


Una hierofanía solar en el recinto de taula oeste de So na Caçana (Menorca)

A SOLAR HIEROPHANY AT THE WESTERN TAULA ENCLOSURE OF SO NA CAÇANA (MENORCA)


FECHA RECEPCIÓN
25/11/2022

FECHA ACEPTACIÓN
03/02/2023


Irene Riudavets González

Programa de Doctorado Societat i Cultura: Història, Antropologia, Art i Patrimoni de la Universitat de Barcelona. NURARQ SC.
C/ Alaior 10B, 07760, Ciutadella de Menorca.
irene.riudavets@nuraraq.com  0000-0002-2433-318X
(Responsable de la correspondència)

Antoni Ferrer Rotger

Institut Menorquí d'Estudis.
Camí des Castell, 28, 07702, Maó.
antoniferrer1@gmail.com  0000-0001-7534-229X

Sebastià Barceló Forteza

Dpto. De Física Teórica y Cosmología. Universidad de Granada (UGR), 18071, Granada.
sbarceloforteza@ugr.es  0000-0001-5622-2444


Gerard Remolins Zamora

Università di Bari, CNR-ISPC, Bari-Roma, Italia. ReGiraRocs SLU. Recerca, Conservació i Difusió del Patrimoni Cultural i Natural dels Pirineus.
Av. Carlemany 115, AD700 Escaldes-Engordany, Principat d'Andorra.
info@regirarocs.com  0000-0001-8529-5757

Antoni Cladera Barceló

PhotoPills SL
antoni@photopills.com  0000-0001-9115-1987

Cristina Bravo Asensio

Institut Menorquí d'Estudis, NURARQ SC
C/Pere Martorell 24, 2-2, Ciutadella de Menorca.
cristina.bravo@nuraraq.com  0000-0001-8940-6178

Resumen El artículo presenta la primera evidencia documentada de una hierofanía solar en un monumento talayótico en la isla de Menorca. Durante el inicio de la trayectoria descendente del Sol en el horizonte, en el solsticio de invierno, existe un lapso en el que el astro se sitúa a la misma altura aparente que la ventana que se abre en la fachada del recinto de taula oeste de So na Caçana. En ese momento del año, un rayo de luz penetra por dicha abertura, iluminando el suelo ante el espacio en el que se colocaban las representaciones de las divinidades en este tipo de edificios. La documentación de este fenómeno aporta datos completamente novedosos acerca de los rituales que se llevaban a cabo en estos santuarios, además de establecer unas fechas claras e importantes en el desconocido calendario utilizado por las comunidades humanas menorquinas de la Segunda Edad del Hierro.

Palabras clave Islas Baleares, cultura talayótica, arqueoastronomía, ritualidad, solsticio de invierno.

Abstract The article presents the first documented evidence of a solar hierophany in a Talayotic monument on the island of Menorca. As the sun path approaches the horizon on the winter solstice day, there is a time frame in which the sun is at the same apparent height as the window on the facade of the west taula enclosure of So na Caçana. At that time of the year, a ray of light goes through that window, illuminating the floor in front of the space where the divine representations were placed. The documentation of this phenomenon provides completely new data about the rituals that took place in these sanctuaries, and it establishes a precise and important date in the unknown calendar used by Menorcan communities during the second Iron Age.

Keywords Balearic Islands, Talayotic culture, Archaeoastronomy, rituality, winter solstice.

Riudavets González, I., Ferrer Rotger, A., Barceló Forteza, S., Remolins Zamora, G., Cladera Barceló, A. y Bravo Asensio, C. (2023): "Una hierofanía solar en el recinto de taula oeste de So na Caçana (Menorca)", *Spal*, 32.1, pp. 9-42.
<https://dx.doi.org/10.12795/spal.2023.i32.01>

1. INTRODUCCIÓN: EL TALAYÓTICO FINAL EN MENORCA

Menorca es la más oriental y la más septentrional de las islas que forman el archipiélago balear (fig. 1). Durante la Segunda Edad del Hierro (ca. 500-100 a.C.) se desarrolla en la isla una cultura específica, fuertemente arraigada en la fase precedente y con grandes similitudes con la cultura que se documenta de forma sincrónica en Mallorca. Este periodo se ha denominado Talayótico final (e.g. Anglada *et al.*, 2017) o Posttalayótico (e.g. Micó, 2005). La primera de estas denominaciones será la que se utilizará en este trabajo.

En este periodo se documenta en Menorca una gran continuidad con la fase anterior en lo que respecta a los patrones de asentamiento y el sistema productivo, basado sobre todo en la ganadería de caprinos y el cultivo de cereales (Anglada *et al.*, 2017). No obstante, se aprecia un considerable incremento demográfico, que conlleva el crecimiento de la mayoría de los núcleos de población surgidos durante la fase anterior y la fundación de algunos nuevos asentamientos.

En el Talayótico final el mundo indígena intensifica sus relaciones con el exterior, especialmente con las zonas de influencia púnica, pues Cartago reclutará mercenarios baleares de forma recurrente. El síntoma más visible de estos contactos es la llegada, masiva a partir de los siglos IV-III a.C., de materiales cerámicos provenientes de Ibiza, algunos de los cuales funcionarían como bienes de prestigio en el contexto de una sociedad fuertemente estratificada (Guerrero *et al.*, 2006).

Los espacios domésticos de este momento presentan una gran estandarización y responden a una tipología exclusiva de la isla. Se trata de grandes edificios ciclópeos, con un patio central alrededor del cual se sitúan, de forma radial, entre cinco y siete habitaciones (e.g. Torres, 2017).

Es también en este momento cuando aparece, solamente en Menorca, una nueva tipología de edificios monumentales, los recintos de taula, que se documentan en los principales poblados del Talayótico final. Se trata de edificios también muy estandarizados arquitectónicamente, que se interpretan de forma unánime como santuarios (e.g. Hoskin, 1989; Plantalamor, 1995; Gornés, 2008; de Nicolás, 2015; Ferrer *et al.*, 2020b; Gornés, 2022).

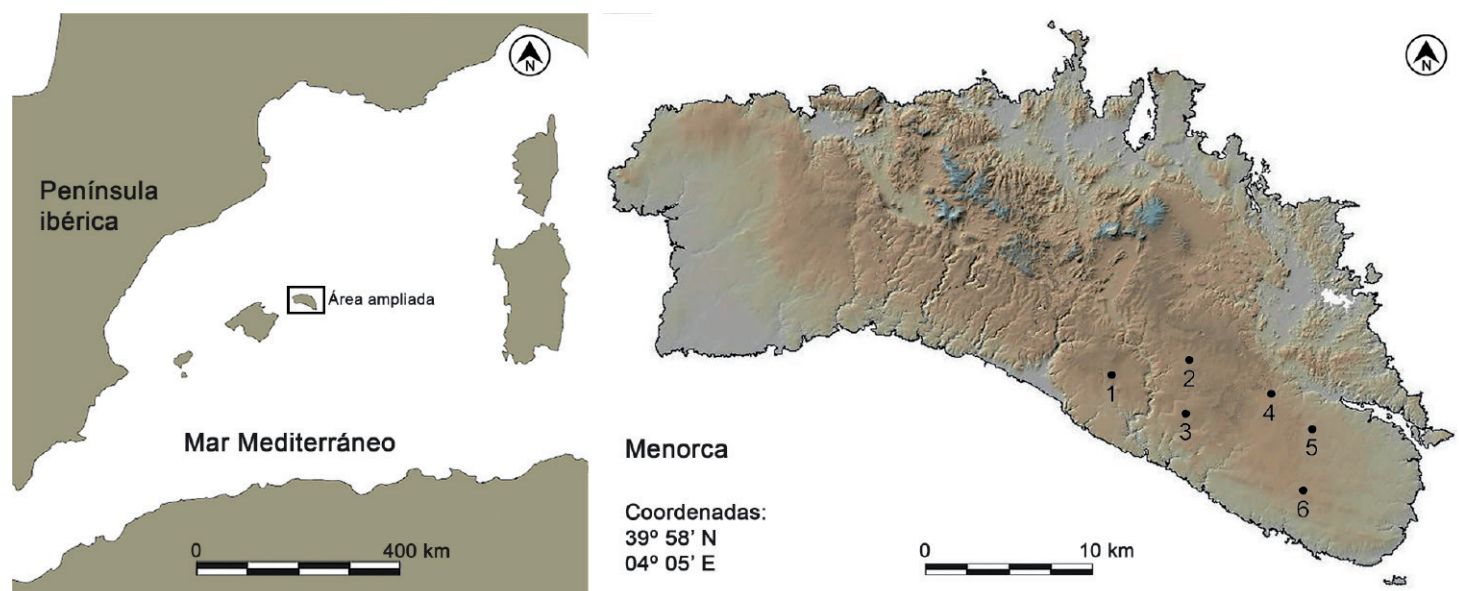


Figura 1. Situación de la isla de Menorca y ubicación de los principales yacimientos citados en el artículo. 1) Torre d'en Galmés. 2) Torralba d'en Salort. 3) So Na Caçana. 4) Talatí de Dalt. 5) Sa Cudia Cremada. 6) Binissafullet.

2. LOS RECINTOS DE TAULA: DESCRIPCIÓN GENERAL Y ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN

Los recintos de taula presentan tal nivel de estandarización, que es posible establecer un esquema básico a partir del cual se desarrollarán las particularidades de cada caso concreto. Se trata de edificios de planta en forma de herradura, normalmente irregular, con fachada plana o ligeramente cóncava. En el centro de la fachada se sitúa la única entrada, enmarcada por el umbral y el dintel, formados por grandes losas rectangulares. El muro perimetral es de doble paramento, utilizando diferentes soluciones para los paramentos internos y externos, en cada caso concreto (fig. 2).

El interior es un gran espacio abierto, por lo general escasamente compartimentado, en el que destaca la taula, debido a su monumentalidad. Esta se sitúa encastrada en el sustrato rocoso o apoyada sobre él, aproximadamente en el centro del edificio, más o menos en línea con la entrada. Este elemento está construido mediante dos grandes losas. Una de ellas, la de mayores dimensiones, está dispuesta en vertical y actúa de soporte de la segunda, situada horizontalmente sobre la primera a modo de capitel. El conjunto adquiere así la forma de una T gigantesca. También es habitual hallar dos bloques cuadrangulares mucho más reducidos en tamaño, a nivel del suelo, situados a ambos lados de la piedra soporte (fig. 3).

Las losas que forman la taula, igual que el resto de los elementos constructivos, están colocadas a plomo, sin argamasa que las una. En los ejemplos más monumentales, como en Torralba d'en Salort, la altura total del conjunto sobrepasa los cinco metros, con un peso calculado de 13 toneladas para el elemento vertical y 9 toneladas para la pieza horizontal (Fernández-Miranda, 2009), lo que permite deducir que para su construcción fue necesario movilizar a un gran número de personas de la comunidad. A la derecha de la taula, mirando desde la entrada, se documenta en los recintos de mayores dimensiones una columna exenta. Esta se encuentra situada aproximadamente en el centro de la distancia entre la taula y el muro perimetral.

