by palaeoenvironmental research appears to be a promising approach for underwater analysis; it provides reasonable estimations for future surveys. Constant underwater archaeological map updating and, consequently, completing the analysis of this study should be done periodically in order to classify newly surveyed areas.

Keywords: archaeological chart; maritime archaeology; underwater archaeology; wrecks of Menorca; Geographic Information Systems (GIS); underwater heritage

Resumen:

La Carta Arqueológica de Menorca (Islas Baleares, España) de temática subacuática se compone actualmente de 285 elementos que corresponden a pecios, fondeaderos y hallazgos aislados de diferentes periodos cronológicos. La plataforma del Sistema de Información Geográfica (SIG) que hemos diseñado pretendía definir para los próximos años, las líneas de investigación que se pudieran promover, así como recomendar los vestigios que merecen ser protegidos.

El Departamento de Cultura del Consell Insular de Menorca tiene, entre sus líneas prioritarias, el conocimiento relacionado con la arqueología subacuática de la isla, con el objetivo principal de preservarlo, protegerlo, investigarlo y difundirlo. Con este propósito, en las últimas décadas, se han promovido proyectos y trabajos encaminados a conocer con mayor precisión el patrimonio arqueológico sumergido, elaborando inventarios y catálogos que se han ido insertando en la Carta Arqueológica de Menorca.

La elaboración del proyecto de SIG ha querido estructurar y poner en orden la información que puede extraerse de la Carta Arqueológica, relacionándose a las temáticas que se han incorporado de los factores que condicionan los aspectos geofísicos y medioambientales asociados a la arqueología marítima de Menorca. Los análisis calculados en el SIG, han permitido definir las excelentes condiciones de algunas zonas marinas, que pudieron utilizarse como fondeaderos desde la antigüedad, y el litoral más probable de la isla, que puede ofrecer nuevos vestigios subacuáticos.

Palabras clave: carta arqueológica; arqueología marítima; arqueología subacuática; pecios de Menorca; Sistema de Información Geográfico (SIG); patrimonio subacuático

1. Introducción

La asociación *Sanisera* ha desarrollado varios proyectos de investigación subacuática aplicando las técnicas de prospección visual (Fig. 1) y, en ciertas ocasiones, el uso de un ROV (*'Remote Operated Vehicle'*) submarino o de instrumentos sonar, en colaboración con otras instituciones u organismos. Su ámbito de estudio se concentra en la costa norte de la isla de Menorca, y más concretamente, en el litoral que va desde la playa de *Cavalleria* hasta *Cala Tirant* (Contreras, Talavera & Massó, 2013; Sa Nitja, 1997; Sa Nitja 1996).

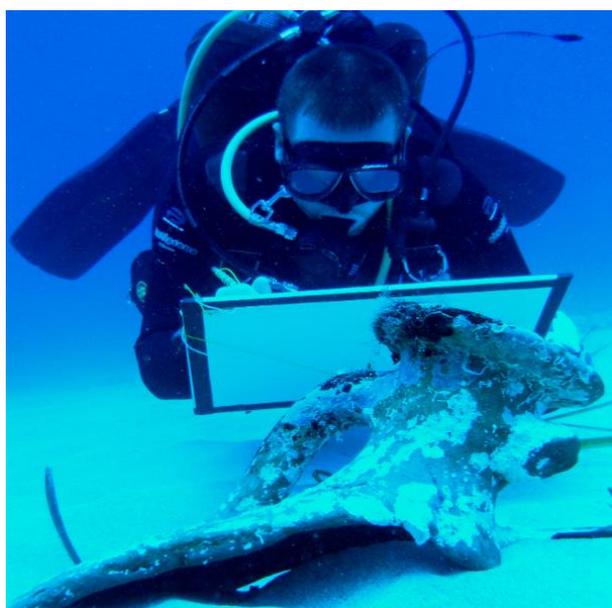


Figura 1: La investigación subacuática en Sanitja se ha efectuado mediante campañas anuales de prospección visual.

Entre sus líneas de trabajo, se encuentra la investigación de la arqueología subacuática del puerto de *Sanitja* y *Cap de Cavalleria*, sabiendo que esta costa fue ocupada desde el periodo de conquista romana a finales del siglo II a.C., hasta los tiempos de la dominación inglesa, a inicios del siglo XIX. El resultado de las investigaciones permitió confeccionar un mapa detallado empleando la plataforma de ArcGIS, mostrándose una muestra muy representativa de los elementos arqueológicos subacuáticos, aislados y de pecios, que se conservan sumergidos en este paraje (Fig. 2).

En base al descubrimiento y análisis de estos hallazgos, el Consell Insular de Menorca consiguió que la zona subacuática del puerto de *Sanitja* y del *Cap de Cavalleria*, fuera declarada zona protegida adoptando una serie de medidas encaminadas a la protección y defensa del patrimonio sumergido de este litoral.

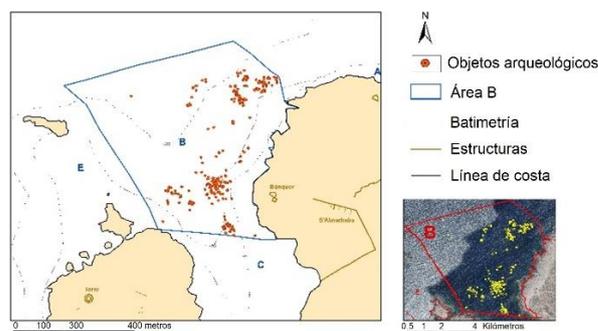


Figura 2: Representación en ArcGIS de los objetos arqueológicos descubiertos en la costa de *Sanitja*.

La redacción de esta publicación es el resultado final del encargo que efectuó el Consell Insular de Menorca a la entidad *Sanisera*, en junio de 2020, cuando la contrató para el desarrollo de un servicio de asistencia técnica aplicando un sistema de información geográfica a la arqueología subacuática de Menorca.

A continuación, enumeramos en forma de listado, los objetivos que nos habíamos fijado a la hora de desarrollar nuestro proyecto:

- Estudio de las características que conforman la Carta Arqueológica de Menorca.
- Asociar los vestigios subacuáticos al medio geofísico marino y a los condicionantes climáticos e interrelacionarlos en la plataforma diseñada en SIG.
- Establecer qué yacimientos arqueológicos son los de mayor relevancia, desde las perspectivas de su futura línea de investigación y desde una óptica conservacionista para adoptar medidas que confluyan en su protección.
- Recomendar planes estratégicos de próxima actuación para identificar más vestigios subacuáticos que enriquezcan la Carta Arqueológica de Menorca.

2. Antecedentes

La estructuración de la información arqueológica, empleando una base de datos sistemática, combinada con el tratamiento gráfico aplicado a los artefactos subacuáticos del proyecto SIG en el litoral de *Sanitja*, motivaron a nuestra organización ampliar el área de estudio, al resto de la costa insular de Menorca, aprovechando la carta arqueológica oficial que integra el catálogo de yacimientos subacuáticos del Consell Insular de Menorca y que, ha sido registrada en su plataforma conocida como la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) de Menorca (Fig. 3). Dicha administración, es consciente de la importancia que suscita el estado de conservación y la defensa del patrimonio sumergido. De esta manera, un proyecto SIG que abarcara la isla de Menorca, podría permitir la planificación de futuras líneas de actuación en investigación y protección de dichos bienes.

La carta arqueológica de Menorca está compuesta por yacimientos arqueológicos de muy diversas características (pecios, fondeaderos, estructuras sumergidas...), bienes muebles (armas, cañones, envases, anclas, utensilios de pesca...) que corresponden a diferentes periodos que se remontan al siglo V a.C. y se prolongan hasta el siglo XX (Aguelo & Pons, 2011; Pons & Aguelo, 2012; De Nicolás, 1982).

El diseño de un SIG para este estudio, permitió combinar la fuente principal de las entidades arqueológicas subacuáticas con una serie de elementos y factores, a los que íntimamente se relacionan, procedentes del medio natural marino, de la cartografía y de la náutica, que facilitaron comprender el comportamiento espacial de los yacimientos subacuáticos de Menorca.

Se tuvieron en cuenta la orografía y la batimetría de la costa, que nos detallarían qué zonas marinas pudieron ser aptas al fondeo en tiempos pasados. Asimismo, se contemplaron los aspectos de los que tanto depende la navegación, como son los agentes climáticos que inciden en la zona occidental del Mediterráneo, y en

particular, sobre la isla de Menorca. Nos referimos al comportamiento de cada uno de los diferentes tipos de viento y de su periodicidad estacionaria anual. De igual forma, se analizó el movimiento del oleaje que provocan los vientos y el flujo de las corrientes marinas a su paso por los cuatro costados de la isla. Y también, se dedicó un apartado a la información que se desprendía de la cartografía histórica de Menorca.

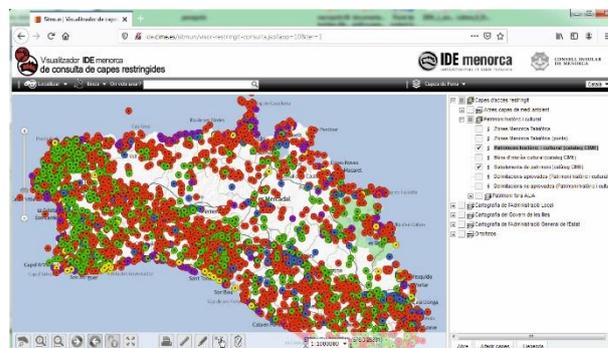


Figura 3: Estructuración de la información territorial insular de Menorca gestionada a través de la IDE de Menorca, que ha incorporado los elementos arqueológicos de la Carta Arqueológica de Menorca.

Desde esta perspectiva, se observó cómo la entidad arqueológica localizada en el litoral menorquín, no era simplemente un dato arqueológico aislado o independiente. Un SIG nos ayudaría a combinar los datos arqueológicos de la Carta Arqueológica de Menorca con las actividades marítimas, la historia tecnológica de las embarcaciones, la dinámica marcada en rutas de navegación, a la que también había que añadir los factores geográficos como pudiesen ser las líneas de paleocosta, arrecifes, vientos, corrientes, composición geológica del lecho marino, etc.

Para nuestro estudio, se clasificaron las entidades arqueológicas bajo la caracterización de tres perfiles: pecios, hallazgos aislados y zonas marinas.

Los elementos arqueológicos subacuáticos, tienen un valor destacado por tratarse de unidades independientes, como si se tratasen de cápsulas, tal sería el ejemplo de un pecio, y que, por tanto, considerado por el arqueólogo como un yacimiento arqueológico completo, dotado de una cronología que le dará su cargamento o tal vez, la arquitectura naval de la nave en cuestión.

Un pecio, difiere de otro de los casos posibles que se han registrado y denominado como "hallazgos aislados", en los que, a simple vista, se pueden encontrar objetos arqueológicos de los que se desconoce, si bien pueden formar parte de un pecio, del que todavía no se tienen suficientes pruebas, como para plantearse que pudiera tratarse de un yacimiento propio. En este grupo, podríamos incluir todo un repertorio de objetos, como pudieran ser anclas, ánforas, cepos de plomo, cañones e incluso lingotes de diferentes metales.

Algo similar ocurre cuando queremos interpretar una zona marina, donde se aprecian en su lecho marino, fragmentos de ánforas u otros materiales de diversos periodos, utilizada por las buenas condiciones y favorables características, que presenta la orografía de la costa y su relación con el contexto terrestre más próximo, al que podríamos denominar como "fondeadero arqueológico". En principio, podría

interpretarse como tal, dadas las condiciones de un fondo marino asociado a un relieve costero propicio para el descargue y embarque de bienes, con acceso próximo a agua potable, y que, según las evidencias subacuáticas, nos permite plantearnos que pudiera tratarse de un lugar frecuentado, de manera estacional, por las embarcaciones a lo largo del transcurso del tiempo.

El desarrollo de la Carta Arqueológica de Menorca, a nivel subacuático, no es un proyecto de corta duración, debido a que la exploración marina, depende de una línea de costa de 433 km., de los que 370 km. corresponden a la propia isla de Menorca, y los 63 km. restantes a islotes, entre los que se encuentran las islas *d'en Colom* y *del Aire*, con 5.8 km. y 3.8 km. respectivamente (Balaguer, Roig-Munar, Martín Prieto, & Carreras, 2017). A ello, le debemos sumar que la zona de buceo para el reconocimiento de prospección puede alcanzar fácilmente los 25-30 m de profundidad. Es un trabajo que se prolongará durante muchos años, y que, comportará un trabajo que debe planificarse de forma rigurosa y sin improvisaciones, a través de un plan que debe incluir varios técnicos o equipos de trabajo que vayan estudiando el litoral de forma sistemática.

Analizando con más detenimiento las entidades subacuáticas de la actual Carta Arqueológica de Menorca, muestran claramente que se localizan en litorales costeros muy concretos (Fig. 4), donde se han efectuado proyectos de prospección continuados, dirigidos por los miembros de la asociación *Amics del Museu de Menorca* (Aguelo & Pons, 2011; Pons & Aguelo, 2012) y por *Sanisera*, nuestra propia organización (Contreras et al., 2013; Sa Nitja, 1996; Sa Nitja 1997). La costa mejor conocida se localiza en la bocana del puerto de *Mahón*, *isla del Aire*, *cala de Binissafúller*, *Calescoves*, puerto de *Sanitja* y *Cala'n Busquets*. En otras zonas de la costa oeste de Menorca y de los puertos de *Addaia* y *Fornells*, se identifican de forma puntual algunas partes. El resto de la costa de Menorca, prácticamente no ha sido reconocida y, por tanto, el análisis que mostraremos en este análisis, es incipiente y básicamente será un punto de partida.