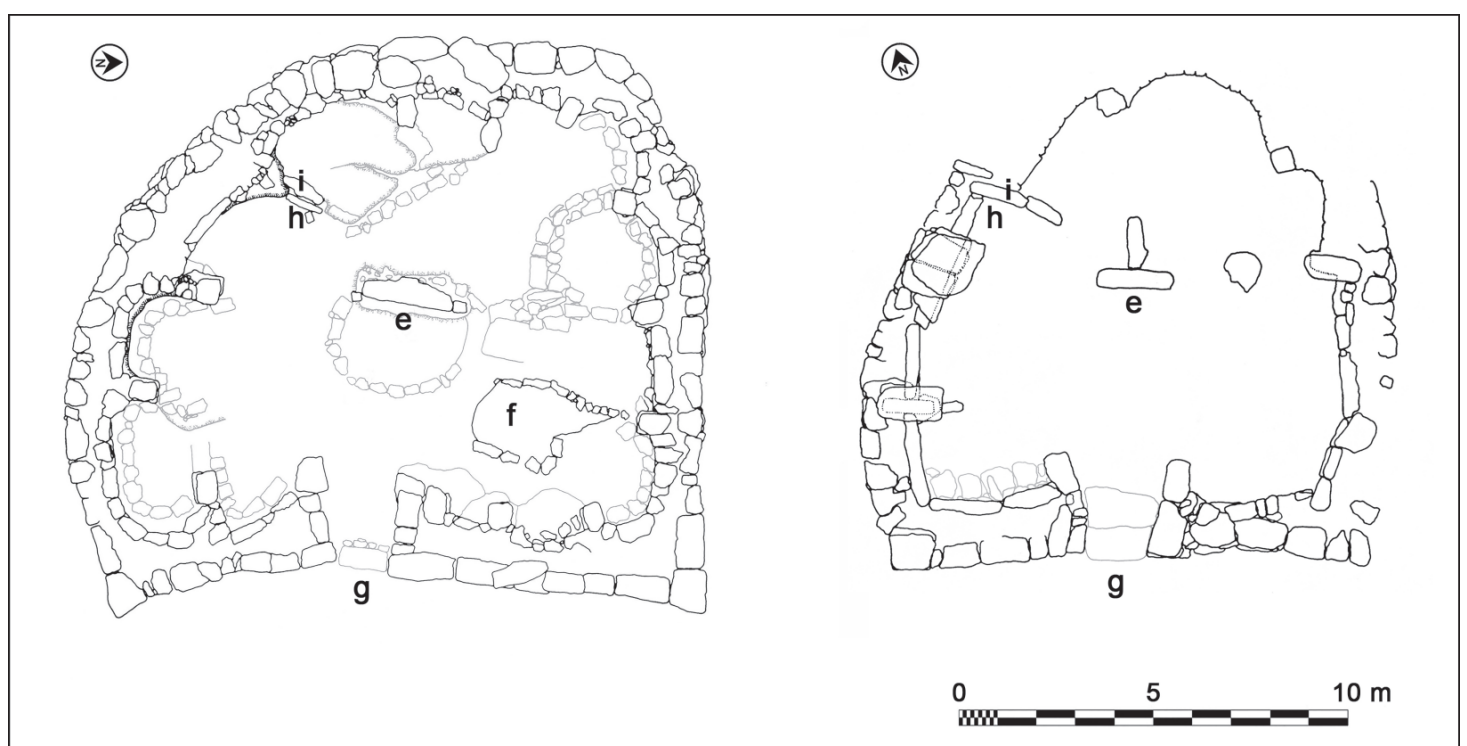


Figura 2. Planimetría de dos recintos de taula. 1: Torralba d'en Salort (reelaborada a partir de Fernández-Miranda 2009). 2: Torre d'en Galmés (reelaborada a partir de Plantalamor 1991). En ambas planimetrías: e) Taula. f) Ubicación de las evidencias de combustión. g) Entrada al edificio. h) Ubicación de las representaciones figurativas. i) Pilastra iconostática.

El paramento perimetral interno presenta una serie de pilastras encajadas en el mismo, situadas de forma radial y en número variable, dependiendo de la magnitud de cada recinto. Estas pilastras son generalmente polilíticas, siendo habitual que se conserve la basa y el fuste y, en menos casos, el capitel. En este mismo paramento es también común hallar diversos nichos, a veces contruidos y a veces excavados en las losas (Riudavets y Ferrer, 2022, pp. 198-200).

La taula ejerce de elemento de separación entre la zona anterior y posterior del recinto en el que se encuentra. Así es posible distinguir una zona delantera, de planta rectangular irregular, en la que los elementos constructivos que la componen presentan normalmente unos acabados mucho más elaborados que los que se hallan al fondo del edificio, por detrás de la taula, que muestra una planta absidal irregular. En ambos casos, el suelo es generalmente una regularización del propio sustrato rocoso, siendo en muchas ocasiones un simple rebaje de nivelación con acabados bastante toscos.

En el primer ámbito, siempre en el lado derecho, se documenta en casi todos los casos una estructura de combustión, normalmente delimitada con piedras (fig. 2, planimetría 1 y fig. 4, letra f). Dicha estructura podría estar relacionada con el consumo de carne de caprinos jóvenes documentado en algunos recintos de taula. Estas evidencias, unidas al consumo de vino que se deduce a partir de los restos anfóricos, han permitido proponer la celebración de banquetes rituales en el interior de estos edificios (Fernández-Miranda, 2009).

Por detrás de la línea definida por la taula, en el segundo ámbito, se observa generalmente una pilastra con unas características especiales, para la cual se propone, en este trabajo, el término de pilastra iconostática. Este elemento arquitectónico se diferencia claramente de las demás pilastras que se observan en el interior de los recintos de taula, pues está contruido mediante una losa plana, que sobresale del muro de forma notable (fig. 2, letra i). Se ha considerado necesaria la creación de una denominación específica para diferenciar a este elemento de las otras pilastras, que posiblemente no tendrían una significación litúrgica a nivel individual. El término “iconostático”, derivado de los vocablos griegos *eikōn* (‘imagen’) y *stásis* (‘acción de poner’) se ha considerado el más adecuado para designar y diferenciar este elemento, dado que su función parece estar relacionada con la exposición de figuras relativas al culto (figs. 2 y 4, letras h, i). Esta se encuentra siempre a la izquierda de la taula y adosada al muro perimetral, entre 0° y 37° por detrás de la línea divisoria transversal que la taula define dentro del recinto (véase tab. 1).

En la zona que queda justo por delante de dicha pilastra se ha documentado, en algunos recintos, la presencia de elementos que sin duda se vinculan a la representación de las entidades a las que se rendiría culto. En el santuario de Torre d’en Galmés se halló en este punto (fig. 2, planimetría 2, letra h) un conjunto constituido por una figura



Figura 3. Vista frontal actual de la taula del recinto oeste de So na Caçana.

de bronce que representa al dios egipcio Imhotep, junto con dos pequeñas lancitas del mismo metal y una pila de piedra interpretada como un elemento para realizar libaciones (Riudavets, 2011).

Tabla 1. Ángulo que forma la taula con la pilastra iconostática en los recintos de taula. Los datos han sido tomados a partir de aquellos recintos en los que se puede observar la taula y la pilastra iconostática, total o parcialmente conservadas. Se han medido en total 12 ángulos, siendo el menor el del yacimiento de Binissafullet con 0° y el mayor el de Torralba d'en Salort con 37°. La media de todos los ángulos es de 18.75°, por lo que la tendencia general es la de situar esta pilastra en la zona del ábside.

Yacimiento	Ángulo taula-pilastra iconostática
So na Caçana Oeste	8°
So na Caçana Este	8°
Sa Torreta de Tramuntana	7°
Torralba d'en Salort	37°
Torralbenc	26°
Torre d'en Galmés	34°
Trepucó	20°
Bellaventura	18°
Binimaimut	30°
Binissafullet	0°
Son Catlar	7°
Talatí de Dalt	30°
Media	18.75°

En la misma zona, pero en el recinto de taula de Torralba d'en Salort (fig. 2, planimetría 1, letra h) apareció un altar, sobre el que se conservaban incrustadas tres de las cuatro patas de bronce de algún tipo de figura equina. A los pies del mismo altar, apareció una escultura de producción local, también en bronce, que representa un toro. Junto a él se hallaron los restos de dos pebeteros de terracota, de origen púnico, con forma de busto femenino (Fernández-Miranda, 2009). En el recinto de taula de Sa Torreta de Tramuntana se documentó también un timiaterio parecido (Murray, 1934). Los pebeteros de este tipo, en el mundo púnico, se relacionan casi siempre con contextos de culto, relacionándose posiblemente con la diosa Tanit, o bien con Astarté y Tanit, así como con la naturaleza y la fecundidad de la tierra (Marín y Horn, 2007; Marín y Jiménez, 2014). En el caso de los santuarios menorquines, se ha propuesto la hipótesis de su asimilación, por parte de las comunidades locales, a alguna divinidad indígena (Niveau de Villedary, 2017).

Existe en la actualidad un debate no zanjado respecto a la existencia o no de una cubierta en este tipo de edificios, pues los resultados de las excavaciones realizadas hasta finales del siglo XX no son del todo concluyentes en este aspecto. No obstante, la dinámica stratigráfica en los recintos de taula no parece ser muy diferente a la que se documenta en las viviendas del mismo periodo, que obviamente presentaban techumbres. Así, en la mayoría de los recintos excavados de los que se dispone de datos se han documentado capas de tierra arcillosa, de una cierta potencia, justo por encima de los niveles de ocupación y por debajo de los estratos de derrumbe correspondientes a la

parte alta de los muros (e.g. Flaquer, 1943; Gual y Plantalamor, 1997). Por otro lado, existen algunos elementos estructurales que parecen haber tenido una función de soporte funcional, además de su posible carácter simbólico, como por ejemplo el refuerzo existente detrás de algunas taulas. En el caso del recinto oeste de So na Caçana, edificio objeto de este trabajo, este refuerzo es enormemente robusto y parece excesivo si su función era solamente ayudar a soportar la piedra capitel. Asimismo, la presencia de una columna exenta en el lado derecho de algunos de los recintos de mayores dimensiones, a medio camino entre la taula y el muro perimetral, puede ser interpretado como un elemento de soporte de la techumbre. Dichas columnas, y también en algunos casos las propias taulas, no están encastradas en el sustrato rocoso, sino tan solo colocadas en seco sobre este. Algunas de ellas presentan una base de reducidas dimensiones, por lo que tendrían poca estabilidad por sí mismas. Así, pese a su robustez, sería difícil que mantuvieran el equilibrio vertical, si no era formando parte de un sistema de cubierta cuyo peso evitara oscilaciones. Es el caso de la taula de Binissafullet, en la que durante la restauración del edificio fue necesario fijar la base de la piedra soporte al sustrato rocoso, con varillas metálicas, para garantizar que esta se mantuviera en posición vertical (Isbert, 1993). La columna exenta del recinto de taula de Talatí de Dalt, por otro lado, se encuentra en la actualidad parcialmente tumbada y apoyada en la taula, y la escasa superficie de su base tampoco permitiría que se hubiera mantenido en equilibrio estable como elemento aislado.

Por tanto, es probable que existiera un techo que cubriera al menos de forma parcial el recinto, construido a base de un entramado de vigas y ramas de madera, sobre el que se depositaría una gruesa capa de arcilla impermeabilizante. Este tipo de estructura de cubierta se ha documentado en las viviendas de la misma época, sobre todo en el yacimiento de Torre d'en Galmés (e.g. Ferrer et al., 2020a). Cabe mencionar que en las recientes intervenciones arqueológicas llevadas a cabo en el recinto de taula de Sa Cudia Cremada, se ha hallado este tipo de niveles equivalentes a los documentados en las viviendas, por lo que, para ese santuario, la interpretación propuesta por las investigadoras responsables es que se trataba de un espacio completamente techado (Bravo y Riudavets, 2022).

Se ha propuesto que estos edificios responden a la misma concepción espacial e ideológica que los espacios domésticos. Así, se ha planteado de modo genérico que la posición de la taula respecto al conjunto del edificio coincide con la ubicación de la puerta más monumental del interior de las viviendas, que conduce a la habitación principal de las mismas, la cual tiene una planta absidal. En el caso de los santuarios, la taula constituiría una “falsa puerta” y, por tanto, se trataría de un acceso impracticable para una entidad física, pues el espacio que correspondería al vano de dicha puerta está ocupado por la losa vertical de la taula (fig. 2, letra e). Es posible, no obstante, que en la cosmovisión de las comunidades humanas que construyeron dichos santuarios, las taulas constituyeran un acceso franqueable para otras entidades, por lo que se trataría de puertas que comunicarían el mundo natural con el sobrenatural (Ferrer et al., 2020b).

Dicha interpretación ha sido discutida recientemente, planteando que el elemento equivalente a la taula en los espacios domésticos no sería la puerta que da acceso al ámbito norte sino una de las pilastras laterales del patio (Gornés, 2022). En este trabajo se expone que el número de casos utilizado para defender las similitudes entre las proporciones de las taulas y las entradas a la habitación norte es escaso, hecho ya planteado por los propios autores del trabajo y que tiene su origen en la limitada muestra disponible hasta el momento (Ferrer et al., 2020b). No obstante, cabe mencionar que

el paralelismo entre taula y pilastra lateral de los espacios domésticos planteado por Gornés (2022) se basa en un único caso de estudio, la vivienda conocida como Círculo Cartailhac en Torre d'en Galmés. En este sentido, es necesario destacar que la supuesta peculiaridad de la pilastra concreta en la que se sustenta la hipótesis de Gornés es difícil de mantener si se tiene en cuenta que todas las pilastras que rodean el patio central del edificio presentan la misma altura y similares proporciones. En la actualidad, tan solo dos de las cinco pilastras que flanquean el patio central presentan capitel: la que se ha planteado como paralelo de las taulas y otra en el lado opuesto del patio, de características casi idénticas a la primera. No obstante, la falta del capitel en las otras pilastras se debe con toda probabilidad a los procesos posteriores al derrumbe del edificio, que provocaron que tan solo dos de los capiteles se pudieran reponer en su sitio en el momento de la restauración de la estructura, descrita por Sintés e Isbert (2009). Asimismo, cabe destacar que, en otras viviendas bien conservadas del mismo poblado y cronología similar, como el Círculo 7 (Ferrer *et al.*, 2011), la pilastra homóloga a aquella interpretada por Gornés como paralelo de las taulas, no presenta similitud con dicho elemento.

El presente artículo tiene como objetivo el análisis arqueoastronómico de una serie de elementos arquitectónicos conservados en un recinto de taula de Menorca, demostrando su relación con el solsticio de invierno y aportando, por tanto, nuevos datos sobre los cultos celebrados en este tipo de edificios.

3. LOS FENÓMENOS ARQUEOASTRONÓMICOS EN LAS BALEARES Y SU ENTORNO GEOGRÁFICO DURANTE LA EDAD DEL HIERRO

La arqueoastronomía se centra en el estudio de las concepciones humanas del cielo en la antigüedad y en la relación que establecen las poblaciones del pasado entre diferentes aspectos de su organización social con la bóveda celeste. Han sido muchos los investigadores de todo el mundo que han ido redescubriendo este tipo de aspectos relacionados con el cielo, que fueron en su día importantes para las sociedades del pasado (Cerdeño y Rodríguez, 2009). En general, estos conocimientos y estas relaciones se fueron diluyendo y olvidando con el tiempo, debido a que se trata de concepciones ideológicas difíciles de detectar en los restos arqueológicos de sociedades ágrafas. Además, se añade la dificultad de que, aunque los seres humanos observen una misma bóveda celeste, la perciben e interpretan de forma diferente (Iwaniszewski, 2009).

Las únicas fuentes escritas de las que se dispone que mencionan algún aspecto de la sociedad talayótica de las islas Baleares, son las grecorromanas. Estos documentos no hacen referencia ni a los posibles conocimientos astronómicos que la cultura indígena pudiese haber desarrollado, ni tampoco a las divinidades que pudiesen venerar. Las escasas citas comentan hechos sobre todo relacionados con los honderos procedentes de las islas, mercenarios a las órdenes de Cartago primero y Roma después, y algunos aspectos de verosimilitud cuestionable sobre las costumbres de los habitantes de las Baleares (Riudavets y Ferrer, 2022, p. 173).

Tampoco disponemos de imágenes ni de ningún tipo de iconografía relacionada con los astros en los edificios, soportes y materiales prehistóricos que se han hallado en Menorca. De hecho, solamente se encuentran algunos motivos iconográficos representados como grabados parietales en cuevas funerarias y en objetos muebles, eminentemente sobre cerámica y metales. Estas decoraciones, en gran medida incisas,

estampilladas o en relieve, en general muestran motivos de tipo geométrico (Ferrer, 2021), cuya posible interpretación como elementos o símbolos celestes resultaría cuanto menos aventurada.

A pesar del panorama isleño, cabe mencionar que sí existen diferentes tipos de relaciones astronómicas observables, tanto en materiales como en edificios, en diversos yacimientos de la península ibérica. Para el caso de yacimientos íberos, por ejemplo, tal y como indica Esteban (2013), se han establecido diversas tipologías. En un primer caso, se consideran las evidencias claras de edificios o elementos estructurales orientados hacia los ejes cardinales o hacia ortos u ocasos de astros específicos. Otra modalidad es de tipo topográfico, es decir, que los ortos u ocasos se produzcan sobre rasgos característicos de la topografía que destaquen en el horizonte. Finalmente, se considera también otro tipo de marcadores basados en la iluminación interior de una cueva en momentos astronómicos clave (Esteban, 2013). En el caso del recinto de taula oeste de So na Caçana, se estaría ante un fenómeno del último tipo, pero que no se da en una cueva, sino en un edificio construido, que presenta una abertura en su fachada posiblemente realizada para tal propósito, tal y como se propone en el presente artículo.

Siguiendo con el contexto peninsular ibérico, existen diversos casos que han sido estudiados en profundidad y que coinciden de forma más o menos precisa cronológicamente con el caso menorquín que se han interpretado como hierofanías, es decir, manifestaciones de lo sagrado. Es el caso, por ejemplo, de la Cueva de la Lobera en el santuario de Castellar (Jaén). Se trata de una oquedad con dos espacios naturales que fueron modificados para ser adaptados a la liturgia. La ventana oeste de la cueva conecta con el eje longitudinal de la misma, que se dirige hasta la parte más profunda, en donde hay una hornacina. Este eje está orientado en dirección este-oeste, por lo que, durante el ocaso de los equinoccios, se iluminaría dicha hornacina (Esteban *et al.*, 2014).

Existen otros casos relacionados con fenómenos solares documentados en santuarios de la Edad del Hierro relativamente cercanos. Entre ellos, cabe mencionar el registrado en el yacimiento de Las Cortinas, relacionado con la cultura tartésica y fechado alrededor de los siglos VI y V a.C. En este lugar, se ha hallado un edificio ritual que se orientó, en el momento de su construcción, hacia el orto helíaco de la estrella Arturo (*Alfa Bootes*), hecho que puede considerarse como el anuncio del equinoccio de primavera. Además, por sus características geométricas y orientación, se ha podido ver como los rayos del Sol solamente entran en el edificio durante el amanecer de los primeros días de mayo y septiembre, es decir, dos meses antes y dos meses después del solsticio de verano (Pérez *et al.*, 2016b). Este hecho sugiere que la luz solar podría tener un rol importante en el ritual que se celebraría en el interior.

También es interesante el ejemplo de Turó del Calvari, en Tarragona. En este edificio, fechado entre el 590 y el 550 a.C., se han hallado materiales indígenas y de origen fenicio, todo relacionado con el culto, el ritual o la liturgia. Se trata de un caso singular en muchos aspectos, y uno de ellos es su relación con eventos astronómicos. Se repite la relación con la orientación del eje hacia Arturo (*Alfa Bootes*), pero, además, la posición de la puerta principal hace que los rayos del Sol solamente puedan entrar en el interior durante un periodo concreto del año, entre el equinoccio de primavera y el de otoño, siempre en los momentos cercanos al ocaso. Solamente en el momento de la puesta de Sol del solsticio de verano, los rayos iluminan una estructura construida en piedra e identificada como un pequeño altar (Pérez *et al.*, 2016a).

Saltando hacia la vecina isla de Mallorca, en donde se desarrolla también la cultura talayótica, aunque con diferencias substanciales con respecto a Menorca (Riudavets y

Ferrer, 2022, p. 42), se han realizado algunos estudios arqueoastronómicos sobre monumentos. En primer lugar, cabe señalar el caso de Son Mas. En este yacimiento se halló una roca en los alrededores de un santuario (fechado en el Talayótico final), que presenta una muesca en forma de V desgastada. La piedra está orientada al sur, hacia un collado entre dos elevaciones que también tiene forma de V. Los estudios sobre los materiales, confirmados por dataciones radiocarbónicas, muestran que el yacimiento estuvo ocupado desde el III milenio hasta el Talayótico final, aunque destaca un momento de abandono de 500 años, entre el 1700 y el 1300 a.C. Este hecho fue analizado desde una perspectiva astronómica, y se pudo observar que durante el III milenio a.C. aparecía sobre una de las elevaciones la constelación de la Cruz del Sur, para quedar enmarcada entre las dos elevaciones y finalmente desaparecer tras el segundo. Este fenómeno, por el movimiento de precesión, dejaría de ser visible hacia el 1700 a.C. Los autores del estudio concluyen que este hecho sería el motivo por el cual el sitio se abandona en ese momento, al haber perdido su importancia religiosa derivada a su vez de la pérdida del objeto de culto (Van Strydonck *et al.*, 2001). Cabe destacar que posteriormente, en el Talayótico final, se construyó el santuario cuya orientación nada tiene que ver con ese fenómeno astronómico que, como se ha mencionado, ya no sería visible.

También se realizó un estudio sobre los talayots cuadrados, exclusivos de Mallorca, que sugiere que la construcción de estos monumentos, durante el Talayótico inicial, implicó una preparación previa en cuanto a su orientación. Así, en el momento de plantear el edificio sobre el terreno, sus lados se alinearían cerca de la salida del Sol en el solsticio de verano, o de la puesta en el de invierno. Durante la construcción, se escogería la posición de la entrada principal, la cual estaría orientada hacia el sureste en la mayoría de los casos, o hacia el suroeste en algunos otros (Aramburu-Zabala y Belmonte, 2002).

Los santuarios del Talayótico final mallorquines presentan una cronología similar a los recintos de taula menorquines. Se trata de edificios con planta absidal y fachada plana o cóncava, con la entrada en el centro. La principal diferencia, aunque no única, de éstos con los santuarios menorquines es la falta del elemento que caracteriza a los de la isla menor, la taula. Un estudio realizado en base a 15 santuarios mallorquines muestra que las orientaciones se extienden sobre un rango un poco superior a un cuadrante (10 entre los 121° y 168° y 5 entre 188° y 288°), algo que los autores del estudio comentan que no puede ser casual, pero sin poder dar una explicación concluyente al respecto (García *et al.*, 2000).

Los espacios funerarios y rituales de las Pitiusas durante la Edad del Hierro han sido también objeto de estudios arqueoastronómicos. Mientras que la disposición de los hipogeos de Puig des Molins no presenta indicios claros de estar relacionada con aspectos astronómicos, la orientación e inclinación de los dromos de los sepulcros de Ses Torres y Ses Païsses de Cala d'Hort podrían estar relacionados con la posición del Sol en el solsticio de invierno (González-García *et al.*, 2007). La ubicación de los santuarios, por otro lado, parece definir una serie de relaciones entre el firmamento y el paisaje. Si bien los investigadores que se han ocupado del tema reconocen que en muchos casos la situación es altamente incierta, se intuye una preferencia por ubicaciones relacionadas con la salida o la puesta más meridional de la Luna. El santuario de Illa Plana y los posiblemente existentes en la propia ciudad de Ebusus quizá se podrían relacionar también con la salida y la puesta del Sol durante el solsticio de invierno (González-García *et al.*, 2017).

Para el caso concreto de Menorca, se han realizado también diversos estudios en el ámbito de la arqueoastronomía. El primer investigador en relacionar los recintos de

taula con la astronomía fue Waldemar Fenn, a mediados del siglo XX (Fenn, 1950). No obstante, no fue hasta la década de los ochenta del siglo XX cuando se empezaron a realizar tomas de datos sistemáticas sobre el terreno, centradas sobre todo en la medición de las orientaciones de dos tipos de edificios ciclópeos exclusivos de la isla: las navetas funerarias y los recintos de taula (Hoskin, 1989).