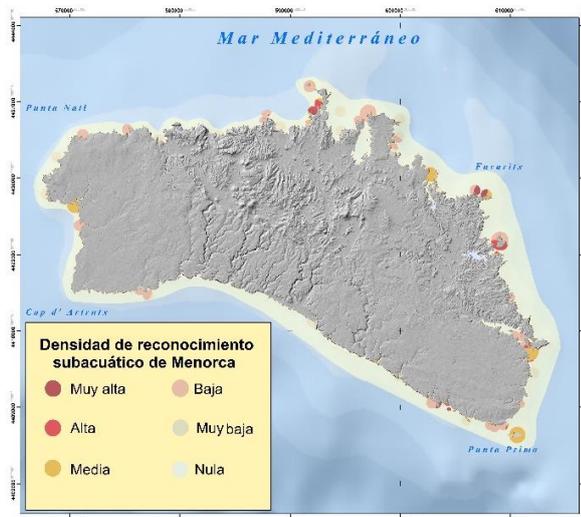


Figura 4: Territorio costero de Menorca reconocido a nivel arqueológico.

Sin lugar a dudas, la ayuda de herramientas SIG serán indispensables para continuar esta labor precursora y novedosa, que se comienza a aplicar en el registro arqueológico subacuático de Menorca. En los próximos años, veremos cómo los SIG serán utilizados para la generación de mapas, analíticos y temáticos, que contribuirán a la interpretación arqueológica, utilizando plenamente las técnicas de análisis y manipulación de la información espacial de que disponen empleando por citar algunos ejemplos, estimaciones en base a la interpolación, cálculos de visibilidad, distancia, topografía, etc. (García Sanjuan, 2005).

Tal y como hemos comentado, nuestro propósito era conjugar los elementos arqueológicos con los factores medioambientales a los que se asocian. De esta forma, nuestro trabajo ha consultado los referentes de investigaciones tradicionales que han pretendido interpretar los aspectos históricos y arqueológicos del mar Mediterráneo. Las obras de Rougé (Rougé, 1981), estableciendo estudios de rutas de navegación y comercio, y la de Schüle (Schüle, 1970) con un análisis de la visibilidad costera, fueron el punto de partida para comprender cómo el agente marino está relacionado con cualquier aspecto que acontece en los territorios continentales o insulares. Otro caso interesante es el que publicó Braudel (Braudel, 1998), que es quien comenzó a darle importancia a los factores naturales, que establecen los vientos y las corrientes marinas en el Mediterráneo, y que relacionó, con los acontecimientos históricos de toda península e islas que contornea nuestro mar (Cerezo, 2013). Una nota interesante en este sentido, es la obra de Abulafia que pretende explicar la historia del hombre teniendo como eje central el mar Mediterráneo siendo el nexo al que todo confluye (Abulafia, 2011).

También merecen citarse los estudios efectuados desde una perspectiva más fundamentada en aspectos documentados a través de la arqueológica subacuática. Los de Arnaud, y en concreto de Guerrero Ayuso (Guerrero, 2005) en las islas Baleares, fueron precursores de una línea de investigación muy interesante, más cuando se deben efectuar estudios que inciden en el comportamiento arqueológico de un espacio insular, como es el caso de la isla de Menorca.

En los trabajos de Arnaud (Arnaud, 2005) y Guerrero (Guerrero, 2006), los condicionantes que parten de la antigua náutica, son tales como la navegación, la ingeniería naval o las instalaciones portuarias, que fueron aspectos que debían conjugarse para establecer un análisis más completo de las rutas comerciales y de su flujo de tránsito desde tiempos prehistóricos hasta la introducción de los primeros buques propulsados a vapor.

Concretamente en la gran obra de Arnaud, detalla claramente cómo los agentes naturales de los que depende la navegación son el viento, las corrientes y la morfología de la costa. Otro estudio que hemos consultado es el de Oleson (Oleson et al., 1989), según él, la navegación clásica -de cabotaje- que dependía del viento y de la experiencia en navegación del marinero tuviera sobre elementos de referencia o perfiles costeros para saber dónde se debía encontrar refugio en costa ya fuera en fondeadero, puerto o recodo cada 50 o 70 km con la intención de repostar o bien efectuar las debidas transacciones comerciales (Cerezo, 2013).

Otro estudio interesante es el de Díes, que, a partir de un estudio de la navegación fenicia, estudió las rutas comerciales que pudieron establecerse analizando vientos, corrientes o visibilidades relacionándolo con yacimientos costeros terrestres (Díes, 2005). Un estudio de corte similar, sobre corrientes e itinerarios de navegación en tiempos clásicos, teniendo como referencia los derroteros de navegación publicados, fue plasmado por Ruiz de Arbulo (Ruiz de Arbulo, 1990).

3. Módulos temáticos que relacionan la arqueología al medio subacuático de Menorca

A continuación, se describirán los distintos contenidos que se han introducido en el SIG, como primer soporte y fuente de información, a los que se le añadió, en última instancia, la documentación procedente de la Carta Arqueológica de Menorca.

3.1. Modelado del fondo marino

La representación batimétrica fue esencial para conocer el medio marino de la costa que envuelve Menorca, y que, para este proyecto, se representó abarcando el área que cubre el radio exterior de la isla y que distase a un máximo de 1 km de la costa (Fig. 5).

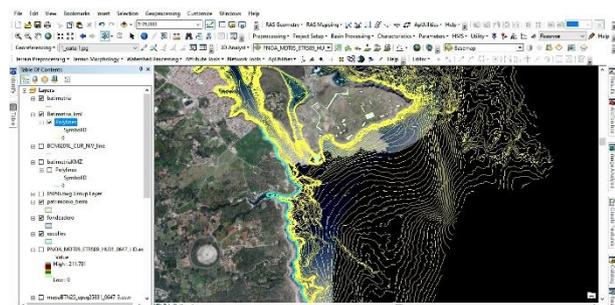


Figura 5: Procesando la capa de batimetría en ArcGIS. En este caso, se muestra como ejemplo, el mapa de profundidades de la bocana del puerto de Mahón.

Conocer las profundidades, a nivel arqueológico, nos aproximó a seleccionar y discriminar cuáles pudieron ser las zonas marinas más aptas al fondeo, marcando un valor de rango del límite más ajustado a 1.20 m de calado para aquellas embarcaciones de eslora reducida, que no alcanzasen 10 m de longitud.

La batimetría que se refleja en nuestro SIG deriva de la fuente que ofrece la página web del Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico de España, y se descargó en formato KMZ. Esta batimetría se representaba en forma de isóbatas de 1 m de equidistancia mediante una geometría expresada en líneas.

3.2. Cartografía histórica

Se consideró que cualquier tipo de representación gráfica que pudiera aportarnos información sobre la transformación del paisaje litoral debíamos incorporarla a nuestra plataforma SIG. Por este motivo, consultamos la cartografía histórica de Menorca que contempla un gran lote de mapas como resultado de los intereses de varios imperios internacionales como el británico, francés y español que veían a Menorca como una isla estratégica, para controlar las aguas del Mar

Mediterráneo occidental, detallando los aspectos que más les interesaba, a nivel militar y territorial de la isla (Soler Gaya, 2004).

Lamentablemente, este tipo de documentación cartográfica, no acabó siendo demasiado relevante para nuestro estudio. No obstante, pudimos documentar ciertos aspectos que tuvimos presentes en los mapas que se generaron a lo largo del proyecto. Tales aspectos hicieron referencia a los cambios que ha sufrido la fisonomía costera del relieve de Menorca, a lugares donde se produjeron enfrentamientos navales, a defensas de protección del puerto de Mahón mediante un sistema de cadenas, a pozos, a fuentes de agua para provisionarse, a estructuras relacionadas con la producción de la sal y a la lectura sugerente de la toponimia.

En cuanto a los aspectos que tienen que ver con las modificaciones del relieve costero insular original de Menorca, contamos con uno de los primeros mapas que elaboraron los ingleses, conocido como Pilot, editado a inicios del siglo XVIII en 1703 (Fig. 6), siendo además uno de los más precisos del puerto de Mahón (Vidal, 2014). En él, se puede observar la reforma que se efectuó para conectar *Cala Teulera* con la zona marítima del interior del puerto, en el canal conocido con el nombre de *Sant Jordi*. Además, se plasma como la *Isla Pinto* es un islote separado de tierra, a la que se unió, cuando se efectuaron reformas en las instalaciones portuarias para instalar espacios para la construcción y mantenimiento de embarcaciones.

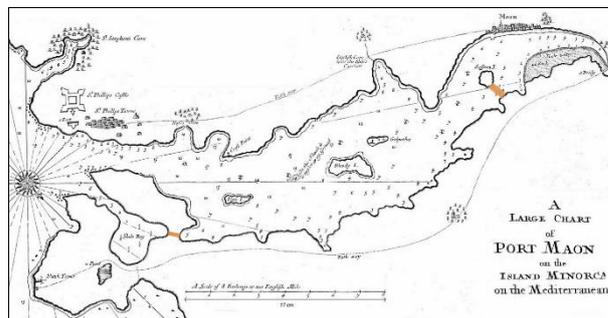


Figura 6: Relieve costero original del puerto de Mahón señalándose en color naranja, los cambios que sufrió en tiempos más recientes. Mapa "Pilot" de inicios del siglo XVIII.

El canal de *Sant Jordi*, también conocido como el *Canal de Alfonso XIII*, se construyó en 1900, para conectar vía marítima *Cala Teulera*, próxima a la bocana del puerto de Mahón, con la zona más próxima a la *Isla de la Cuarentena* dejando a un lado el *Lazareto de Mahón*. Con esta obra de ingeniería militar, se separó la península de *la Mola*, de la península del *Lazareto* con el objetivo, de defender mucho mejor la *Fortaleza de la Mola* y poderla abastecer con más seguridad y regularidad, ya que no existía un vial terrestre desde el puerto de *Mahón* a la *Mola*. El hándicap de *la Mola* era que el transporte marítimo debía bordear el *Lazareto de Mahón*, llegando casi hasta la bocana del puerto, y desde allí, cambiar el rumbo para alcanzar *Cala Teulera*. En muchas ocasiones, era muy arriesgado el desembarque del abastecimiento en *La Mola* porque las corrientes del oleaje y temporales que se concentran en la bocana del puerto de *Mahón*, dificultaban las maniobras de desembarque en *Cala Teulera*. La construcción del Canal solucionó este tipo de problemas y redujo la vulnerabilidad defensiva de la *Fortaleza de la Mola*.

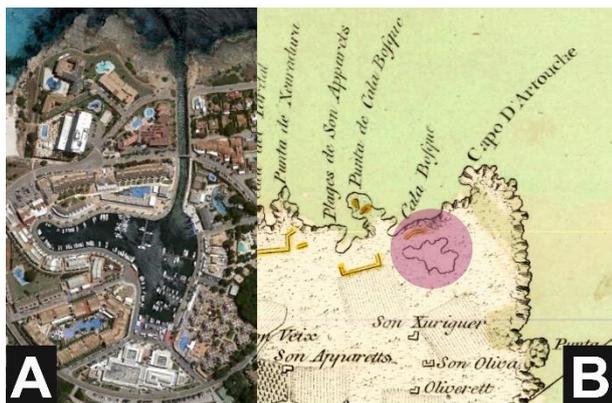


Figura 7: A: Puerto deportivo de Cala'n Bosch en la actualidad. B: Grabado de laguna natural de Cala'n Bosch en 1780, según un grabado británico (Anónimo, 1780).

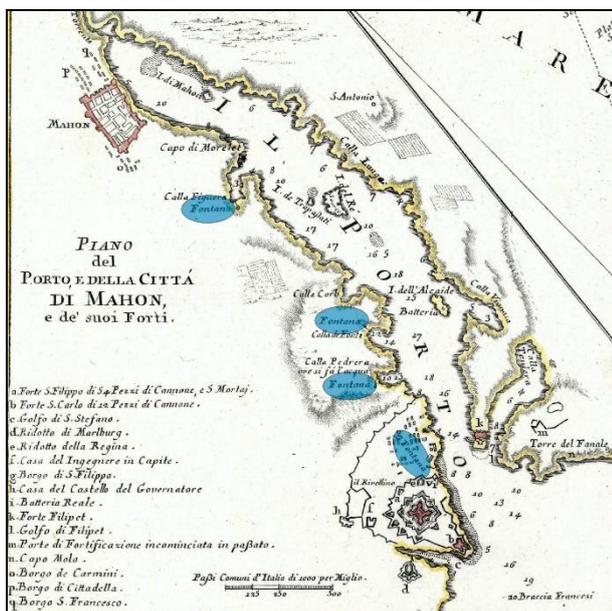


Figura 8: Se indica en azul, las zonas de abastecimiento de agua en el caso concreto del puerto de Mahón según un grabado de 1778 elaborado por Antonio Zatta.

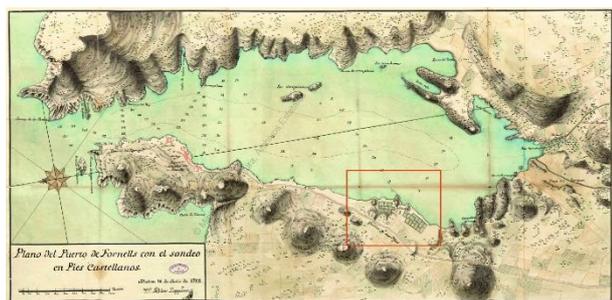


Figura 9: Representación de las salinas antiguas en el puerto de Fornells según un plano de 1782 (Zappino, 1872).