En general, los trabajos publicados por Michael Hoskin hacen hincapié en la orientación de esos edificios. Para el caso de los recintos de taula, dicho investigador concluye que todos están orientados hacia la mitad meridional del horizonte, entre el sureste y el suroeste, con la excepción de la taula de Torralba d'en Salort (Hoskin, 2001). Se relaciona esta orientación general con la visión perfecta que ofrece del horizonte meridional, para concluir que, dado que este hecho no se puede explicar por eventualidades de tipo funcional, su explicación debe radicar en la voluntad de divisar algún elemento celeste. Así, propone que la orientación de estas construcciones probablemente responde a la observación del evento del cruce meridiano de la Cruz del Sur, seguida por las estrellas Tolimán y Hadar (*Alfa y Beta Centauri*). Esta propuesta ha sido ampliamente debatida. Así, es posible plantear hipótesis que relacionen la orientación de estos edificios hacia el sur con otros motivos funcionales, tales como protegerse del fuerte viento del norte o disponer de más horas de luz solar (Lull, 1995).

En cuanto al santuario de Torralba d'en Salort, la taula tiene una orientación perpendicular de 110° , un hecho inusual ya que presenta una variación bastante clara con respecto a la tendencia general. Hoskin propone que posiblemente esté orientada hacia el orto heliaco de Sirio y/o de Rigel (*Beta Orionis*). Además, especula con la posibilidad de que los fragmentos de la estatua que se halló sobre el altar, que representan tres de las cuatro pezuñas de un équido, podrían haber sido en realidad las de un centauro. Dado que en la mitología griega el centauro más célebre es Quirón, maestro de Asclepio, dios de la medicina, Hoskin propone que los recintos de taula podrían haber estado relacionados de algún modo con la medicina. Esta idea estaría a su vez apoyada por el hallazgo de la figura de bronce de Imhotep, el dios egipcio de la medicina, en el templo de Torre d'en Galmés.

El astrofísico Juan Antonio Belmonte plantea algunas objeciones a estas hipótesis y propone una posible solución (Belmonte, 2011). La primera de las cuestiones tiene que ver con la cronología. Hoskin considera fechas cercanas al año 1000 cal a.C. para la construcción de los recintos de taula, basándose en los resultados preliminares de la intervención en el santuario de Torralba d'en Salort (Fernández-Miranda, 2009). En ese momento la Cruz del Sur y las dos estrellas más brillantes de la constelación del Centauro (Tolimán y Hadar) eran todavía visibles en el horizonte sur desde la latitud de la isla. El problema al que se enfrenta esta hipótesis es que a partir de mediados del I milenio cal a.C., este hecho cambia debido al fenómeno de la precesión, haciéndose cada vez menos visible desde Menorca, para desaparecer durante el cambio de era (Belmonte, 2011). Por otro lado, no existen evidencias que permitan afirmar que los menorquines de ese momento conocían la figura mitológica del centauro y tampoco de que asociaran con este ser a la constelación conocida con el mismo nombre en la tradición griega. Aun así, Belmonte propone una hipótesis alternativa que aúna una interpretación solar, relacionada con la orientación de la zanja donde se encaja la taula, con la estelar propuesta por Hoskin (Belmonte, 2011).

Cabe mencionar que la excavación del recinto de taula de Torralba d'en Salort, a finales de los años setenta del siglo XX, permitió documentar una gran cantidad de restos de fauna doméstica. A grandes rasgos, su estudio concluyó que, conociendo el ciclo

reproductivo y el momento de sacrificio de los animales consumidos en el interior del santuario, es posible que éstos se inmolaran en algún momento a principios del verano, quizás celebrando el solsticio (Fernández-Miranda, 2009) o, como propone Hoskin (Belmonte y Hoskin, 2002), el orto helíaco de Sirio.

En cuanto al recinto de taula oeste de So na Caçana, éste aparece en la obra de Peter Hochsieder y Doris Knösel (1995). En esta publicación, centrada en diferentes mediciones sobre la incidencia que pudieron tener los solsticios, los equinoccios, la Luna y otros elementos celestes en una gran cantidad de recintos de taula, se presentan las posibilidades mediante líneas dibujadas sobre las plantas de cada edificio. Se menciona la existencia de la ventana objeto del presente estudio, indicando que fue el propio Michael Hoskin quien les advirtió previamente de su existencia (Hochsieder y Knösel, 1995). Sin embargo, si bien es cierto que indican que se trata de un hecho inusual, solamente comentan que a través de él pueden observarse el Sol, la Luna y los planetas, sin profundizar más en el tema.

En un trabajo de revisión posterior, Hochsieder revela que ha hallado este tipo de elementos arquitectónicos, a los que denomina tubos de observación, en diferentes recintos de taula (en So na Caçana este y en Talatí de Dalt, no observables en la actualidad), destacando el de So na Caçana oeste. Expone que, en general, estos tubos se utilizarían no solo para contemplar cuerpos celestes, sino también para que la luz incidiera dentro del santuario (Hochsieder, 2011). Para el caso de So na Caçana oeste, plantea que el rayo de luz de la Luna a mediados del ciclo de saros incidiría en el momento adecuado sobre el flanco este de la taula y pasaría ligeramente al este del pilar exento, jugando un papel importante en el culto y los rituales asociados a los recintos de taula. No obstante, tal y como se verá a lo largo de este trabajo, este hecho no parece ser posible debido a la ubicación y orientación de dicha abertura.

4. EL YACIMIENTO DE SO NA CAÇANA Y EL RECINTO DE TAULA OESTE

So na Caçana es un asentamiento talayótico situado en la parte sureste de la isla de Menorca, a unos 3 km de la costa y a unos 100 metros sobre el nivel del mar, en el término municipal de Alayor (fig. 1), con las coordenadas 39° 53'09" N 4° 09'42" E. En este poblado se han individualizado diez edificios, de los que se han excavado tres: dos recintos de taula y un círculo o vivienda del Talayótico final. Dicha excavación fue llevada a cabo en los años 80 por un equipo del Museu de Menorca, dirigido por Lluís Plantalamor (Plantalamor, 1986). La hipótesis general que se planteó sobre este yacimiento es que se trataría de un asentamiento especial, en el que tendrían un gran peso los aspectos simbólicos y rituales, ya que se trata del único poblado de la isla en el que se han identificado con seguridad dos recintos de taula (Plantalamor, 1995).

El recinto de taula oeste, conocido también como Monumento 5 (Plantalamor, 1986), se construyó adosado por su lado este al gran talayot del poblado (Monumento 4), hecho que condiciona su forma general (fig. 4). Se trata por tanto de un edificio con una planta de tendencia triangular, que sin embargo sigue las mismas normas generales de construcción y distribución establecidas para estos monumentos. Presenta una fachada recta, en el centro de la cual se ubica la entrada al santuario, que conserva el umbral, pero no el dintel. El espacio interno está presidido por la losa vertical de la taula, que, aunque presenta una rotura diagonal parcial en la parte superior oeste, conserva en la otra parte toda su altura original. Detrás de esta losa, adosada a la misma, se halla una segunda que sirvió

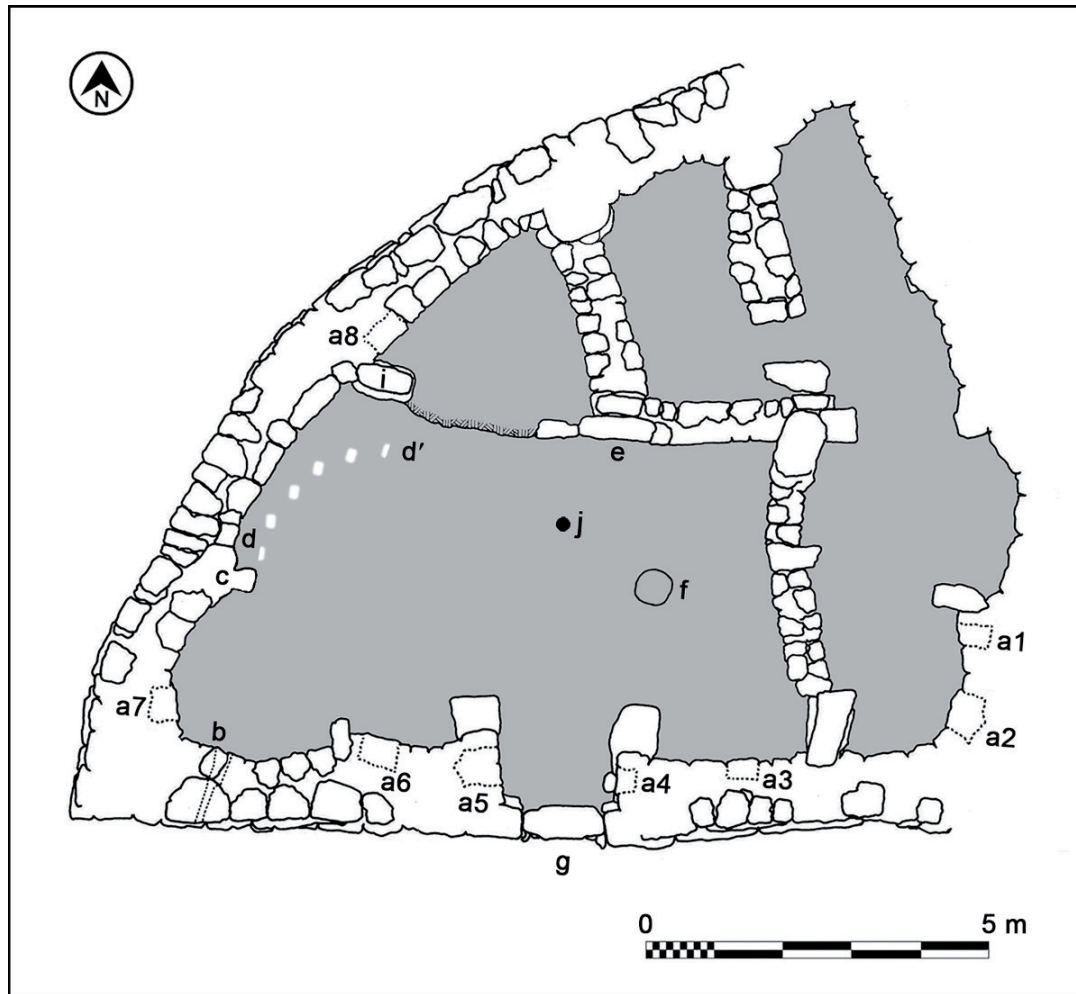


Figura 4. Planimetría (reelaborada a partir de Plantalamor 1991) del Monumento 5 de So na Caçana. a) Nichos. b) Abertura en la fachada del edificio. c) Pilastra interna más próxima a la fachada del lado oeste del edificio. d-d') Recorrido del haz de luz solar por el suelo interior del edificio, entre las 13:58 h (GMT +1) (d) y las 14:55 h (GMT+1) (d') del día del solsticio de invierno. e) Taula. f) Ubicación de las evidencias de combustión. g) Entrada al edificio. i) Pilastra iconostática. j) Posición de la cámara fotográfica con la que se registró el fenómeno.

como apoyo adicional para dar más estabilidad a la piedra capitel y probablemente como soporte de vigas de la techumbre. La piedra capitel de esta taula no se conserva, por lo que no es posible determinar la altura total original del elemento (fig. 3).

El recinto se asienta directamente sobre el sustrato geológico, que fue rebajado y regularizado para acondicionar el suelo. Además, se observan dos niveles distintos, separados por la línea que marca la posición de la taula en la planta del edificio. La parte delantera del espacio interno se encuentra a un nivel más bajo (aprox. 40 cm.) que la parte trasera, correspondiente al ábside (figs. 3 y 4). La taula se encuentra entre los dos niveles, encastrada en el límite del nivel superior y flanqueada por dos bloques de piedra, a los que se les dio la forma precisa para que a su vez encajaran bien en el suelo (fig. 3). En la parte delantera, a la derecha de la taula según se entra al edificio, se documentó una gran piedra cilíndrica, con restos de combustión asociados (Plantalamor, 1986) (fig. 4, letra f). Cabe destacar que la ubicación de este elemento es asimilable a la de la estructura de combustión, delimitada por bloques de piedra, que aparece en otros recintos de taula y que se describen en el apartado introductorio (fig. 2, planimetría 1, letra f). En este edificio se documenta la utilización de muros de piedra para dividir el espacio interno, una característica que no se observa en ningún otro recinto de taula.

Es necesario mencionar que probablemente este recinto de taula sea el mejor conservado de toda la isla. El muro perimetral conserva, con toda probabilidad, su altura original, ya que los capiteles de las pilastras adosadas quedan a la misma cota que la



Figura 5. Fachada del recinto de taula oeste de So na Caçana. a) Abertura en la fachada. b) Posible figura esquemática de la diosa Tanit (resaltada en gris oscuro en la imagen).

parte superior del muro. En general su conservación es excelente, con la excepción de la parte central de la fachada, donde se sitúa el acceso (fig. 5). Este hecho es especialmente relevante, ya que permite observar ciertos elementos que, en otros recintos de taula, de haber existido en origen, pueden haber desaparecido. Entre estos, destacan un total de 8 nichos completos contruidos en la parte interna del muro (fig. 4, letras a).

Por otro lado, existe en la fachada, en el lado oeste de la entrada y formada por los propios sillares, una posible representación ciclópea de una figura antropomorfa (fig. 5, letra b). El parecido de esta figura con los símbolos esquemáticos de la diosa semítica Tanit ha llevado a algunos investigadores a vincular esta representación con dicha divinidad (Hochsieder y Knösel, 1995; de Nicolás, 2015).

Finalmente, cabe destacar una ventana (objeto del presente estudio, ver fig. 4, letra b, fig. 5, letra a y fig. 6) que atraviesa el muro y constituye la única conexión con el exterior, a parte del acceso principal. Es necesario señalar que actualmente se observa, en el mismo tramo de muro en el que se encuentra la ventana, otra pequeña abertura. No obstante, mientras que en la ventana están perfectamente definidos los bloques de piedra que hacen las veces de dintel, alféizar y jambas, no ocurre lo mismo con esta otra abertura. Es probable, por tanto, que dicho orificio sea el producto de la rotura o pérdida de algunos pequeños sillares con posterioridad al abandono del edificio. Respecto a



Figura 6. Vista interior de la abertura en la fachada del edificio.

la ventana, durante un trabajo de toma de datos sobre el edificio a principios de 2020, se observó que su altura, inclinación y orientación podían permitir la entrada de la luz solar en el edificio en el momento del año en que el astro se encuentra más bajo en el horizonte, por lo que se tomó la decisión de comprobar si esta abertura se podía relacionar con la posición del Sol durante el solsticio de invierno.

5. METODOLOGÍA

Tal y como se verá más adelante en este apartado, el fenómeno arqueoastronómico documentado es visible en la actualidad. No obstante, dados los cambios debidos a la variación de la oblicuidad de la eclíptica en el periodo transcurrido entre la fase de uso del edificio y la actualidad, se consideró necesario un estudio pormenorizado que incluyera la generación de un modelo en 3D del edificio mediante el uso de fotogrametría y un GPS diferencial. Dicho modelo fue utilizado para simular la observación solar desde el interior del edificio en los dos extremos cronológicos más probables de la fase de uso de la estructura, mediante la herramienta Stellarium 0.21.2 (Zotti *et al.*, 2020).

5.1. Registro microtopográfico y geométrico del edificio

Para realizar la comprobación y correcta caracterización del fenómeno documentado en el campo, se estimó necesaria la creación de un minucioso registro microtopográfico del entorno del santuario, y geométrico de sus componentes arquitectónicos, poniendo especial atención en la abertura en el muro sur, por donde transita la luz del Sol que produce el singular efecto.

Para mejorar cualitativa y cuantitativamente los métodos y técnicas de registro estándar, se ejecutó un proceso de obtención masiva de datos basado en la técnica de la fotogrametría. Esta permite la medición, la reconstrucción y la interpretación de objetos físicos 2D y 3D a partir de imágenes terrestres y aéreas. La elección de dicha técnica, en lugar de recurrir a otro tipo de dispositivos como el escáner láser 3D, responde a los beneficios que ofrece por su rápida ejecución, su idoneidad adaptativa, la calidad geométrica y cromática de los resultados, su bajo coste y su componente inocua.

Paralelamente, el trabajo de documentación fotogramétrica requirió de puntos de soporte y de control para conferir, los primeros, coherencia espacial y valor métrico mediante coordenadas geográficas al modelo tridimensional y permitir, los segundos, supervisar la calidad del proceso de restitución y estimar el margen de error. Para ello se dispuso de una red de puntos de control y soporte que cubrían todo el espacio interno y externo del recinto de taula que fueron visibles durante todo el proceso de registro fotogramétrico. La ubicación de los puntos se determinó geográficamente a nivel sub-centimétrico mediante GPS diferencial.

El registro fotogramétrico del recinto de taula oeste de So na Caçana ha requerido de 1.439 capturas fotográficas realizadas a una distancia media de 2.83 m con una cámara Canon EOS 5D Mark III y un objetivo Canon EF con una lente de 28 mm f/1.8 USM. Del total de imágenes, 968 fueron hechas desde diversas posiciones terrestres y 471 desde diferentes localizaciones aéreas. Todo el espacio fue fotografiado con un solapamiento de más de 9 imágenes, hecho que permitió cubrir un área de 378 m² con una resolución de 0.93 mm/pix. A su vez, se implementaron 18 marcadores geolocalizados mediante un GPS diferencial modelo Leica Viva GS08plus y una libreta electrónica modelo Leica Viva CS15 que incorporaba un software de levantamiento topográfico. Del total de puntos, 14 eran de soporte y 4 de control de calidad con lo que se estimó una desviación del modelo obtenido de 0.65 cm en el eje este, 1.06 cm en el eje norte, 0.21 cm en el eje Altitud y que combinados ofrecía un error total de 1.26 cm.

Finalmente, el modelo 3D con valores métricos ha sido integrado en el programa Meshlab que permite realizar mediciones precisas de distancia y ángulos. A su vez, se han generado diversas ortoimágenes cenitales y sagitales para presentar los resultados (figs. 7 y 8). A partir de la combinación de estos datos se pudo determinar con exactitud los límites perimetrales de la abertura en el muro sur sobre los que se realizaron las diferentes mediciones.

- La ventana de tránsito se describió como el espacio angular a través del cual, el paso del Sol por la fachada sur proyecta un haz de luz que recorre el interior del recinto. Ésta se determinó trazando vectores que intersecan los distintos extremos opuestos de la abertura. El resultado es un cono a partir del cual la luz transita por el interior del recinto a través de la abertura (figs. 7 y 8).
- El centroide de la abertura se ha descrito como el punto localizado en el centro geométrico del polígono conceptualizado de la ventana. Desde él, se realizaron todos los cálculos de distancia y ángulo hasta el suelo y muros internos del recinto (figs. 7 y 8).

La altura de la ventana en el exterior es de 220 cm sobre el nivel del suelo y de 180 cm sobre el nivel del suelo en el interior. Las medidas de la abertura son, en la parte exterior, 20 cm de alto por 15 de ancho (fig. 5, letra a) y de aproximadamente 27 cm de alto por 30 cm de ancho en la parte interior (más irregular) (fig. 6). El grosor del muro en ese punto y, por tanto, la distancia entre el exterior y el interior de la ventana es de 106 cm. La estructura permite una visión de 11.81° en horizontal y 20.09° en vertical.

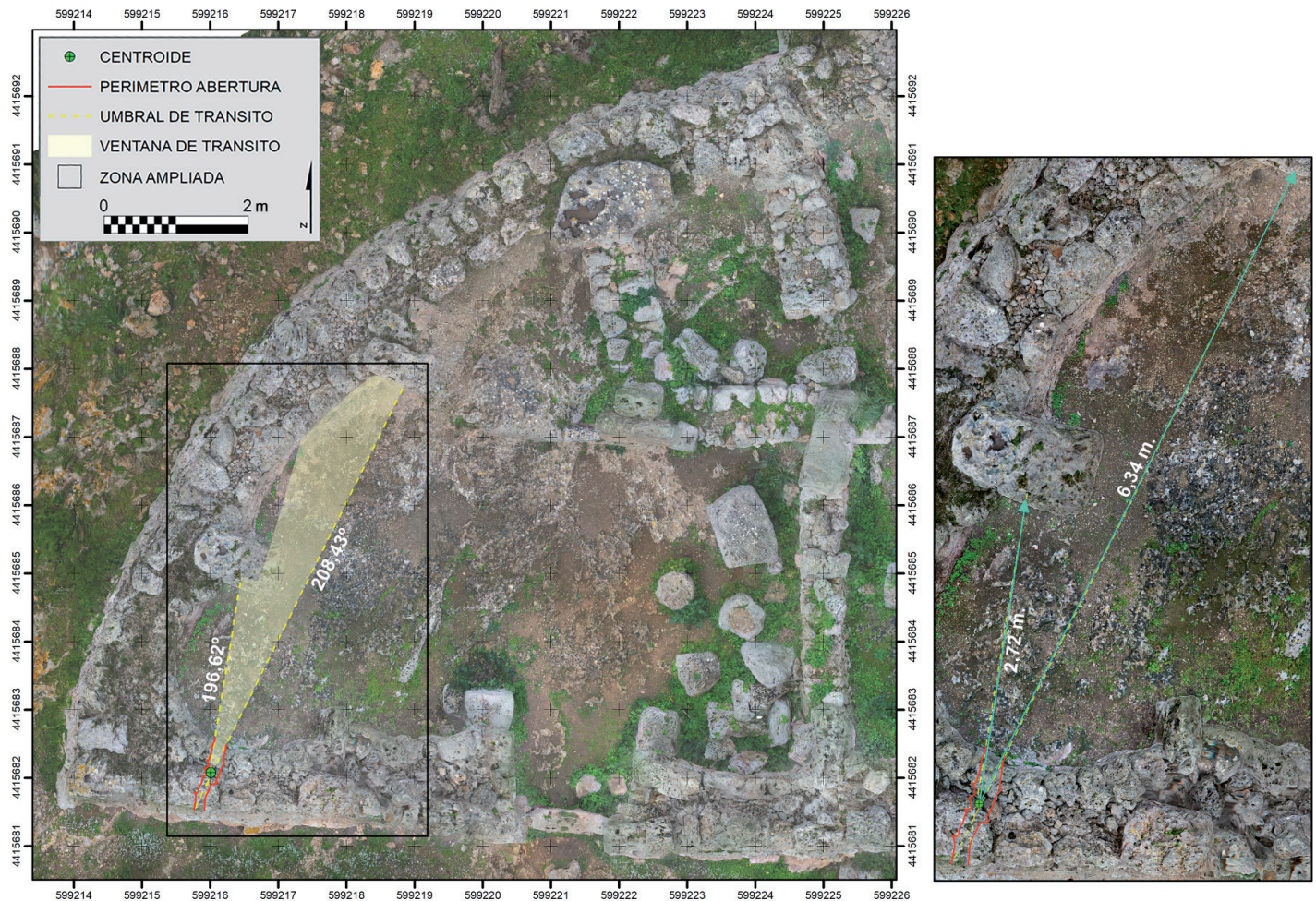


Figura 7. Ortoimagen cenital del recinto de taula de So na Caçana oeste con los ángulos máximos de abertura desde el centroide de la ventana. A la derecha, imagen ampliada con la distancia desde el centroide.