Continuando la revisión de otros mapas cartográficos, pudimos consultar un mapa anónimo editado en 1780 (Anónimo, 1780), que sería uno de pocos planos que representaron a *Cala'n Bosch* (Fig. 7B), lugar donde se encontraba una de las pocas zonas de aguas dulces estancadas en la isla de Menorca.

La laguna de *Cala'n Bosch*, situada en la costa sureste de Ciudadella, hacia mediados de los años 80 del siglo XX, fue reconvertida para fines de índole recreativa y deportiva (Fig. 7), instalando en ese lugar, una

urbanización con un puerto deportivo que se conectaba a través de un canal artificial que se excavó, para conectar la laguna con el mar abierto. El puerto deportivo sirve en la actualidad, para que las embarcaciones de reducida eslora puedan fondear en un lugar seguro y puedan disfrutar en sus tiempos de ocio de la costa sur de Menorca.

Desgraciadamente para la arqueología, la laguna fue dragada para conseguir más calado. Hubiera sido interesante efectuar un seguimiento técnico de las obras ya que su emplazamiento y su condición de embalse de agua dulce debió implicar el asentamiento a su alrededor, de población, desde los tiempos prehistóricos, y en base a ello, al registro de instalaciones relacionadas con la pesca, fondeo y navegación.

A nivel arqueológico, la intensa actividad militar que desprende la bocana del puerto de *Mahón* (Rosselló, 2003; Terrón Ponce, 1981), la convierte de suma importancia para la programación de un proyecto futuro de prospecciones sistemáticas.

Otro aspecto que se ha consultado en este tipo de cartografía, ha sido la representación de aquellos lugares que fueron registrados, como fuentes o pozos para el abastecimiento de agua y aprovisionamiento de las embarcaciones (Fig. 8). Una vez fueron leídas varias cartas, se incorporaron al SIG para que pudieran formar parte del análisis, de cara a estimar las zonas marinas más propicias al fondeo, cargas, descargas y actividad humana en la costa.

Cambiando de puerto, si dirigimos nuestra mirada al de *Fornells*, también muy importante a nivel estratégico para controlar desde allí la costa del norte de Menorca, conserva una buena colección de mapas. En nuestra opinión, destaca el "*Plano del puerto de Fornells con el sondeo en pies castellanos*" (Fig. 9), del que lo que más nos interesa, es conocer las infraestructuras portuarias de la producción de sal, que promovió una comunidad de griegos durante el periodo de dominio inglés durante el siglo XVIII, y donde también se ilustran las defensas militares y el urbanismo de *Fornells* (Zappino, 1872).

3.3. Recursos hídricos

En este bloque de información, se tuvieron en cuenta la hidrología procedente de pozos, fuentes, aguas torrenciales y humedales próximos a la costa, que nos ayudarían a estimar, qué zonas marinas pudieron ser más aptas, a la práctica del fondeo para abastecerse de agua dulce, a la instalación de núcleos de población en sus proximidades, y a las actividades de explotación de los recursos marinos, tales como la pesca.

A la hora de situar a nivel espacial, las fuentes naturales próximas al litoral de Menorca, hemos utilizado la documentación publicada en la IDE de Menorca y del centro de descarga de archivos SHP del Instituto Geográfico Nacional. Y se han añadido, todas aquellas referencias que proceden de la cartografía histórica que mencionan los lugares que pudieran suministrar agua. Los topónimos de referencia han sido "*poù*", "*fontana*" y "*font*".

En cuanto a los humedales, se analizaron la laguna de *Cala'n Bosch*, los de *s'Albufera des Grau*, y el *prat de Son Bou*, porque sus aguas debieron facilitar el asentamiento humano durante los periodos prehistóricos, romanos e islámicos.

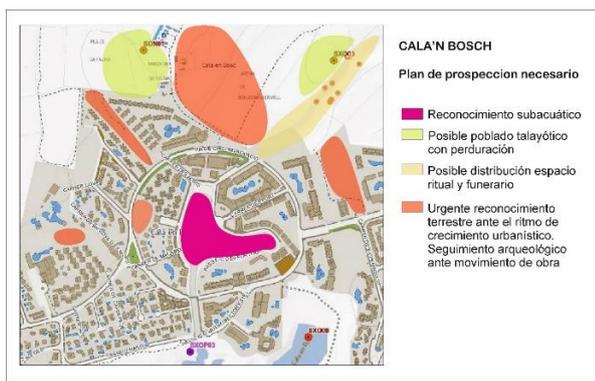


Figura 10: Laguna natural de Cala'n Bosch reconvertida a puerto deportivo. Se delimitan las zonas que requieren seguimientos de cualquier tipo de obra que altere el subsuelo de la urbanización.



Figura 11: De la Albufera de Es Grau deben descubrirse en los próximos años más yacimientos, tanto terrestres como subacuáticos dadas sus particularidades como acuífero.

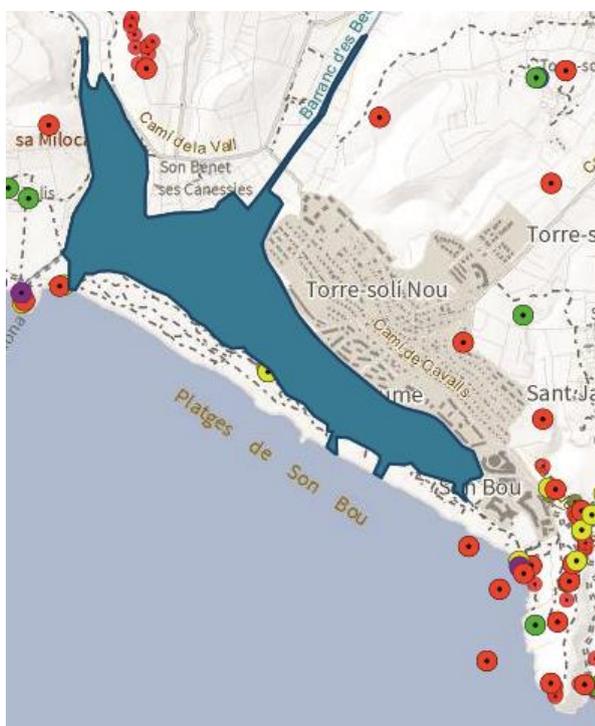


Figura 12: Distribución de yacimientos terrestres próximos a la costa del litoral del humedal de Son Bou que están registrados en la Carta Arqueológica de Menorca y en IDE Menorca.

En el caso concreto de *Cala'n Bosch*, tenemos constancia de un poblado talayótico sobre *Es canaló de Cala'n Bosch* (SXO02) con espacios funerarios (SXO03). También se encuentra a poca distancia, un talayot que podría estar asociado a un segundo asentamiento en *Son*

Olivar Nou (SON01). En esos lugares, se han encontrado cerámicas que demuestran su perduración en tiempos romanos. Consideramos que debería efectuarse una documentación más intensa de los alrededores de *Cala'n Bosch* e incluso de las zonas verdes o parcelas de la urbanización que todavía continúan libres de edificaciones modernas. Serán necesarios seguimientos arqueológicos cuando se efectúen nuevas edificaciones o reformas generales en los servicios comunes de la urbanización (Fig. 10).

Una segunda zona acuífera es la que conforma la *Albufera de Es Grau*. Llama nuestra atención que en la Carta Arqueológica de Menorca en el territorio que circunda la albufera no se hayan registrado yacimientos arqueológicos de ningún tipo, y dada la importancia del acuífero, siendo el único y de grandes extensiones que no tenga yacimientos en sus zonas más próximas. Estos territorios colindantes a la Albufera (Fig. 11), pudieran ser propicios a asentamientos de hábitats, tal vez de culto, ofrendas y rituales, así como espacios aptos al ganado y al cultivo. Y no debe descartarse en absoluto, que fuera navegable con embarcaciones de escaso calado para actividades de pesca o recolección de moluscos. Actualmente, la Albufera de *Es Grau* es una laguna circundada por pequeñas colinas, ocupa una lámina de agua de unas 76 ha y 43 ha de zona marítimo-terrestre. La profundidad media es de 1.5 m, llegando a alcanzar en algunos lugares, 3 m de profundidad (Truyol, 2003).

Posiblemente sería uno de los lugares donde, debido a sus condiciones de estancamiento de aguas interiores, puedan encontrarse elementos prehistóricos, restos de pequeñas embarcaciones de pesca, o bien la deposición de objetos arqueológicos, con motivo de posibles ritos. En línea con estos planteamientos, tenemos que entender que, por ejemplo, que si en la *Illa d'en Colom*, hay evidencias de minas prehistóricas o asentamientos prehistóricos anteriores al primer milenio, lógicamente los grupos humanos se desplazaron desde la costa hasta allí en embarcaciones, y posiblemente, ese mismo sistema de navegación o muy semejante pudo emplearse para aprovechar los recursos naturales que ofrecía la *albufera de Es Grau* que se encuentra a poca distancia de la *Illa d'en Colom*.

Por su parte, el *Prat de Son Bou* (Fig. 12), a modo de laguna litoral, actualmente está alimentada por las aguas dulces de los barrancos de *Son Boter* y *del Bec*, situados al oeste, y de *Son Bou*, situado al este. La mayor parte de las aguas que nutren la zona húmeda son dulces, y provienen del acuífero mioceno de *Es Migjorn Gran* (Fornós & Segura, 2003). Observamos como a su alrededor, a escasa distancia de la zona pantanosa, fue una zona habitada desde el periodo pretalayótico prolongándose hasta el periodo islámico con yacimientos emplazados en lugares estratégicos como *Daia Nou* (DEN 05) con una visibilidad espectacular y dominante de la zona acuífera y costera. Enfrente de este yacimiento, otro de periodo talayótico que debería estudiarse si fue ocupado en tiempos más antiguos, estaría en la cima *Des Penyal de Sa Miloca* (PIN03), yacimiento en una formidable posición para el control del embalse de aguas y próximo al litoral. No hay que olvidar otros yacimientos que también se encuentran a escasa distancia de la costa del periodo postalayótico o de la antigüedad tardía, e incluso un grupo de yacimientos que hay sobre la cima de *Llucalari*, en situación de igual forma estratégica y de control que acaban por circunvalar el humedal de *Son Bou*.

3.4. Orografía costera

La fisonomía que modula el relieve costero, y más de un territorio insular, determinará muchos aspectos relacionados con la navegación y sus rutas, servirá para establecer lugares de control estratégico, zonas de acceso de atraque y desembarque de mercancías, espacios empleados como punto de escala, fondeaderos, instalaciones portuarias y un largo etcétera de tareas similares. La orografía litoral más propicia al desarrollo humano estará condicionada a los factores favorables dependientes de los diferentes vientos, corrientes y mareas.

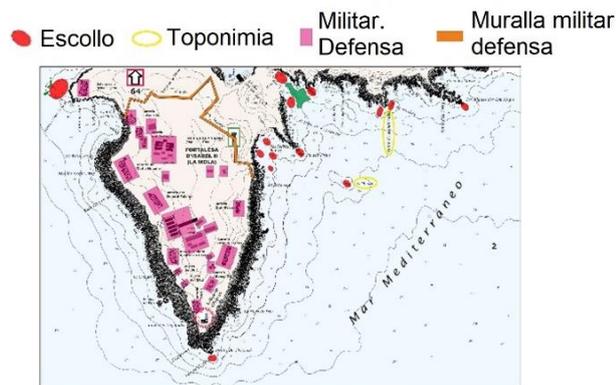


Figura 13: Un ejemplo de los derroteros de la carta náutica de Menorca elaborada por A. Buenaventura. Toda representación de escollos o arrecifes -en rojo- se registró en SIG.

Uno de los elementos que se deben tener más en cuenta de la orografía serán los salientes, escollos o arrecifes marinos que se encuentran a poca distancia de la costa (Fig. 13). Este elemento geográfico puede determinar el rumbo de las embarcaciones, ser la causa de un accidente marítimo si las embarcaciones colisionarán en estos lugares y, por tanto, merecen considerarse como un tema a registrar en un proyecto SIG de arqueología subacuática a la hora de efectuar los análisis que se relacionarán con su posición geográfica y el más que probable hallazgo subacuático de pecios y anclas.

Para elaborar la documentación sobre arrecifes y escollos en el registro de nuestro SIG, como zonas peligrosas y de riesgo de accidente, hemos recurrido a las cartas náuticas locales, y más en concreto, a la excelente y ejemplar publicación, que es esencial para cualquiera que circunnavegue Menorca en la actualidad, los derroteros que A. Buenaventura representó de todo el litoral de Menorca (Buenaventura, 2008). También hemos valorado la información que desprenden algunas cartas históricas, como las que elaboraron el mapa de Pilot que especifican con cierto rigor, las zonas más peligrosas que se encuentran en los alrededores de Menora, de sus islas e islotes (Fig. 14) (Vidal, 2014).

Otro aspecto relacionado con la orografía son los espacios destinados a fondeaderos y puertos. Que una zona marina próxima a la costa sea un buen lugar para practicar el fondeo de las embarcaciones dependerá de varios factores: fondo marino donde “agarrar” la ancla, profundidad o calado mínimo, evitar fuertes corrientes, oleajes y protegerse de los vientos con altitudes costeras elevadas, citando los que consideramos más importantes.

En nuestro proyecto SIG se han registrado cien zonas marinas de Menorca como posibles fondeaderos, con cinco diferentes categorías, de mayor a menor, en base a su relevancia: puerto, cala, calita, refugio y parada (Tabla 1).