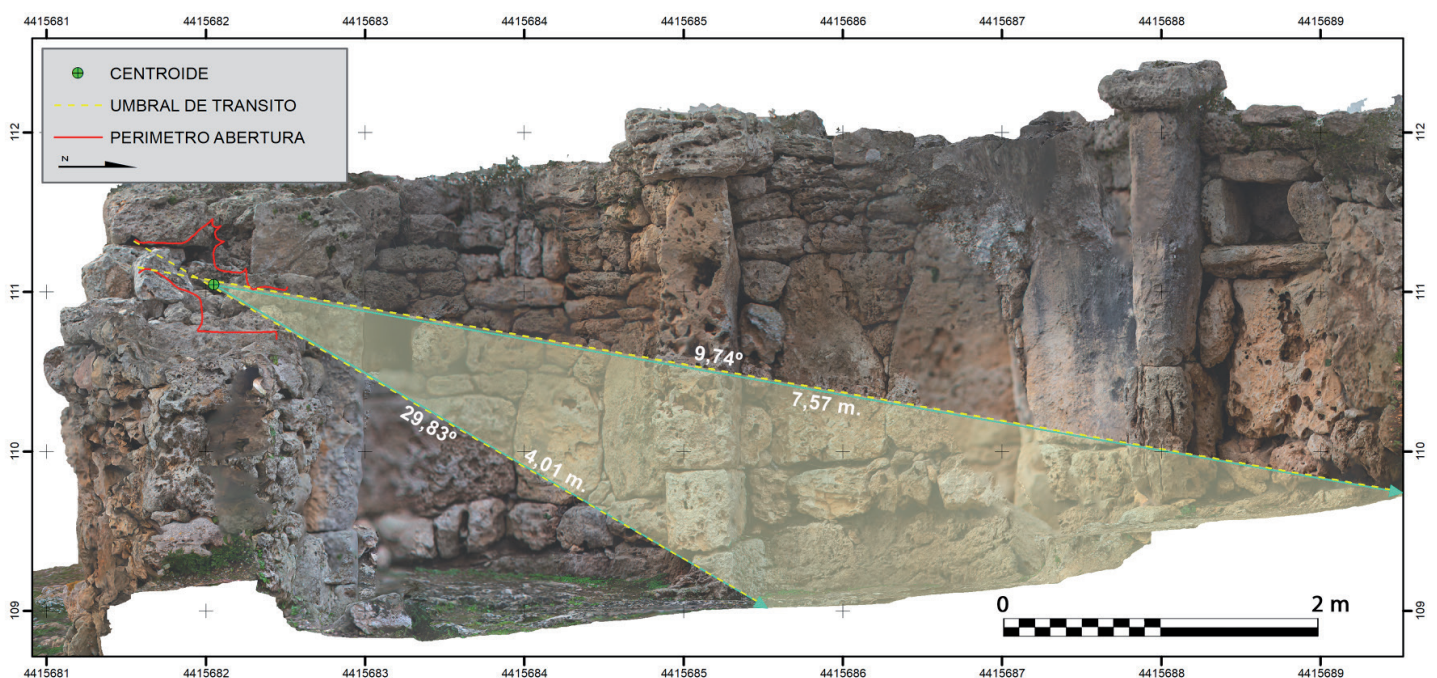


Figura 8. Ortoimagen sagital con los cálculos de distancia y ángulo hasta el suelo y muros internos del recinto desde el centroide.

5.2. Simulación de la observación solar

Una vez elaborado el modelo 3D del edificio, se realizó un estudio exhaustivo para comprobar si realmente podía considerarse un fenómeno solar visible durante la protohistoria y expresamente proyectado. Así, una vez obtenido el punto de observación y los límites del cielo observable teniendo en cuenta todos los diafragmas (véase tab. 2), usamos la herramienta Stellarium 0.21.2 (Zotti *et al.*, 2020) para simular la observación solar. Los cálculos se realizaron para los años 600 a.C. y 200 a.C., que constituyen, respectivamente, la fecha más antigua y más moderna del intervalo en el que pudo construirse este tipo de edificio, de acuerdo con las actuales propuestas cronológicas de la prehistoria de la isla (Riudavets y Ferrer, 2022, pp. 192-193). La herramienta antes mencionada es adecuada para la época en la que se centra el estudio, permitiendo una precisión temporal de 1 segundo y una precisión angular de unos 2". De este modo, obtenemos la posición del Sol en su paso por la ventana y su proyección en las diferentes superficies del edificio durante todo el año. Al tratarse de un astro no puntual, con un ancho aproximado de 32'33", lo analizamos en cuatro momentos específicos del día (fig. 9): inicio y fin de la entrada (A y B), además del inicio y fin de la salida (C y D).

Tabla 2. Punto de observación y límites del cielo observable incluyendo todos los diafragmas. La posición del observador es N 39°53'07.44"; E 04°09'37.35", a 111 m de altura sobre el nivel del mar. Las épocas de observación son 600 y 200 a.C.

Límites	Altitud	Azimut
Mayor	29° 49'18" ± 04' 06"	208° 25' 47" ± 02'14"
Menor	09° 44' 22" ± 07' 43"	196° 40' 12" ± 02' 26"

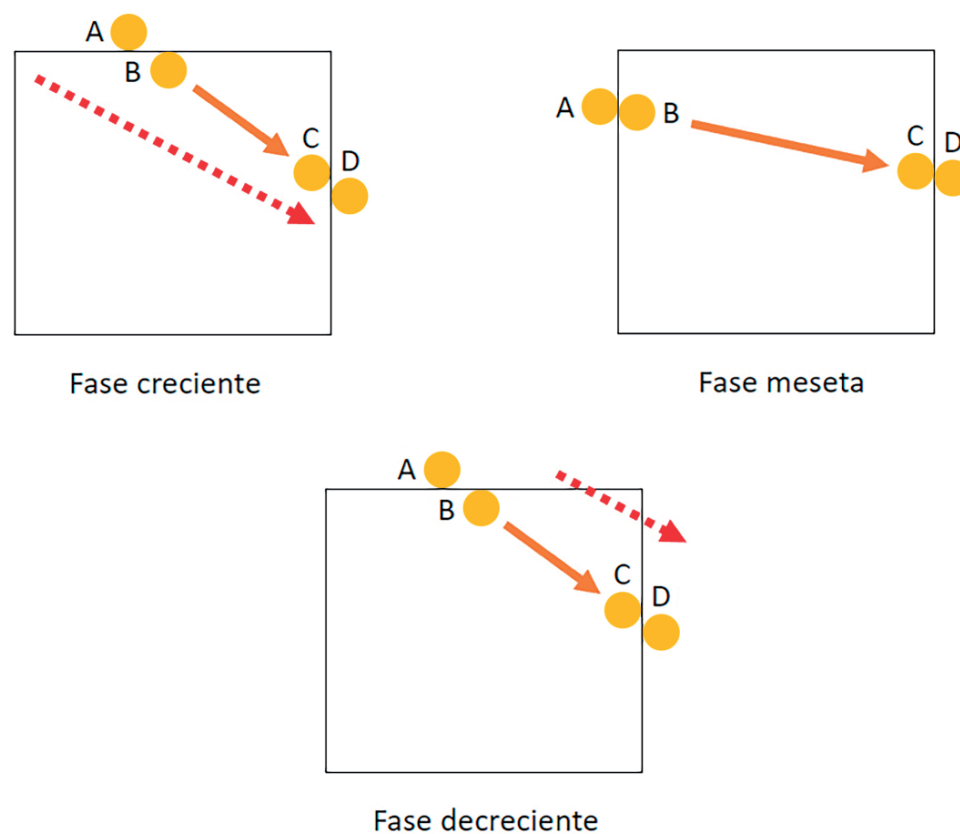


Figura 9. Puntos de interés para medir la posición y el tiempo en que ocurre el evento. El disco solar se representa a la entrada (A y B) y a la salida (C y D). Pueden distinguirse varias fases según el límite de entrada y si su siguiente trayectoria tiene mayor o menor duración (en rojo punteado, véase el texto).

Para el 600 a.C., nuestros resultados muestran que el Sol tan solo incide sobre el suelo de manera directa desde el 8 de noviembre al 13 de febrero, es decir, 98 días al año (fig. 10). Una de las características que puede medirse es la duración de este evento diario, tanto si se observa el disco completo (naranja) como de manera parcial (rojo). Dicha duración marca tres fases simétricas en el calendario. La primera se caracteriza por la duración significativamente mayor del evento hasta los 50 minutos, aproximadamente. En esta fase, el Sol entra por el extremo superior de la ventana y sale por el lateral oeste. Dicha fase creciente, que denominamos así porque día a día la luz del Sol se adentra progresivamente en el edificio, tiene lugar entre el 8 y el 20 de noviembre, durando unos 13 días. La duración del evento en la segunda fase se mantiene constante alrededor de los 50 minutos. Si bien, dicha duración es unos 2 minutos mayor en el culmen, localizado en el solsticio (26 de diciembre en el 600 a.C., de acuerdo con el calendario juliano proléptico). En dicha fase, el Sol entra y sale por los laterales, ejerciendo la pilastra c de diafragma en la entrada. La fase meseta empieza el 21 de noviembre y termina el 31 de enero, por lo que dura unos 72 días. Por último, en la tercera fase la duración es menor día a día. El Sol, que vuelve a aumentar su altitud desde el solsticio, ya no entra por el lateral si no por la parte superior, cada vez más cerca del extremo oeste. Luego, la fase decreciente dura también unos 13 días.

Aunque centrado en el solsticio, la duración del evento no es una magnitud adecuada para marcar la fecha con una precisión del orden de días. En cambio, la construcción permitiría medir el paso del tiempo durante aproximadamente 1 hora teniendo en cuenta la posición del Sol en el suelo de la cámara. Además, marca el mediodía durante los meses cercanos al solsticio. Aun así, la posición del disco solar varía día a día, siendo menor la altitud cuando más cercano es el solsticio. Podemos ver este fenómeno usando tanto el momento de entrada como el de salida (véase el panel inferior de la fig. 10). Para ambos el culmen también ocurre en el solsticio.

Una menor altitud del Sol en la entrada se traduce en una mayor altitud de su proyección en la pilastra c (fig. 11). Podemos calcular dicha altitud conociendo la distancia entre la ventana y la pilastra c (~2.74 m) y la altura de la ventana respecto al suelo (~1.93 m). Además, al ser un objeto no puntual, el diámetro vertical del disco disminuye día a día a medida que se acerca el solsticio. Nuestros resultados muestran que, con la precisión del grosor de 1 dedo (una unidad de medida utilizada de forma usual por sociedades preindustriales) era posible medir el solsticio de invierno con una precisión de ± 3 días. Aunque la variación del grosor no es significativa, dicha precisión es posible teniendo en cuenta la altura del disco en ambos extremos. Estas mediciones no requerirían de marcas en la pilastra.

Paralelamente, un menor ángulo en la salida del Sol equivaldría a un mayor recorrido del haz de luz. El disco solar alcanzaría una mayor profundidad en la cámara cuanto más cercano sea el solsticio y el disco proyectado estaría más deformado (véase la fig. 12). Emulando los resultados de la entrada, es posible conocer con exactitud el solsticio de invierno midiendo la profundidad de la parte inferior y superior de la proyección solar con una precisión de ± 2 días. En este caso la variación del grosor sí es detectable. Tampoco se requerirían marcas en el suelo.

Con estas medidas, los usuarios del edificio podrían dividir la fase meseta en tres periodos, casi simétricos. Dos meses de entre 33 ± 1 días separados por el solsticio de entre 5 y 7 días.