Tabla 1: Zonas de fondeo clasificadas según su excelencia

Categoría	Topónimos
Puerto	Port de Maó; Es Grau ; Port d'Addaia ; Port de Fornells ; Port de Sanitja ; Port de Ciutadella
Cala	Cala Rata – Mahón; Cala Figuera – Mahón; Cala Llonga -Mahón; Cala Pedrera - Mahón; Cales Fonts - Mahón; Cala Teulera - Mahón; Cala Sant Jordi - Mahón; Cala Lladró - Mahón; Cala des Grecs - Mahón; Cala de Sant Esteve; Cala Mesquida; Ses Llanes, Es Grau; Cala de Mongofre - Addaia; Cala Molí; Cala'n Busquets - Ciutadella; Cala des Degollador; Cala Santandria; Cala Blanca; Cala'n Turqueta; Cala Macarella; Cala Mitjana; Cala de Trebalujer; Calescoves; Cala de Binissafúller; Cala de Binibequer; Cala d'Alcaufar
Calita	S'Apartió - Mahón; Cala Fonduco - Mahón; Cala Corb - Mahón; En Cavallo - Mahón; Binillautí - Cala Mesquida; Cala Avellana - Es Grau; Cala Tamarells - Es Grau; Cala Rambla - Illa d'en Colom; Cala Morella - Illa d'en Colom; Cala d'en Caldes - Illa d'en Colom; Platgeta des Sivinar - Addaia; En Brut o Savinar de Mongofre; S'Arenalet - Fornells; Caló des Llenyam - Fornells; Cala d'en Calderer - Illes Bledes; Cala d'en Carbó - Illes Bledes; Ses Fontanelles; Cala Morell; Dormidor Ses Barques – Xoriguer ; Cala'n Bosch; Son Xoriguer; Cala Parejal; Cala de Son Vell; Es Banyul o Son Saura; Es Talaier; Cala Macarelleta; Cala de Santa Galdana; Cala Fustam; Cala Escorxada; Caleta de Llucalari; Caleta de Torre Vella; Caleta de Sant Llorenç; Cala Canutells; Cala de Binidali; Cala de Biniparraix; Es Caló Blanc; Caló fondo; Cala Biniancolla
Refugio	Es Murtar; Cala Prudent; Cala Torta; Platja des Bot; Cala'n Forcat
Parada	Ses Pedres Blaves - La Mola; Es Freus Grans - La Mola; Arenal d'en Castell; Arenal de S'Olla - Son Parc; Cala'n Tosqueta -Son Parc; Arenal de Tirant; En Saler - Tirant; Cala Viola de Ponent; Platja de Cavalleria; Cala Mica; Platja de Binimel·la; Cala Pregonda; Cala Barril; Ets Alocs; Cala del Pilar; Macar de sa Teula -costa norte; Macar d'Alfurinet -costa norte; Calanca de s'Amarador; Calespiques; Cala en Bruch; Cala'n Blanes; Sa Farola; Cala'n Bastó -sur de Ciutadella; Cala'n Porter; Racó des Moll - Illa de l'Aire; Platja de l'Aire - sur de Alcaufar

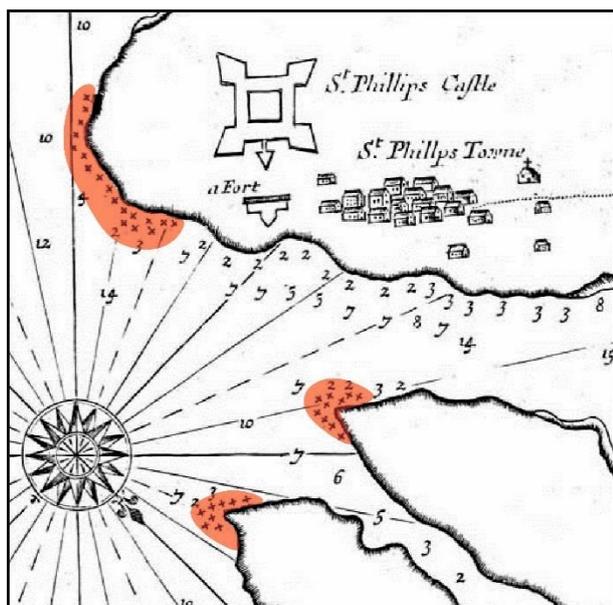


Figura 14: Se han incorporado al SIG los escollos representados en la cartografía histórica más fidedigna.

En este sentido, el primer lugar con mayor excelencia sería un puerto, considerado como el espacio más idóneo para fondear, en un lugar muy protegido, de máxima seguridad para la embarcación y sin riesgos de accidentes, cerca de un habitat que pudiera ofrecer el máximo posible de recursos para abastecerse de provisiones, promover el comercio e intercambio de bienes de diferente índole. De Menorca han sido registrados seis puertos: *Mahón, Es Grau, Addaia, Fornells, Sanitja y Ciutadella*.

En segundo lugar, tendríamos el término “cala”, también lugar muy apto para el fondeo que no contaría con todos los elementos que se pueden encontrar en un puerto, contabilizándose 26 calas en la isla.

En cuando al tercer nivel, la “calita”, con 38, seguida de un “refugio” donde solamente serían zonas de fondeo propicios para temporadas muy cortas de tiempo, a modo de zonas de descanso, clasificando 5 en Menorca; y finalmente, la “parada” improvisada a medio camino de la travesía que tiene planificada una embarcación en su hoja de ruta, de la que se han identificado 30.

3.5. Cambios en la morfología del litoral de Menorca

A todo arqueólogo que investiga la isla de Menorca, y en particular, a aquellos que estudian yacimientos terrestres próximos o asociados a la costa, les gustaría reconstruir el litoral de los tiempos pasados, para saber qué áreas del litoral fueron invadidas por el agua marina o bien conocer, aquellas superficies del litoral que ganaron terreno al mar. El interés arqueológico, en este sentido, pretende descubrir yacimientos terrestres más próximos al litoral, y que, actualmente se encuentren sumergidos en el lecho marino a cierta distancia de la costa.

Para conocer las posibles áreas terrestres que estuvieron inundadas por el mar, y las áreas marinas que habrían cubierto partes del área costera, se decidió tener en cuenta dos aspectos ambientales. Por un lado, conocer los cambios que afectan al nivel del mar y, en segundo lugar, las transformaciones que afectaron a la línea de costa a causa de la erosión.

Según las premisas fijadas desde una perspectiva arqueológica, nos hemos ajustado de manera orientativa y con cierta relatividad, a una reconstrucción hipotética, en la medida de lo posible, situada en torno a las fechas próximas al 1000 a.C. (Vacchi, et al., 2016).

Según algunos autores, durante el año 3000 a.C., sobrevino un ligero aumento del nivel del mar Mediterráneo que alcanzó los 0.8 m, y que, desde entonces, fue gradualmente descendiendo hasta situarse en la cota de altura que presenta en la actualidad (Lambeck, Esat & Potter, 2002). Por esa razón, y a partir de varios cálculos, se ha estimado que el nivel del mar en torno al 1000 a.C. debía ser más alto al de la actualidad, estimando una elevación de 0.4 m respecto a la del presente.

De esta forma, hemos representado la reconstrucción de la línea de costa que dibuja la fisonomía del litoral menorquín, a partir del cálculo que hemos podido generar, y que ha empleado como base cartográfica, un modelo digital del terreno (MDT) de 2 m x 2 m. Una vez introducida en ArcGIS, se ha empleado la herramienta *Reclassify* de *ArcTool Box* que ha servido para poder demarcar las áreas superficiales que quedaban entre los 0 m y los 0.4 m, a las que se les ha aplicado las tasas anuales de erosión y agradación, propuestas por estudios de erosión costera realizados en la isla de Menorca (Martín, Carreras Martí & Pons, 2020), con un 60% de reducción para aproximarnos a las previsibles condiciones de la isla situado hacia el año 1000 a.C. (Fig. 15).

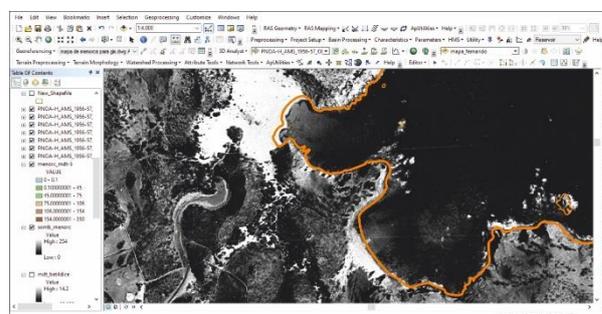


Figura 15: Mediante el soporte de la fotografía en b/n de 1956, se representa la reconstrucción de la línea de costa entorno al año 1000 a.C., ilustrando el vector en color naranja. En este caso, se detalla la reconstrucción a su paso por la costa norte de la platgeta de Savinar y Cala de Mongofre.

La reconstrucción de la línea de costa al año 1000 a.C., se georreferenció empleando de base una fotografía aérea en blanco y negro del año 1956, cuando se planificó un vuelo programado por los EEUU, que documentó todo el territorio insular de Menorca, y que, además, luego se comparó con otras fotografías actuales procedentes del Programa Nacional de Fotografía Aérea (PNOA).

El resultado de este análisis indicó que las playas de la isla de Menorca desde el año 1000 a.C. hasta la actualidad, han ido sufriendo ciertas alteraciones morfológicas que, por lo general, no merecen destacarse. Tan solo deben comentarse los cambios más significativos que se localizan en ciertos puntos del litoral menorquín de los puertos de *Addaia* (Fig. 16), *Fornells, Sanitja* y de *cala Pregonda*.

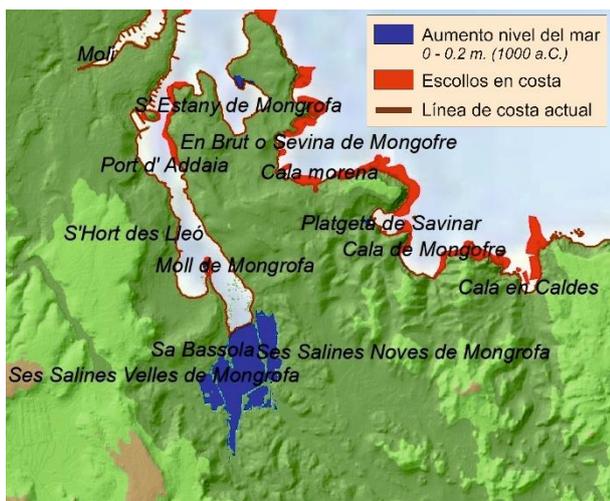


Figura 16: Detalle del aumento del mar en el puerto de Addaia que se aprovecharía como recurso de explotación salina.



Figura 17: Sectores costeros del puerto de Fornells donde aumentó el nivel del mar.

Hacia el año 1000 a.C., la cabecera del puerto de *Addaia* estaba inundada con una lámina de agua que abarcaría un tramo lineal de costa de 700 m ocupando una extensión de terreno superficial de 0.25 km². En cuanto a Fornells (Fig. 17), el área oeste del puerto, el mar invadiría una superficie aproximada de unos 0.11 km².

En ambos puertos, es muy interesante destacar como a nivel etnológico, contamos con una documentación que debería estudiarse mucho mejor, y que se relaciona con la explotación de la sal que una comunidad de griegos, durante un periodo de dominación inglesa de la isla, decidió intentar producir sabiendo aprovechar las condiciones morfológicas que presentaban los puertos de *Addaia*, cerca de *Mongofre*, y en *Fornells*, en la actual instalación denominada *Salinas de Concepción* (sur) y en *Ses Salines Velles*, al norte de *Cala Teulera*.

En el puerto de *Sanitja*, y más concretamente en su ensenada más interior, nos planteamos que pudiera ser mucho más amplia y extensa, ya que el mar pudo cubrir una extensión de 0.01 km², según el cálculo estimado que nos ha facilitado nuestro proyecto en ArcGIS. Este tipo de documentación que hemos conseguido averiguar, nos sirve para entender cómo pudo ser la morfología de *Sanitja*, pudiendo ser absolutamente lógica y cierta, si la relacionamos con los estudios arqueológicos que actualmente están en curso en este puerto (Fig. 18).

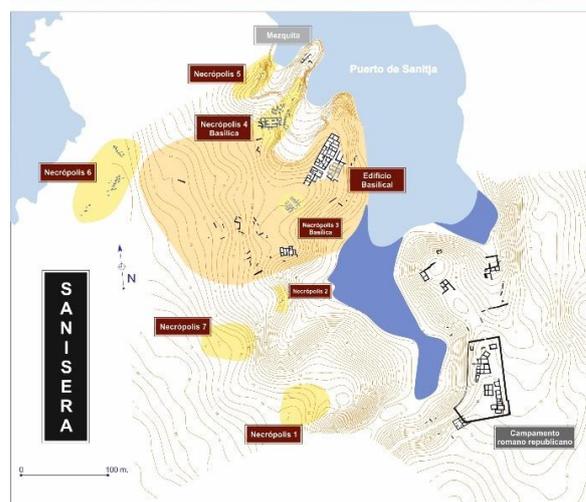
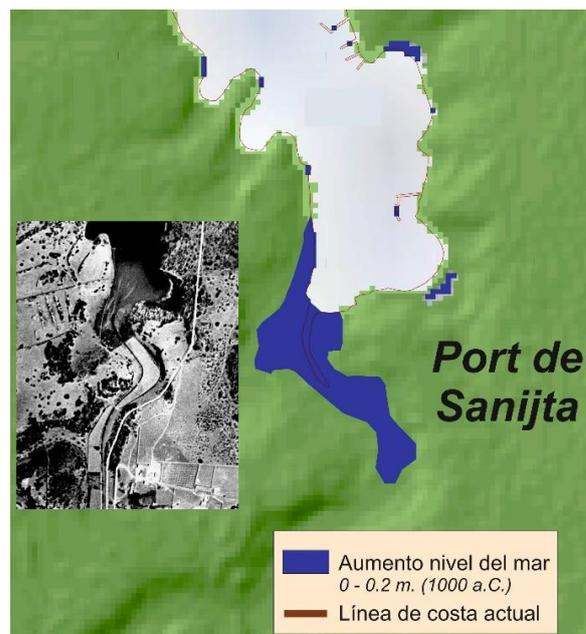


Figura 18: Cambios en el paisaje litoral del puerto de Sanitja que hacen más entendible el asentamiento de los restos arqueológicos.



Figura 19: Cala Pregonda pudo albergar un puerto antiguo utilizado durante el periodo romano.

En cuanto a la transformación que se percibe en *Cala Pregonda* (Fig. 19), en la que el mar se adentraría invadiendo una superficie que podría extenderse hasta 0.03 km², y que sería absolutamente comprensible y en consonancia, con los restos del yacimiento de *S'Embarcador de s'Alairó* que pudo ser parte de un antiguo y pequeño puerto (De Nicolás & Pons Carreras, 2020).

Citamos a continuación las zonas donde se registran la mayor erosión hasta los tiempos actuales, y que por tanto, habrían estado cubiertas de agua hacia el 1000 a.C., y que corresponderían a las de la costa norte: *Arenal de Boval de S'Olla* (0.12 km²), *Arenal de Tirant* (0.07 km²), *Arenal d'en Castell* (0.04 km²), las de la costa del este de la *Illa d'en Colom* (0.02 km²), y de *Es Banyull*, y las del sur, como es la de *Son Saura* (0.11 km²). También es interesante, en el costado oeste, la de *Cala Blanca* (0.027 km²).

3.6. Los agentes climáticos que condicionan la navegación

Hemos incorporado la información referente al viento, oleaje y corrientes porque influyen en gran medida sobre la navegación que se practicó en tiempos prehistóricos, clásicos o bien modernos ya que nos interesaba evaluar, si se podían establecer patrones lógicos que nos podían explicar el comportamiento espacial y de densidad probabilístico de restos arqueológicos subacuáticos en forma de pecios, hallazgos aislados y zonas marinas utilizadas como fondeaderos.

A grandes rasgos, sabemos que la navegación dependía absolutamente de la fuerza del viento que podía impulsar favorablemente una embarcación o bien que podía dificultar su travesía pudiendo incluso hundirla. El hombre estuvo absolutamente condicionado al viento y tuvo que planificar sus rutas generalmente caboteando la costa y efectuando sus paradas en los fondeaderos donde se podía abastecer y efectuar sus transacciones. La navegabilidad se efectuaría de forma más intensa y regular en las temporadas con fuerzas de viento más moderadas, y de menor riesgo, en las estaciones de primavera y de verano.

Así pues, el viento, y su consecuente oleaje, marcarían unos circuitos de navegación con rumbos, distancias regulares, tiempos de duración entre lugares de partida y destino, que a medida que iría transcurriendo el tiempo, y la introducción de avances en la ingeniería de construcción, de embarcaciones con la introducción del timón, técnicas más eficaces que aprovecharían el velamen, el conocimiento de la astronomía para orientarse por la noche, referencias en costa como faros y nuevos instrumentos cartográficos, conseguirían un progresivo aumento del tráfico marítimo.

En el caso que atañe a la isla de Menorca, hemos tenido que analizar los vientos de gregal, levante, mistral, poniente, siroco y tramontana. Mediante el análisis de los datos diarios de las boyas marinas de Puertos del Estado de España, se recogieron las variables de dirección del viento y de su intensidad en m/s y km/h. También se consultaron los parámetros que proporcionan las estaciones eólicas de *Ciutadella*, *Sant Lluís* y *Mahón*. La información se incorporó al SIG en formato Excel representando cada boya o estación eólica como un punto con coordenadas geográficas y

posteriormente, se interpolaron las velocidades de los vientos con la herramienta *IDW de ArcTool Box* que acabó generando una imagen ráster con un continuo espacial de datos referentes a la intensidad de viento.

Una vez analizado el comportamiento de los distintos tipos de vientos que afectan a Menorca, se percibió cómo los vientos de *Tramuntana* y *Gregal* son los más intensos y coinciden con vientos de componente norte y noroeste, respectivamente. El grado de incidencia máximo se encuentra en la costa del norte, entre *Favaritx* e *Illes Bledes* (Fig. 20).

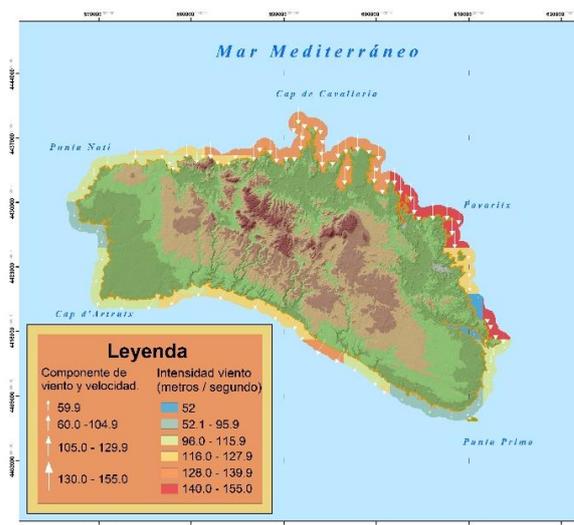


Figura 20: Representación de la ráfaga de viento máximo a un kilómetro de la costa de Menorca.

En cuanto al oleaje, nos interesaba registrar la información que procede de la altura, la intensidad y la constancia que pueden alcanzar las olas. Debe saberse que las olas del Mediterráneo son más cortas y más molestas que las del Atlántico y, que, además, es muy frecuente el estado de "mar de fondo" que dificulta mantener un rumbo constante de la nave incrementando su riesgo de accidente.

Necesitábamos estudiar cómo afecta el oleaje a la zona más próxima a la costa de Menorca para relacionarlas a los lugares que pudieran ser considerados como fondeaderos y a la condición favorable o de riesgo de hundimiento que afectaba a las embarcaciones en sus rutas desde sus lugares de origen a destino.

En la actualidad, podemos consultar las tablas de la escala Beaufort (Román Lozano, 2008) para conocer el nivel del viento señalando que cuando la velocidad es superior a los 40 nudos, podríamos naufragar. Por su parte, la escala de Douglas para saber la altura de las olas que indica que a más de 1.25 m de altura -nivel 4- la navegación comienza a ser peligrosa si proseguimos la travesía.

Los aspectos relacionados con las corrientes han sido incorporados a nuestro estudio, pero dándoles menor importancia, ya que no son un factor que impidió la navegación durante la antigüedad o en los tiempos modernos, porque su intensidad es muy discreta, de una media de 0.2 a 0.5 nudos, que no perjudicaba el desplazamiento de las naves por el Mediterráneo. La fuente sobre corrientes marinas que hemos manejado procede del modelo computacional de la NASA/JPL denominado Estimación de la Circulación y el Clima del

Océano conocido como ECCO2 (ECCO, 2021) que va registrando mediante boyas instaladas en el mar, los datos referentes a la dirección de las corrientes superficiales del Mediterráneo.

Un último elemento que hemos incorporado a este bloque temático se basa en el fenómeno conocido como *Risaga* o *meteotsunami* para saber cómo afecta a la isla consultado los estudios de Jansá (Licer et al., 2017; Jansá, 2014). Estos resultados mostraron la intensidad de la anomalía costera SSH en metros, es decir, la probabilidad de cambio atmosférico y su afección en la costa. Los datos solo pudieron ser obtenidos del oeste de la costa menorquina, donde el área de la bocana del puerto de Ciutadella tendría los mayores valores y encontrándose los mínimos en *Cap d'Artrutx*.

3.7. El fondo marino del litoral relacionado con el fondeo y el anclaje de embarcaciones

Sin duda, la composición geológica del lecho marino, es otro de los factores que toda embarcación debe tener muy en cuenta, a la hora de fondear, reduciendo al máximo cualquier riesgo que pueda provocarles colisionar o naufragar.

La maniobra de fondeo que se efectúa persigue alcanzar la fijación más estable y segura de la nave y que debe suponerle el mínimo esfuerzo posible, sin apenas tener que recurrir al uso del velamen -como fuerza motriz o de propulsión- o a la ayuda del timón.

Cualquier embarcación busca siempre un lugar seguro, aproximándose a la costa lo más posible, evitando el contacto con cualquier arrecife o saliente que pudiera dañar la obra muerta de su casco. Para conseguir posicionarse permanentemente en un punto, se necesitará utilizar una o varias anclas, para agarrar la nave al fondo marino evitando que las fuerzas de la acción del viento, olas o corrientes pudieran perjudicarle.

La documentación que hemos utilizado, referente a formaciones geológicas del fondo marino menorquín, procede de una publicación que muestra la composición litológica del fondo, en una franja que circunda el litoral costero menorquín, hasta alcanzar los 2 km mar adentro (Carbonero, Suárez, Sintés Vila & Julià Vila, 2016). El mapa que publicó este grupo de geólogos, fue digitalizado a partir de un archivo de formato .JPG insertándolo en el SIG, clasificando el fondo marino en once grupos de formación, según los tipos de sedimentos marinos, fondos de roca, algas y posidonia.

Una vez conocida la litología del fondo marino, se procedió a valorar las formaciones geológicas para concretar qué zonas marinas pudieron ser las más favorables a la hora de seleccionar el lugar donde se podría anclar para fondear (Fig. 21). Así de esta manera, las formaciones favorables, indicando en valores de mejor (5) a peor (0), para anclar en un determinado lugar, será un fondo arenoso de arenas medias o gruesas donde fácilmente un ancla se sujeta y se puede recuperar sin demasiado esfuerzo, -valor 5-. Le siguen, también con buenas condiciones, los fondos de fangos, o bien, de arenas finas, -valor 4-. A continuación, van los de tipo medio, que son aquellos fondos portuarios y de detritos, -valor 3-. En la escala baja, se encuentran los fondos de posidonia que, en Menorca, cubren la mayor parte de la costa que la rodea, -valor 1,2-. Y, por último, la peor, son las zonas

rocosas y de guijarros, que también, por cierto, muy abundantes en el fondo insular, y que son los lugares más propensos al “enroque” que coinciden con los puntos de se han documentado más anclas modernas o cepos romanos, -valor 0-.

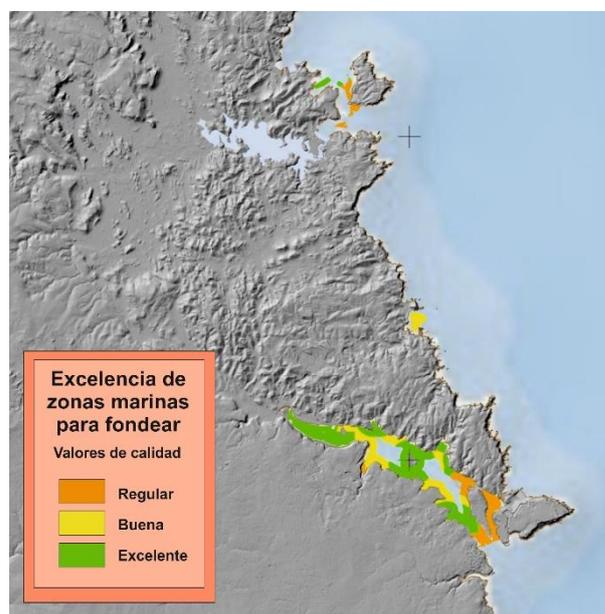


Figura 21: Análisis del fondo marino para valorar donde es mejor arrojar el ancla para fondear. En este ejemplo, se representa un tramo de costa noreste centrada en la Illa d'en Colom.

3.8. Estimación de la calidad de las zonas marinas favorables a su uso como áreas de fondeo

Una vez vistos todos aquellos condicionantes que afectarían al comportamiento de los elementos arqueológicos subacuáticos de Menorca, de forma independiente, se continuó el proyecto SIG, conjugándose todos ellos, para procesar nuevos cálculos que facilitasen, a modo de conclusión, elaborar una valoración categórica referente a la idoneidad de las zonas marinas para fondear. De esta forma, se pusieron en juego la batimetría, los recursos hídricos, los agentes climáticos de los vientos, el oleaje y la corriente, además, de la composición del lecho marino, el conocimiento de los fondos más aptos al anclaje, la orografía costera y la acción de la erosión que afecta al litoral.

Como resultado, se elaboraron una serie de mapas que ilustran los cálculos logrados que clasifican las zonas marinas en función de su aptitud a menor calidad de fondeo. En ArcGIS, a la hora de representar estas valoraciones, se plasmaron en un modelo ráster mediante su pixelado gráfico. Para este tipo de mapas, se decidió que el color verde simbolizase el valor más alto, en cuanto a la calidad para fondear con mejores opciones en cuanto a la seguridad y tiempo de permanencia en la que una embarcación puede anclar en un lugar definido. A continuación, el color amarillo proporcionó, un valor medio o regular, y para finalizar, el naranja, indicó áreas marinas de calidad baja, con riesgo y corto espacio de tiempo de permanencia. También, debe mencionarse, que cuando las zonas que quisieron contemplarse no aparecieron dotadas con “cálculos pixelados” es sencillamente porque eran demasiado bajas o nulas, descartadas para el fondeo (Fig. 22).



Figura 22: Estimación concluyente de la calidad de zonas marinas para fondear. En este caso, se representa el litoral que va desde el puerto de Mahón hasta la Illa d'en Colom.

El análisis que hemos efectuado para conocer las zonas marinas más factibles para su fondeo nos ha proporcionado una valoración, que ha sido puntuada de mejor a peor, y que ha incluido 77 lugares, de los que destacan 15 zonas con condiciones excelentes.