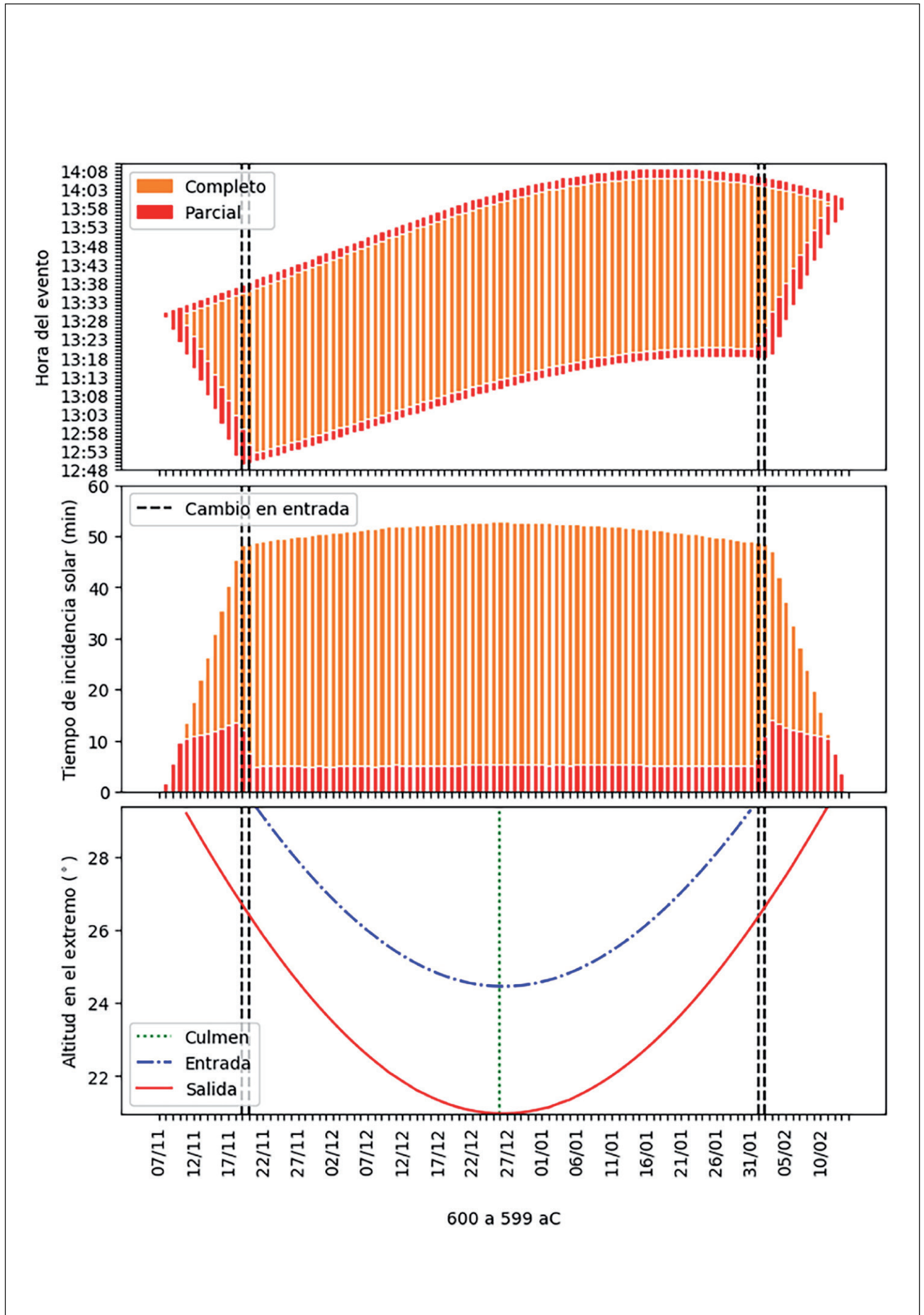


Figura 10. Panel superior: Días y horas en los que se observa el disco del Sol proyectado en el suelo de la cámara, tanto en su totalidad (naranja) como de forma parcial (rojo). Panel central: Duración del evento. Panel inferior: Altitud en el cielo tanto a la entrada (línea de puntos y rayas azul) como a la salida de la ventana (línea sólida roja), teniendo en cuenta la pilastra c como diafragma. Se describen el culmen de la duración y de menor altitud en las referencias (línea punteada verde); y el cambio en el tipo entrada (línea a rayas negra, véase el texto para más información).

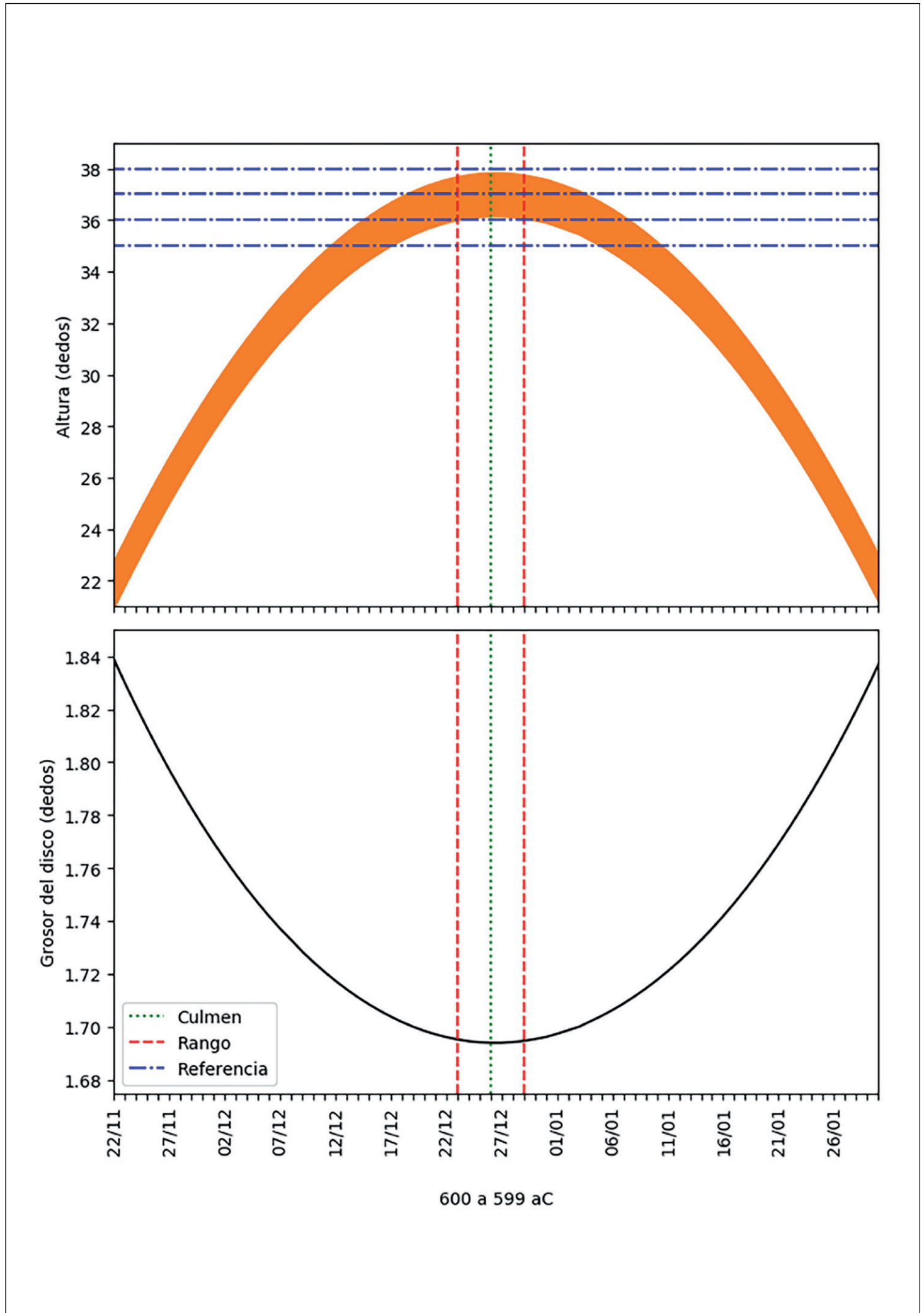


Figura 11. Panel superior: Altura del disco solar proyectado en la pilastra c (naranja) durante la fase meseta. Panel inferior: Diámetro vertical del disco proyectado (negro sólido). Se diferencia el culmen (verde punteado), con la precisión a 1 dedo (rojo rayado) y las medidas de referencia (azul de puntos y rayas).

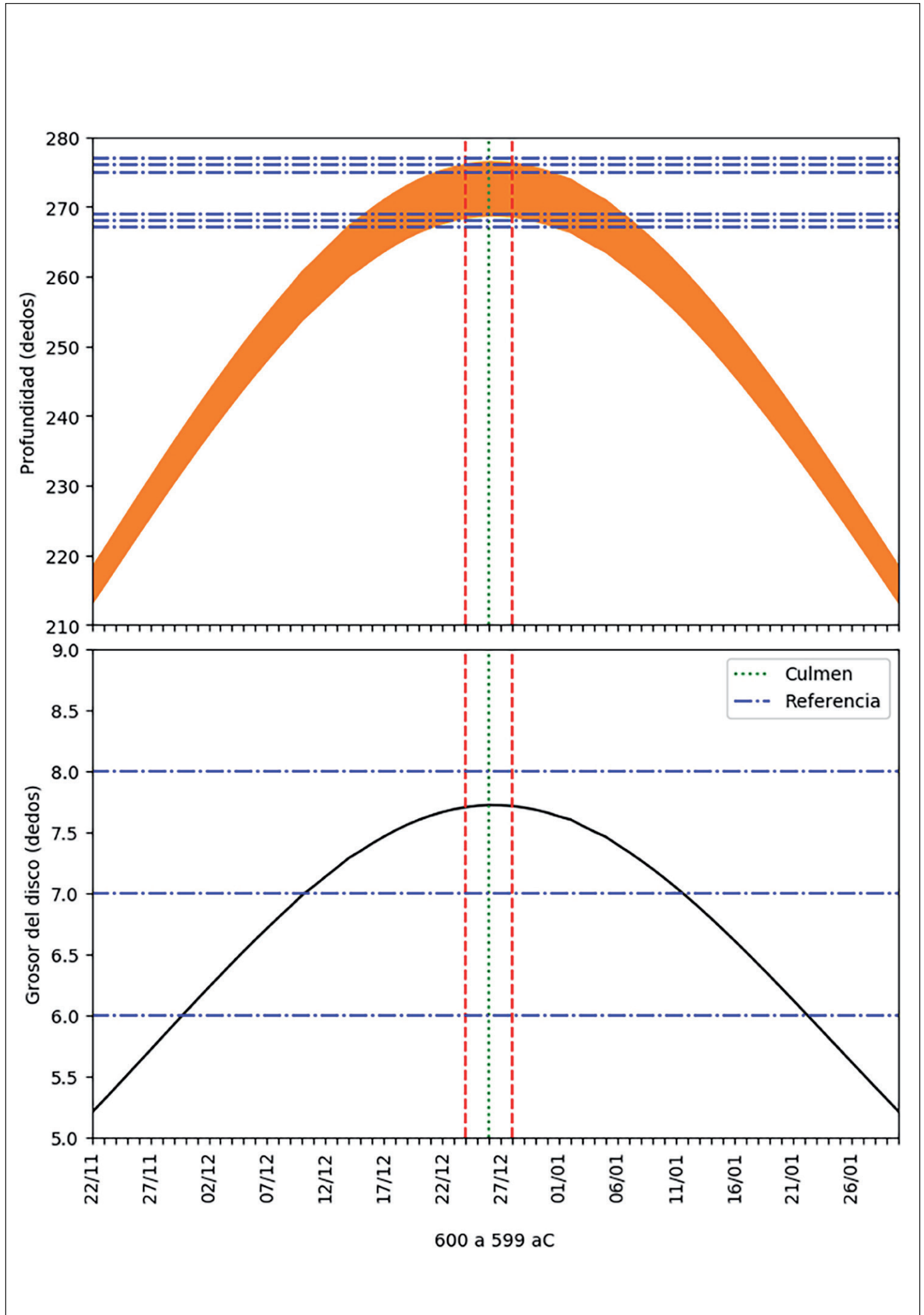


Figura 12. Gráfica equivalente a la mostrada en la figura 11, para la profundidad y grosor del disco solar proyectado en el punto de salida (naranja) durante la fase meseta.