Destacan el puerto de *Mahón* (especialmente *Cala Rata*, *Cala Pedrera*, *Illa del Rei* y *Colàrsega*), le sigue en la costa este, *Cala Tamarells*, de la que apenas ha registrado vestigios arqueológicos subacuáticos y que requiere de un plan de prospección. La situación de *Cala Tamarells*, junto al *Fondetjador de Ses Llanes* y enfrente de *Illa d'en Colom*, y próxima a *s'Albufera d'es Grau*, configuran un territorio donde pueden abundar muchos yacimientos comprendidos entre las fases prehistóricas e islámicas.

Al norte de Menorca, deben mencionarse *Cala Prudent*, *Port de Fornells* (concretamente, zona oeste del puerto, *s'Arenalet*, y *caló des Llenyam*), *Arenal de Tirant*, *Macar d'Alfurinet* y litoral de *Algairens*, con sus dos fondeaderos, *Ses Fontanelles* y *Sa Platja des Bot*, ocupados desde tiempos prehistóricos hasta tiempos medievales y que seguramente eran puertas de conexión que abren al mar todos los asentamientos dispersos por la actual zona de *La Vall* en un territorio propicio al pastoreo y a la agricultura protegido de las inclemencias de los vientos.

En el sur, más abundante en zonas seguras de protección y fondeo, se encuentra *Calescoves*, que ha ofrecido abundantes restos arqueológicos. Otras calas próximas a ella, son *Canutells*, *Binidali* y *Biniparratx*, carentes de información arqueológica subacuática.

También del sur, la mayoría de las calas presentan buenas aptitudes y de las que no tenemos evidencias arqueológicas en la carta arqueológica: *Macarella*, *Galdana*, *Mitjana*, *Trebaluger*, *Fustam*, *Escorxada*, *Llucalari*, *Sant Llorenç* y *Binibequer*. En casi todas ellas, a poca distancia de la costa, se encuentran restos talayóticos de necrópolis, hipogeos y asentamientos que perduraron en tiempos romanos e islámicos.

3.9. Fuentes de referencia de la Carta Arqueológica de Menorca

Los elementos subacuáticos documentados en la carta proceden de tres fuentes de documentación: noticias orales o archivo, reconocimiento visual en base a metodología de prospección, y campañas de excavación.

La consulta de los archivos y de testimonios orales señalan fechas estimadas o concretas del suceso explicando, en la mayoría de los casos, un relato sobre la crónica del naufragio detallando sus mercancías, su ruta de navegación y la zona de naufragio. De esta procedencia se han contabilizado un total de 161 elementos. De esta cantidad, 105 pertenecen a pecios modernos datados entre los siglos XV – XIX y 18 pecios clásicos del periodo comprendido entre los siglos IV a.C. – XIV.

En Menorca se conserva un fondo archivístico considerable porque a partir de 1563 comenzó a regularizarse el protocolo administrativo sobre los accidentes marítimos, registrándose los detalles de los siniestros en los *libros de causas de naufragios*. La documentación referente a naufragios irá disminuyendo en el siglo XVIII, bajo dominio británico de la isla de Menorca, porque se transfirieron los accidentes marítimos desde el Real Patrimonio al Tribunal del Vicealmirantazgo, y posteriormente, cuando España recuperó la isla, los ingleses al abandonar Menorca, se llevaron consigo toda esta documentación (Pons, 2016; Mercadal, 1982). Así de esta manera, es muy probable que naufragasen durante el siglo XVIII un buen número de naves que no se pudieron documentar y que, por tanto, el número sería similar al del siglo XVII.

La transmisión comunicada por diversas personas de forma oral ha sido registrada como noticias que pueden ser de pescadores que comentan la "captura" de ánforas en sus redes cuando pescan en alta mar por citar algún ejemplo, o bien de aficionados al deporte del submarinismo que practicando apnea o bien buceando con botellas han descubierto fragmentos de ánforas, ánforas completas, anclas de hierro o cepos romanos.

Revisando las características de estos vestigios inventariados, consideramos que algunos son prioritarios y que requieren de una prospección arqueológica para georreferenciarlos con sus particularidades. Del periodo clásico, 10 elementos merecen una primera evaluación, en base al repertorio de su cargamento de ánforas: ACF2, AFD8, FLL1, IDA15, ILL7, MSQ1, PRT7, SAE1, SBO8, y SXO8. Y otros 9, por sus anclas: ACF2, MSQ1, SAE1, ABT8, CANYA, CDN1, CNU3, SPU1, y SSU5.

Por su parte, de los elementos del periodo moderno, 5 presentan artillería militar provistas de armas y cañones: ABT5, CAP14, STE18, TDR20, y CSE11. Otros 4, con un cargamento interesante y diverso: AFT7, AIRE, CRI1, y MSQ2, y otros 4 más, que podrían corresponder a embarcaciones de cierta eslora considerable: SSU4, STE18, CSE9, y STE9.

Por su parte, la segunda fuente que integra la Carta Arqueológica cuenta con 119 entidades arqueológicas descubiertas a través del reconocimiento en forma de prospección, pudiendo registrar fotografías y clasificar los objetos que se encuentran en el fondo marino que fueron interpretados, como pecios o bien como hallazgos aislados, en base a su disposición en el lecho marino.

Y finalmente, la última fuente procede de una actividad arqueológica de trabajos de excavación, se han identificado 5 yacimientos: *Calescoves*, *Binissafuller*, puerto de *Mahón*, *Cala'n Busquets* y *Cap de Favaritx*.

4.2. Análisis probabilístico para localizar nuevos yacimientos arqueológicos

Una vez conocida la cronología de los pecios de Menorca, nos interesaba encontrar una explicación lógica que respondiera al comportamiento de la localización espacial de los naufragios, y en base a ello, formular a la plataforma SIG una serie de interrogaciones probabilísticas que ayudasen a prever qué partes de la costa pudieran favorecer el descubrimiento de más pecios, y a la vez, definir las zonas más prioritarias que requerían nuevas prospecciones de reconocimiento subacuático, sirviendo de guías para arqueólogos y administración que evitase improvisaciones de nuevas líneas de investigación y la inversión de recursos mejor invertidos.

Los 168 pecios de Menorca fueron subdivididos en 5 zonas geográficas: norte, sur, este, oeste e isla del Aire. De esta manera, 37 se situaban en el este, 103 en el norte, 14 al sur, 21 al oeste y finalmente, 11 alrededor de la isla del Aire (Fig. 25).

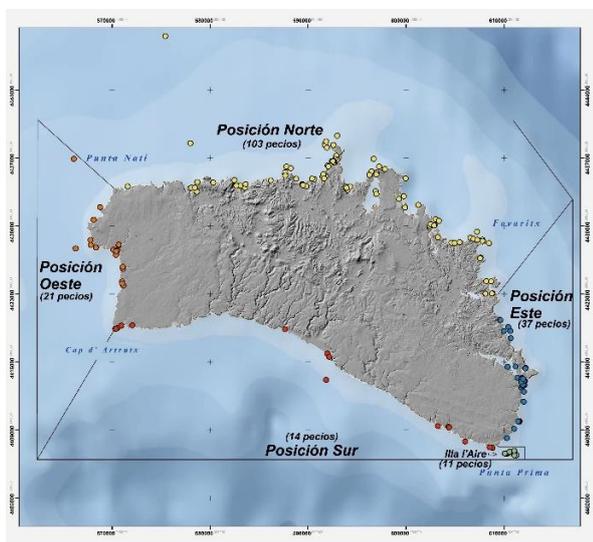


Figura 25: Distribución de los pecios de Menorca por zonas geográficas.

A grandes rasgos, podemos observar como la gran mayoría de los pecios se encuentran en la costa norte representados por el 70% del total, siguiéndole a mucha distancia, la costa este con un 20% restante, y en tercera posición los pecios de la costa oeste.

Las concentraciones en este y oeste se deben principalmente al papel que debieron jugar sus núcleos portuarios, Ciutadella muy bien comunicada con un tráfico regular con Palma de Mallorca, y por Mahón, que tuvo un papel fundamental a nivel internacional durante los siglos XVII – XVIII, escenario de contiendas militares y alta frecuencia del movimiento de mercancías.

Algo parecido sucede con el posicionamiento geográfico de la mayoría de los vestigios subacuáticos de la isla de Mallorca, que se sitúan en la costa norte-oeste de *Andratx* y *Calvià* (Munar & Sastre, 2010).

Cuando se estudió el comportamiento de los vientos en nuestro SIG, pudimos comprobar cómo las ráfagas máximas a media y corta distancia de la isla, que se asocian a la *Tramontana* y al *Mestral*, azotan sin piedad la costa norte, y más concretamente la zona litoral que va desde *Illes Bledes* hasta la costa más próxima a la *illa*

d'en Colom. Lógicamente, podremos entender cómo el viento fue la causa principal que ocasionó la mayor cantidad de naufragios que se han documentado en la costa norte.

De los pecios modernos de la Carta Arqueológica, en algunos casos, se ha podido registrar la ruta de navegación desde su punto de partida hasta el puerto donde debería acabar su destino. Normalmente, los barcos seguían una navegación tradicional de cabotaje surcando las aguas del Mediterráneo, Genova – Marsella – Barcelona – Valencia – Denia – Costa Andaluza (Soler Gaya, 2004), y se puede entender fácilmente su naufragio cuando estas naves fueron arrastradas por la fuerza del viento a la deriva colisionando sin remedio con la costa de Menorca.

En base a este análisis, hemos confeccionado una serie de mapas que definen tres zonas del litoral de la isla, con valores de alta, media y baja probabilidad, en cuanto al descubrimiento de nuevos vestigios en el futuro que podrían ser exploradas por buzos descendiendo hasta los 30 m (Fig. 26), y por la asistencia de un ROV o un dron subacuático para zonas mucho más profundas (Fig. 27).

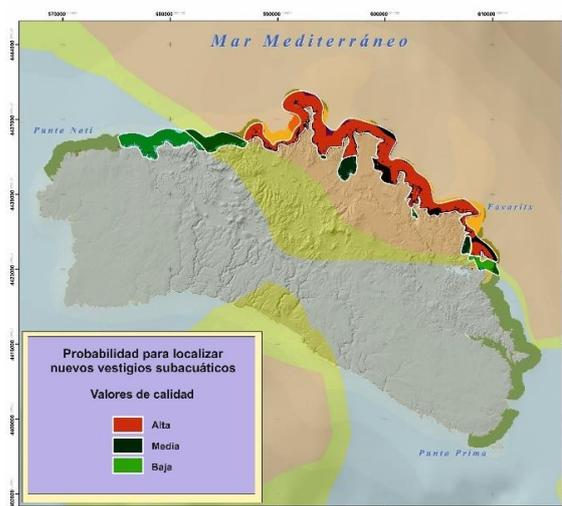


Figura 26: Delimitaciones de la costa de Menorca con más probabilidad para localizar más elementos subacuáticos.

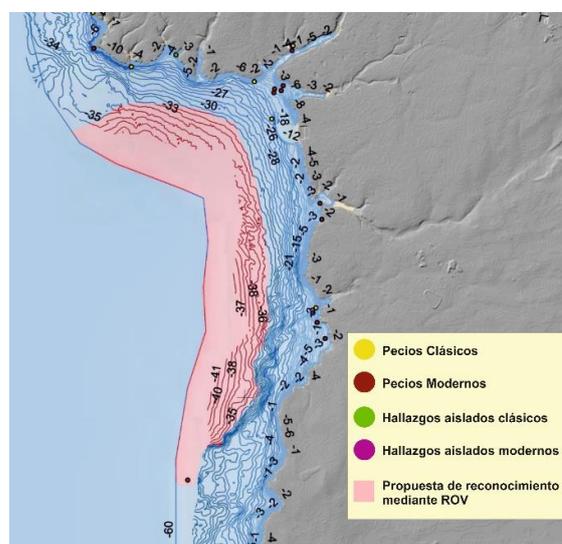


Figura 27: Propuesta de exploración para zonas profundas mediante un ROV. En este caso, delimitación de la prospección de la costa oeste de Menorca.

4.3. En búsqueda de los indicios subacuáticos más antiguos

La información que nos ha proporcionado la Carta Arqueológica de Menorca, incluye un grupo más bien reducido, de 8 pecios datados entre los siglos IV y III a.C., que naufragaron en distintas zonas del litoral menorquín. En cuanto a las zonas marinas que pudieron ser fondeaderos en esa época más antigua, se han encontrado evidencias en la cala e islote de *Binissafuller*, cala de *Biniadrís*, *Cala'n Busquets*, *Cala Canutells* y *Cala Morell*.

La arqueología subacuática de Menorca constata como la isla estaba comunicada vía marítima con el exterior hacia el siglo IV a.C. No obstante, tras varios estudios de investigación, se ha recopilado un repertorio de artefactos foráneos compuesto por ánforas, cerámica, joyas y figuras en bronce (Tabla 2), datados los más antiguos, a inicios del primer milenio a.C., relacionados con escenarios rituales y de ofrendas, descubiertos en navetas de enterramiento, cuevas naturales e hipogeos, que lógicamente indican como el hombre ya navegaba siglos atrás (Guerrero, 2006). Paralelamente a estas evidencias, se decidió incluir un inventario compuesto por 20 grabados de embarcaciones (De Nicolás, Ibáñez, Arnau & Zubillaga, 2016), localizados la mayoría de ellos, en hipogeos prehistóricos, que aún sin poder determinar su datación, consideramos que tienen cierta implicación en este aspecto.

Teniendo en cuenta este tipo de información, nos resultaba interesante asociarlo a la base de datos de la Carta Arqueológica, y se introdujeron en el sistema SIG para evaluar su comportamiento e intentar definir mucho mejor qué zonas costeras pudieron ser más relevantes en los primeros tiempos y que, además, permitieran prever donde se podían encontrar pecios que remontasen a fechas anteriores al siglo IV a.C.

La distribución espacial resultante en ArcGIS que conjugó los pecios, los fondeaderos arqueológicos, los objetos foráneos más antiguos junto con los grabados náuticos, plantean que la costa sur de Menorca fuera la puerta de acceso del movimiento de grupos humanos hacia el interior de la isla aprovechándose de los recursos naturales que les ofrecían sus barrancos con actividades estables próximas a la costa y a los fondeaderos.

4.4. Criterios de evaluación referente al interés de investigación y conservación

Otro aspecto del análisis efectuado comportó determinar el grado de interés que ostenta cada uno de los elementos subacuáticos en base a una serie de premisas centradas en la investigación científica y en la protección del patrimonio.

Desde una perspectiva de investigación futura, hemos catalogado 39 elementos subacuáticos que, por diversas razones, como pueden ser la mercancía que transportaba, la tipología náutica de la embarcación, o bien por hundirse durante una etapa histórica de la que escasean naufragios (Tabla 3).

Respecto a los factores relacionados con la protección, custodia y mantenimiento del patrimonio sumergido de Menorca, en base a varios aspectos, algunos de los vestigios requieren una atención más prioritaria que el resto. Por esta razón, se han documentado 15 pecios

que se sitúan a escasa profundidad y que están muy cerca de la costa, quedando demasiado expuestos a la vista de cualquier persona que nade o bucee por sus inmediaciones y que, por desgracia, se convierten en un foco de alto nivel de riesgo de expolio. Es fundamental que el Consell Insular de Menorca se comprometa a encontrar los cauces pertinentes de gestión para proteger estos bienes.

Tabla 2: Objetos foráneos introducidos vía marítima

ID.	Yacimiento	Clasificación
AGA01	<i>Sa Taula d'Algairens</i>	Ánfora PE 12; pectoral con varitas que simulan remos
BCV01	<i>Binicalaf</i>	Ánfora IBE Arcaica
BFB01	<i>Binissafuller de Baix</i>	Colgante en bronce; palomita
BG003	<i>Biniguardó</i>	Varillas que simulan remos de colgante de bronce; Cuentas de fayenza
BMU01	<i>Binimaimut</i>	Bronce. Colgante esférico
BPT01	<i>Biniparratx Petit</i>	Figurita en bronce. Odiseo
CAR00	<i>Cova des Carritx</i>	Colgante de varitas; Cuentas de fayenza
CCO01	<i>Cales Coves, Hipogeo 54</i>	Cuentas de fayenza; Lucerna de engobe rojo de dos picos
CCO01	<i>Cales Coves, Hipogeo 56</i>	Cuentas de fayenza
CCO01	<i>Cales Coves, Hipogeo 19</i>	Bronce. Colgante. Figura de un carnero
CCO01	<i>Cales Coves, Hipogeo 21</i>	Cuentas de fayenza; Pendiente de plata; Brazalete dentado; puntas de jabalina
CCO01	<i>Cales Coves, Hipogeo 37</i>	Varillas que simulan remos de colgante de bronce
CCO01	<i>Calescoves, Cueva 5</i>	Pectoral de bronce con varitas que simulan remos
CP00	<i>Cova des Pas</i>	Estaño. Anillitas; Cuentas tubulares
MFN01	<i>Cova dels Morts</i>	Estaño. Anillitas
RFR01	<i>Rafal del Toro</i>	Figuras en bronce: toro, sirena, corredor, cabecita con sombrero frigio
SOG02	<i>Son Gall</i>	Bronce. Figura de guerrero
TDD01	<i>Talatí de Dalt</i>	Cerámica fina etrusca; A PE 12
TGA01	<i>Torre d'en Galmes</i>	Bronces: Figura egipcia de Imhotep; caso de guerrero
TOV01	<i>Torelló</i>	Ánfora PE 10, A PE 12, Bronces. Figuritas de jabalí alado y de guerrero
TRP01	<i>Trepucó</i>	Ánfora MAS PY-1
TRU00	<i>Cova des Mussol</i>	Marfil. Joyería en discos
TUC01	<i>Turmadèn des Capità</i>	Bronce. Figura de una paloma

Tabla 3: Elementos subacuáticos de mayor relevancia para las líneas estratégicas futuras de investigación.

<i>Id.</i>	<i>Tipo de pecio</i>	<i>Motivos de interés</i>
ABT 5	Pecio moderno	Carga / Tipología náutica
ABT 14	Pecio moderno	Tipología náutica
ACF 2	Pecio clásico	Carga Pecio Púnico
ADD 6	Pecio clásico	Carga Pecio Púnico
AFT 7	Pecio moderno	Carga / Tipología náutica
AGA 33	Pecio moderno	Carga
BFU 2	Pecio clásico	Carga Pecio Púnico
BFU 7	Pecio clásico	Carga Pecio Púnico
BST 9	Hallazgo	Armas
CAP 5	Pecio clásico	Carga Pecio Antigüedad Tardía
CAP 14	Pecio moderno	Carga / Tipología náutica
CAS 1	Pecio clásico	Carga
CLL 2	Pecio moderno	Carga / Tipología náutica
CRI 1	Pecio moderno	Carga / Tipología náutica
CSE 7	Hallazgo	Jarrita medieval
CSE 11	Hallazgo	Anclas Armas
IDA 4	Pecio clásico	Carga Pecio Medieval
IDA 5	Pecio moderno	Carga / Tipología náutica
IDA 6	Pecio moderno	Carga / Tipología náutica
IDA 7	Pecio moderno	Carga / Tipología náutica
IDA 8	Pecio moderno	Carga / Tipología náutica
LLU 6	Pecio clásico	Carga Pecio Púnico
MJU 7	Pecio clásico	Singular ánfora bajo imperio
MOA 5	Pecio clásico	Carga Pecio Púnico
MSQ 2	Pecio moderno	Carga / Tipología náutica
PRT 12	Pecio moderno	Carga / Tipología náutica
SES 1	Pecio moderno	Carga
SGX 2	Pecio moderno	Tipología náutica
SSU 4	Pecio moderno	Tipología náutica
SSU 9	Pecio moderno	Carga / Tipología náutica
STE 18	Pecio moderno	Carga / Tipología náutica
STE 21	Pecio moderno	Tipología náutica
STE 23	Pecio moderno	Carga
STE 29	Pecio clásico	Carga Pecio Púnico
STE 36	Pecio clásico	Carga Pecio Púnico
SXO 7	Pecio moderno	Tipología náutica
TDR 20	Pecio moderno	Tipología náutica
TRU 21	Pecio moderno	Tipología náutica
TVL 18	Pecio clásico	Carga

Además, en este sentido, hemos registrado todos los establecimientos comerciales y profesionales que se relacionan con el mundo submarino, que incluye a las empresas que suministran cargas de buceo, y de centros de buceo de formación deportiva que programan salidas diarias a lugares de interés para sus clientes. La lista de los centros dedicados al buceo ha sido confeccionada durante el verano de 2020, a través de los canales que se difunden de webs y redes sociales reuniendo un total de 17 empresas.

Dentro del capítulo de recorridos o excursiones, algunas de ellas, se encuentran a escasa distancia del punto de salida de la inmersión, e incluso son directamente los escenarios protagonistas que los clientes amantes de la arqueología quieren conocer. De esta forma, en nuestro mapa hemos querido situar las excursiones que ofrecen los clubes en sus webs y que pueden practicarse en snorkel, o bien con el uso de botellas de aire comprimido. Este análisis ha concluido con una lista con 29 elementos subacuáticos que corren mayor grado de vulnerabilidad de preservación y se han definido doce zonas arqueológicas que requieren un seguimiento de protección e inspección anual (Fig. 28).

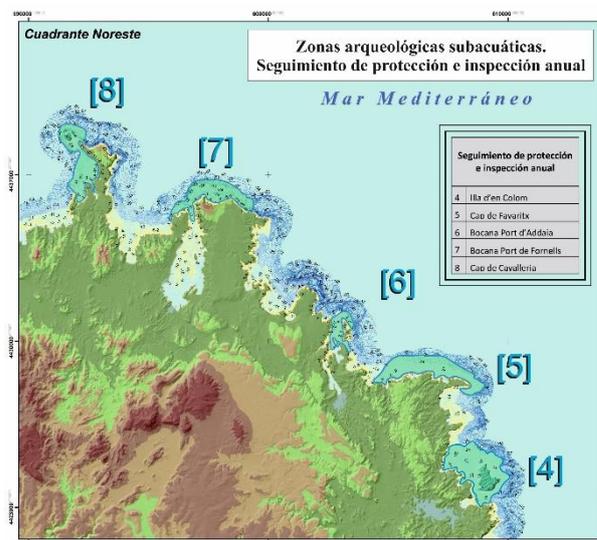


Figura 28: Propuesta de las zonas arqueológicas subacuáticas de la costa norte de Menorca que deben inspeccionarse para protegerse de expolios.

5. Discusión

La actual Carta Arqueológica de Menorca a nivel subacuático, es una fuente básica y elemental que cuenta con 285 elementos integrados por pecios, fondeaderos y hallazgos aislados de diferentes periodos cronológicos. No obstante, queda un largo camino por recorrer. Se han establecido las pautas iniciales de cómo se debe actuar, qué metodología aplicar y se conocen los rasgos esenciales de los yacimientos que se irán descubriendo y que, casi con toda seguridad, tendrán características muy similares a los conocidos, multiplicándose y repitiéndose con el mismo patrón.

Este proyecto SIG, debería irse manteniendo regularmente con la entrada de nuevas entidades subacuáticas e ir reeditando aquellos mapas que se consideren más destacados de este proyecto en base a la nueva documentación, y en consonancia con el registro que gestiona la administración del Consell a través de su sección de SIG: IDE Menorca.

Conocer la arqueología subacuática de Menorca es un desafío. No en vano sabemos que son más de 430 km de litoral lineales en superficie por descubrir, a los que hay que añadir sus profundidades y que, a nivel técnico, las inmersiones de buceo limitan los tiempos y los costes para efectuar la investigación, que son siempre muy elevados, si los comparamos con los presupuestos que se derivan de las intervenciones arqueológicas terrestres.

El proyecto de SIG ha permitido representar una propuesta sobre la línea de costa de Menorca, que hemos reconstruido y que puede aproximarse al año 1000 a.C., analizando el comportamiento de la erosión y del cambio del nivel del mar. Ha sido interesante conocer la transformación del paisaje costero del puerto de Sanitja y el posible descubrimiento del puerto antiguo de *s'Embarcador de S'Alairó* que se debe identificar en próximos trabajos en Cala Pregonda.

La Carta Arqueológica de Menorca en materia subacuática refleja como las intervenciones efectuadas tanto de prospección y excavación se han efectuado en zonas muy concretas, y en la mayoría de ellas, de forma intensiva. La información arqueológica está muy descompensada. Queda evidente que cuando se intenta encontrar los rasgos más generales que pueden caracterizar la arqueológica subacuática, comenzamos a entrar en un terreno demasiado relativo, un tanto impreciso y lleno de conjeturas. A grandes rasgos, observamos cómo quedan muchos "claros" del litoral por reconocer y que carecen de identidades subacuáticas. Las partes mejor conocidas se encuentran en la bocana del puerto de *Mahón*, *Illa de l'Aire*, *Cala de Binissafúller*, *Calescoves*, *Puerto de Sanitja* y *Cala'n Busquets*. En otras zonas de la costa oeste de Menorca o la de los puertos de *Addaia* y *Fornells*, se identifican de forma puntual algunas aportaciones que merecen estudiarse más.

Más de la mitad de los elementos introducidos en la Carta proceden de la información oral o de archivo, y es imprescindible que deba corroborarse mediante un reconocimiento visual con programas de prospección.

De la carta arqueológica se desprende la elevada riqueza que se registra en las aguas de Menorca con innumerables pecios modernos de los siglos XVI – XIX, y que han sido posicionados con coordenadas más o menos precisas en base a la lectura que procede de los archivos históricos. Algunos de los pecios en cuestión, merecen ser estudiados dada la importancia histórica a los acontecimientos a los que relacionaron, y es una línea de investigación que debería reforzar dada la abundante documentación que se tiene en forma de cartas náuticas, pinturas y rico patrimonio que atesora Menorca, y que, por tanto, debería potenciar.

El puerto de Mahón es, sin dudarlo, el mejor puerto de Menorca por la seguridad que ofrece a cualquier embarcación que quiera fondear en muchas de sus calas. En su litoral, se encuentran muchísimos elementos arqueológicos, que se han documentado desde el periodo prehistórico, con las evidencias de las primeras ánforas púnicas, hasta el periodo moderno, en el que *Mahón*, fue uno de los escenarios protagonistas de los conflictos internacionales entre diferentes nacionales para conseguir el control del Mar Mediterráneo occidental. Todas las zonas marinas del interior del puerto, a excepción del área dragada hace unos años, debería ser motivo de reconocimiento, subrayando *Cala Rata* y *Cala Pedrera*. Lo mismo ocurre con la *Illa del Rei*, toda la costa

que circunda al islote, merece un estudio en detalle, porque de todo el puerto de Mahón, es uno de los lugares más idóneos para fondear.

De *Mahón*, también sería interesante efectuar un estudio las instalaciones portuarias de los últimos siglos, así como del sistema de cierre con cadenas que protegía al puerto y que todavía hoy en día, se puede intuir en algunos tramos de la costa.

Los análisis calculados en el SIG han permitido definir las excelentes condiciones de algunas zonas marinas que pudieron utilizarse como fondeaderos. Deberán programarse prospecciones en *Ses Fontanelles*, calitas de *La Mola de Fornells* y *Cala Tamarells* porque podrían registrarse restos púnicos e incluso de periodos más antiguos.

De las zonas interiores de Menorca, con aguas estancadas, merecerán un capítulo de especial reconocimiento las zonas del *Albufera d'es Grau*, tanto de sus fondos marinos como de todo su perímetro terrestre que lo rodea ya que posiblemente sea una de la zona fue más habitada al norte del puerto de *Mahón* gracias a la fuente de recursos naturales que radican en este territorio. El segundo lugar, sería *Cala'n Bosch* que aún a sabiendas que fue dragada para convertirla en un puerto deportivo merece ser prospectado con detalle y el área terrestre que la contornea que no ha sido urbanizado.

Recomendamos al Consell Insular de Menorca, en caso de iniciar nuevas prospecciones que se efectúen en este litoral de Menorca, se efectúen en la costa norte comprendida entre *Cap de Favartix* y las *Illes Bledes*, ya que nuestro proyecto SIG, a nivel probabilístico configura la zona con mayor densidad de pecios.

Otros aspectos de este proyecto, relacionadas con las actividades de hombre con la producción de la sal, deberían documentarse con buena planimetría para su estudio y preservación, concretando el estudio de las *Salinas de Fornells* y de *Addaia*.

De igual forma, es necesaria una inversión destinada a la conservación de la colección de grabados rupestres inspirados en la navegación primitiva mediante las actuales técnicas en fotogrametría, citando una de las medidas más prioritarias de preservación que pueden aplicarse para evitar su pérdida.

Sabemos que en varios proyectos de investigación que han usado una plataforma SIG incluyen análisis de ruta mínima o desplazamiento mínimo para calcular áreas probables de exploración ([Fábrega Álvarez & Parceró Oubiña, 2007](#); [White, 2012](#)) o de ubicación de restos arqueológicos ([Herzog, 2014](#)). En este estudio no se ha considerado la realización del análisis de ruta mínima para el desplazamiento marítimo, dado que el cálculo en áreas marinas, devolvería un error al contar la lámina de agua como una elevación de 0 m constante en el MDT.

Y finalmente, observando las zonas costeras que tuvieron mayor actividad, y que a nivel arqueológico podrían descubrir nuevos vestigios construidos en el litoral menorquín, consideramos que el Consell Insular de Menorca debería tener en cuenta efectuar seguimientos arqueológicos supervisados por técnicos ante cualquier movimiento o alteración del subsuelo, de las urbanizaciones de *Cala'n Bosch*, *Fornells* (urbanización de *Ses Salines Noves*), *Son Bou* (urbanizaciones de *Torre Solí Nou* y *Sant Jaume*), *Binidali* y en el puerto de *Mahón* (*Sol del Este*, *Santa Ana* y *Cala Rata*).

Agradecimientos

En primer lugar, debemos mencionar la predisposición y buena colaboración que mostraron D. Octavi Pons y D. Xavier Aguelo durante el tiempo de elaboración de este proyecto SIG: buena parte de la información que se desprende de la Carta Arqueológica de Menorca fue registrada por su organización, *Amics del Museu de Menorca*.

Y de igual forma, deseamos mostrar la asistencia técnica que en todo momento nos ofreció el Departamento de Cultura del Consell Insular de Menorca, IDE de Menorca y especialmente a los técnicos del área de Patrimonio, D^a Joana Gual y D. Simón Gornés.

El proyecto ha sido subvencionado por el Consell Insular de Menorca mediante el expediente público C4300-2020-000195.

References

- Abulafia, D. (2011). *The Great Sea: A Human History of the Mediterranean*. Oxford: University Press.
- Aguelo, X., & Pons, O. (2011). Resultados de las cartas arqueológicas subacuáticas de Menorca, 2011. En *Actas de las Jornadas de Arqua 2011* (pp. 76-82). Madrid, España.
- Anónimo. (1780). *So the Right Honorable John Karl Spencer Viscount Asthorpe. This General plan of the Island of Minorca, From an Actual Survey taken on the Spot, is with the almost Respect humbly Inscribed*. London: Sayer & I. Bennett Map & Printsellers.
- Arnaud, P. (2005). *Les routes de la navigation antique. Itinéraires en Méditerranée*. Paris: Ed. Errance.
- Balaguer, P., Roig-Munar, F. X., Martín Prieto, J. A., & Carreras, D. (2017). El litoral de Menorca: marco fisiográfico y tipos de costa. En L. Gómez-Pujol, G. X. Pons (Eds.), *Geomorfología litoral de Menorca: dinámica, evolución y prácticas de gestión, Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 25 (pp. 13-28). Palma: Societat d'Història Natural de Balears.
- Braudel, F. (1998). *Memorias del Mediterráneo: Prehistoria y Antigüedad*. Madrid: Cátedra.
- Buenaventura, A. (2008). *Menorca, Atlas Náutico, Cartografía*. Mahón.
- Carbonero Suárez, A., Sintés Vila, J., & Julià Vila, M. (2016). Cartografía combinada de los fondos marinos de Menorca: compilación de capas y comunidades bentónicas. Mahón: OBSAM.
- Cerezo, F. (2013). Los condicionantes náuticos en la comprensión de los contextos arqueológicos subacuáticos. En *Congreso de Arqueología Náutica y Subacuática Española* (pp. 442-458). Cartagena, España.
- Contreras, F., Talavera, A., & Massó, P. (2013). Estudio de las ánforas de la Africa Bizacena localizadas en el fondo subacuático del puerto de Sanitja (Menorca). En *V Jornades d'arqueologia de les Illes Balears* (pp. 119-126). Palma de Mallorca, España.
- De Nicolás, J. C., & Pons Carreras, M. A. (2020). El dipòsit de marbres romans del segle II dC d'Anatòlia i de l'Egeu al magatzem de s'Embarcador de Salairó (Es Mercadal, Menorca). En *VIII Jornades d'Arqueologia de les Illes Balears* (pp. 239-250). Palma de Mallorca, España.
- De Nicolás, J. C., Ibáñez, V., Arnau, P., & Zubillaga, M. (2016). Reivindicación de los antiguos grabados de los hipogeos prehistóricos de Menorca (II): los grabados náuticos y los "sagrados". En *VII Jornades d'Arqueologia de les Illes Balears* (pp. 319-328). Palma de Mallorca, España.
- De Nicolás, J. C. (1982). Carta arqueológica submarina. En J. Mascaró Pasarius (Coord.), *Geografía e Historia de Menorca, III* (pp. 168-176). Mahón, Menorca.
- Díes Cusí, E. (2005). Los condicionantes técnicos de la navegación fenicia en el Mediterráneo Oriental. En *La navegación fenicia: tecnología naval y derroteros: encuentro entre marinos, arqueólogos e historiadores* (pp. 55-84). Madrid, España.
- ECCO Consortium, Fukumori, I., Wang, O., Fenty, I., Forget, G., Heimbach, P., & Ponte, R., M. (2021). Synopsis of the ECCO Central Production Global Ocean and Sea-Ice State Estimate (Version 4 Release 4). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3765928>
- Fábrega Álvarez P., & Parcero Oubiña C. (2007). Proposals for an archaeological analysis of pathways and movement. *Archeologia e Calcolatori*, 18, 121-140.
- Fornós, J. J., & Segura, F. (2003). El relleno de los fondos de los barrancos del Migjorn de Menorca, En V. M. Roselló, J. J. Fornós, LL. Gómez-Pujol (Eds.), *Introducción a la geografía física de Menorca, Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 10, (pp. 111-121). Palma de Mallorca: AGE, Universitat de València, Universitat de les Illes Balears, Societat d'Història Natural de les Balears.
- García Sanjuán, L. G. (2005). *Introducción al reconocimiento y análisis arqueológico del Territorio*. Barcelona: Ariel.

- Guerrero Ayuso, V. M. (2006). Nautas baleáricas durante la Prehistoria (parte I). Condiciones meteomarinas y navegación de cabotaje. *Pyrenae*, 37, 87-129.
- Guerrero Ayuso, V. M. (2005). Las islas Baleares en los derroteros del Mediterráneo Central y Occidental. En *La navegación fenicia: tecnología naval y derroteros: encuentro entre marinos, arqueólogos e historiadores* (pp. 85-134). Madrid, España.
- Herzog, I. (2014). A review of case studies in archaeological least-cost analysis. *Archeologia e Calcolatori*, 25, 223–239.
- Jansá, A. (2014). Rissagues: El caso de 19 de agosto de 2014. *Tiempo y Clima*, 46, 43-48. <http://hdl.handle.net/20.500.11765/7284>
- Lambeck, K., Esat, T. M., & Potter, E. (2002). Links between climate and sea levels for the past three million years. *Nature* 419(6903), 199–206. <https://doi.org/10.1038/nature01089>
- Licer, M., Mourre, B., Troupin, C., Kriemeyr, A., Jansá, A., & Tintoré, J. (2017). Numerical study of Balearic meteotsunami generation and propagation under synthetic gravity wave forcing. *Ocean Modelling*, 111, 38-45. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2017.02.001>
- Martín, J. A., Carreras Martí, D., & Pons, G. X. (2020). Shoreline Historical Evolution (1956-2015) of Beaches of Menorca (Balearic Islands). *Journal of Coastal Research* 95(sp1), 563-567. <https://doi.org/10.2112/SI95-110.1>
- Mercadal Bagur, D. (1982). Naufragios y accidentes marítimos ocurridos en las costas de Menorca siglos XV al XX. Mahón: Editorial Menorca.
- Munar, S., & Sastre, M. A. (2010). Breu introducció a la història de l'arqueologia subaquàtica a Mallorca i a l'arxipèlag de Cabrera. La creació d'una Carta arqueològica subaquàtica a partir d'un sistema d'informació geogràfica (SIG). *Mayurqa*, 33, 263-281. Palma de Mallorca, España.
- Oleson, J. P., Raban, A., & Hohlfelder, R. L. (1989). *The Harbours of Caesarea Maritima: results of the Caesarea Ancient Harbour Excavation Project 1980-1985*. Oxford, Reino Unido: British Archaeological Reports International Series 491.
- Pons, O. (2016). Prospecciones arqueológicas subacuáticas en el puerto de Mahón, Menorca. En Autoritat Portuària de Balears, *El control arqueològic del dragado del puerto de Maó* (pp. 22-35). Palma de Mallorca: Gráficas Cervantes.
- Pons, O., & Aguelo, X. (2012). 15 años de Cartas Subacuáticas de Menorca, 1996-2011. En *Actas del Primer Congreso Internacional de Buenas Prácticas en Patrimonio Mundial: Arqueología* (pp. 975-982). Madrid, España.
- Román Lozano, A. (2008). Tarifa y el viento de Levante. *Aljaranda*, 68, 28-30.
- Roselló, V. M. (2003). Los puertos de Maó y Ciutadella. Aspectos físicos y humanos. En V. M. Roselló, J. J. Fornós, L. I. Gómez-Pujol (Eds.), *Introducción a la geografía física de Menorca*, *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 10 (pp. 175-187). Palma de Mallorca: AGE, Universitat de València, Universitat de les Illes Balears, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Rougé, J. (1981). *Ships and fleets of the ancient Mediterranean*. Middletown: Wesleyan University Press.
- Ruiz de Arbulo, J. (1990). Rutas marítimas y colonizaciones en la Península Ibérica. Una aproximación náutica a algunos problemas. *Itálica*, 18, 79-115.
- Sa Nitja. Gestión del Patrimonio Mediterráneo (1997). Resultats de les campanyes de prospecció a la ciutat romana de Sanisera (Es Mercadal-Menorca). En *Hispania i Roma. D'August a Carlemany. Congrès d'homenatge al Dr. Pere de Palol* (pp.1949-1669). Girona, España.
- Sa Nitja. Gestión del Patrimonio Mediterráneo (1996). La ciudad portuaria romana de Sanisera (Menorca). *Revista de Arqueología*, 17(185), 36-43.
- Schüle, G. (1970). Navegación primitiva y visibilidad de la tierra en el Mediterráneo. En *XI Congreso Nacional de Arqueología (Mérida, 1968)* (pp. 449-462). Zaragoza, España.
- Soler Gaya, R. (2004). *Crónica de los puertos Baleares*. Palma de Mallorca: Autoritat Portuària de Balears.
- Terrón Ponce, J. L. (1981). La reconquista de Menorca por el Duque de Crillon 1781 – 1782. Mahón: Sa Nostra.
- Truyol, M. (2003). S'Albufera des Grau. En V. M. Roselló, J. J. Fornós, L. I. Gómez-Pujol (Eds.), *Introducción a la geografía física de Menorca*, *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 10, (pp. 169-174). Palma de Mallorca: AGE, Universitat de València, Universitat de les Illes Balears, Societat d'Història Natural de les Balears.

- Vacchi, M., Marriner, N., Morhange, C., Spada, G., Fontana, A., & Rovere, A. (2016). Multiproxy assessment of Holocene relative sea-level changes in the western Mediterranean: Sea-level variability and improvements in the definition of the isostatic signal. *Earth-Science Reviews*, 155, 172-197. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.02.002>
- Vidal Bendito, T. (2014). Història dels mapes del port de Maó. La aportació anglesa en el segle XVIII. *Revista de Menorca*, 69-101.
- White, D. A. (2012). Prehistoric trail networks of the Western Papaguería: A Multifaceted Least Cost Graph Theory Analysis. In D. A. White, L. Surface-Evans (Eds.), *Least Cost Analysis of Social Landscapes (188-206)*. Utah: The University of Utah Press.
- Zappino, B. (1782). Plano del Puerto de Fornells con el sondeo en Pies Castellanos. Simancas: Archivo General de Simancas.