El eje rotacional de la Tierra se encuentra desviado $\sim 23^{\circ}27'$ del eje de la eclíptica, de tal forma que la bóveda celeste oscila en un ciclo que dura unos 26 mil años (véase la fig. 17.5 de Zotti *et al.*, 2020). Este efecto se conoce como precesión y se contempla en Stellarium 0.21.2 a partir del estudio de Vondrak *et al.* (2011). Superpuesta a la precesión, la nutación es otro movimiento oscilatorio en el que el eje de rotación cabecea (McCarthy y Luzum, 2003). Estos movimientos provocan el adelantamiento de los solsticios y el cambio de la oblicuidad de la eclíptica. Concretamente, durante los cuatro siglos que trascurren en la época del estudio, el solsticio pasa del 26 al 23 de diciembre y la oblicuidad tiene una diferencia de $\sim 3'12''$.

Conociendo todo lo anterior, repetimos el mismo análisis para el 200 a.C. Los resultados nos permiten observar el adelantamiento de tres días en los límites de todas las fases (fig. 13). El culmen se observa el 24 en lugar del 23 de diciembre porque el momento exacto del solsticio se produce horas después del paso del Sol por la ventana, ya entrada la tarde en la ubicación. Midiendo la altura en la pilastra c durante la entrada (fig. 14) y la profundidad en la salida (fig. 15), obtenemos el valor del culmen con una precisión de $+6 -7$ días y $+2 -3$, respectivamente. Por tanto, la diferencia entre el culmen y el solsticio sería imperceptible para los habitantes del lugar.

El cambio en la precisión entre el 600 y el 200 a.C. se debe a que ha cambiado el ángulo de incidencia solar. Comparando las medidas de los extremos entre ambos periodos vemos que su diferencia media es de unos $3'23'' \pm 7''$. Dicha variación se corresponde con el valor esperado por el cambio en la oblicuidad. El cambio en las medidas de los extremos es menor o igual al grosor de 1 dedo.

5.3. La observación del fenómeno en la actualidad

El fenómeno arqueoastronómico detectado es perfectamente observable en la actualidad. Previamente a la realización de los cálculos expuestos en este apartado, y con el fin de realizar una primera aproximación al momento en el que podría ocurrir el paso directo de los rayos del Sol a través de la ventana del recinto de taula oeste de So na Caçana, se realizó un trabajo de campo menos elaborado, en el que se utilizaron un medidor de ángulos, cintas métricas, un puntero láser y la aplicación digital PhotoPills, instalada en un dispositivo móvil.

Con el medidor de ángulos se pudo determinar que el ángulo en el que estaba construida la abertura de la ventana se situaba alrededor de los 21° y, por tanto, que quedaba dentro de los límites de los ángulos de incidencia de los rayos solares durante el solsticio de invierno.

Para la primera aproximación al fenómeno se recurrió a la aplicación PhotoPills, que es una herramienta especialmente diseñada para la planificación de eventos astronómicos relacionados principalmente con el Sol, la Luna y la Vía Láctea, entre otros, y utilizada sobre todo en astrofotografía. Es la primera vez que se ha utilizado para prever un acontecimiento arqueoastronómico, con resultados satisfactorios. Una de las herramientas de las que dispone dicha aplicación permite predecir toda la información necesaria sobre el movimiento del Sol, calculando su trayectoria exacta para cualquier día del año.

Esta trayectoria se calcula utilizando la herramienta de realidad aumentada (RA) de la aplicación, de modo que se puede apreciar tanto virtual como visualmente, de forma simultánea, en la pantalla del dispositivo móvil utilizado, el recorrido desde una localización y una fecha escogidas previamente. De esta forma es posible realizar planificaciones tanto a corto como a largo plazo.

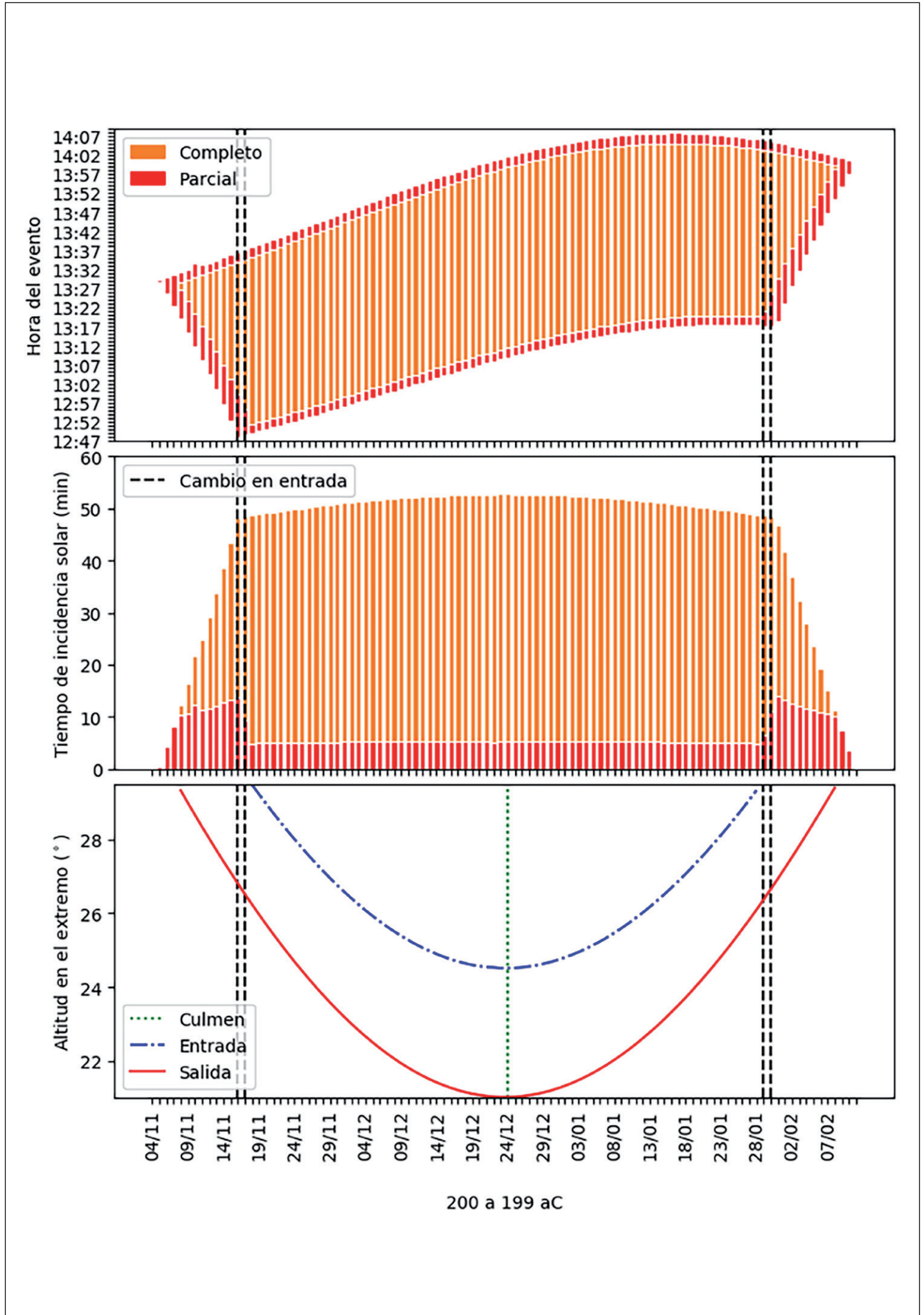


Figura 13. Gráfica equivalente a la mostrada en la figura 10, durante el 200 a.C.

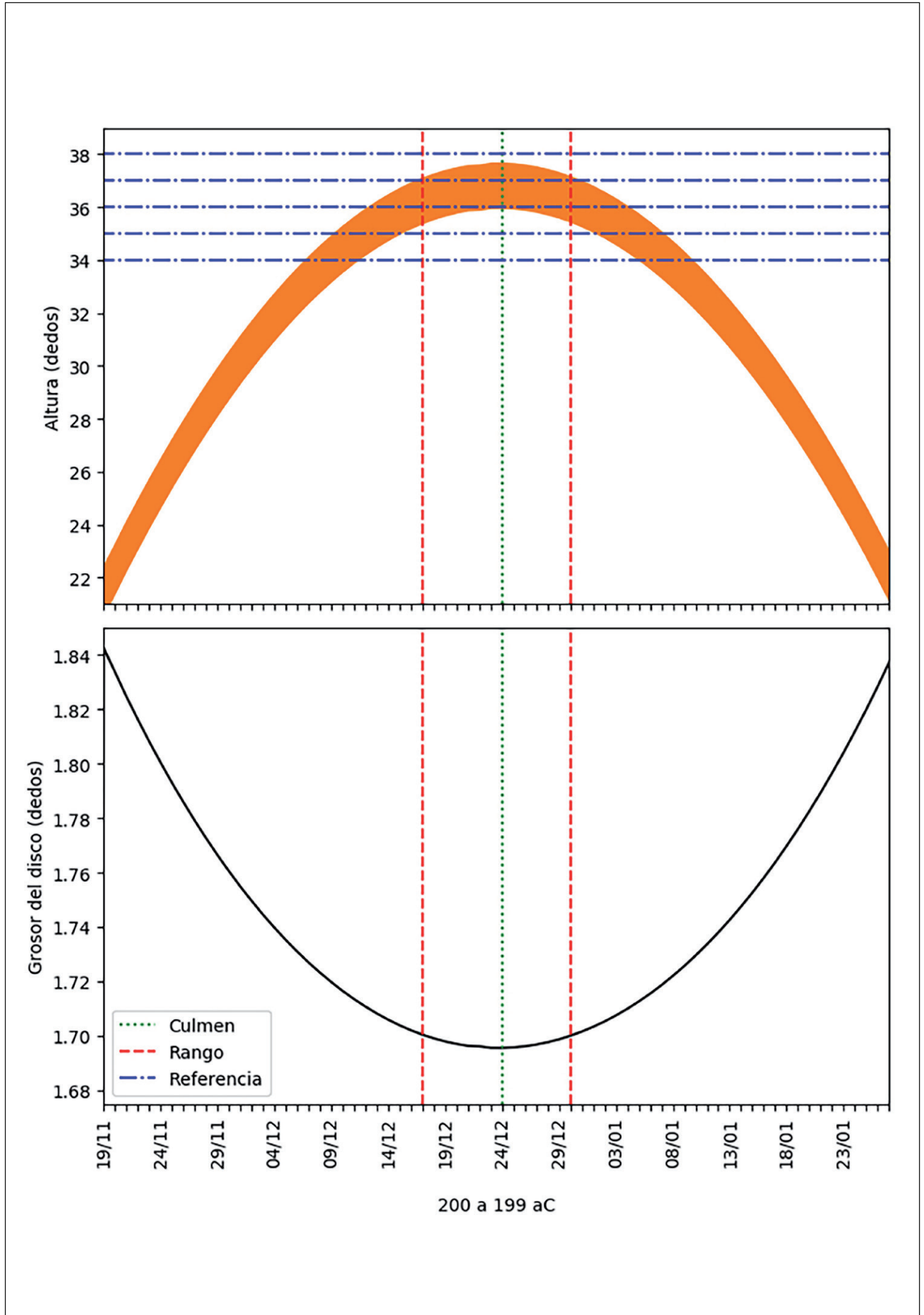


Figura 14. Gráfica equivalente a la mostrada en la figura 11, para el 200 a.C.

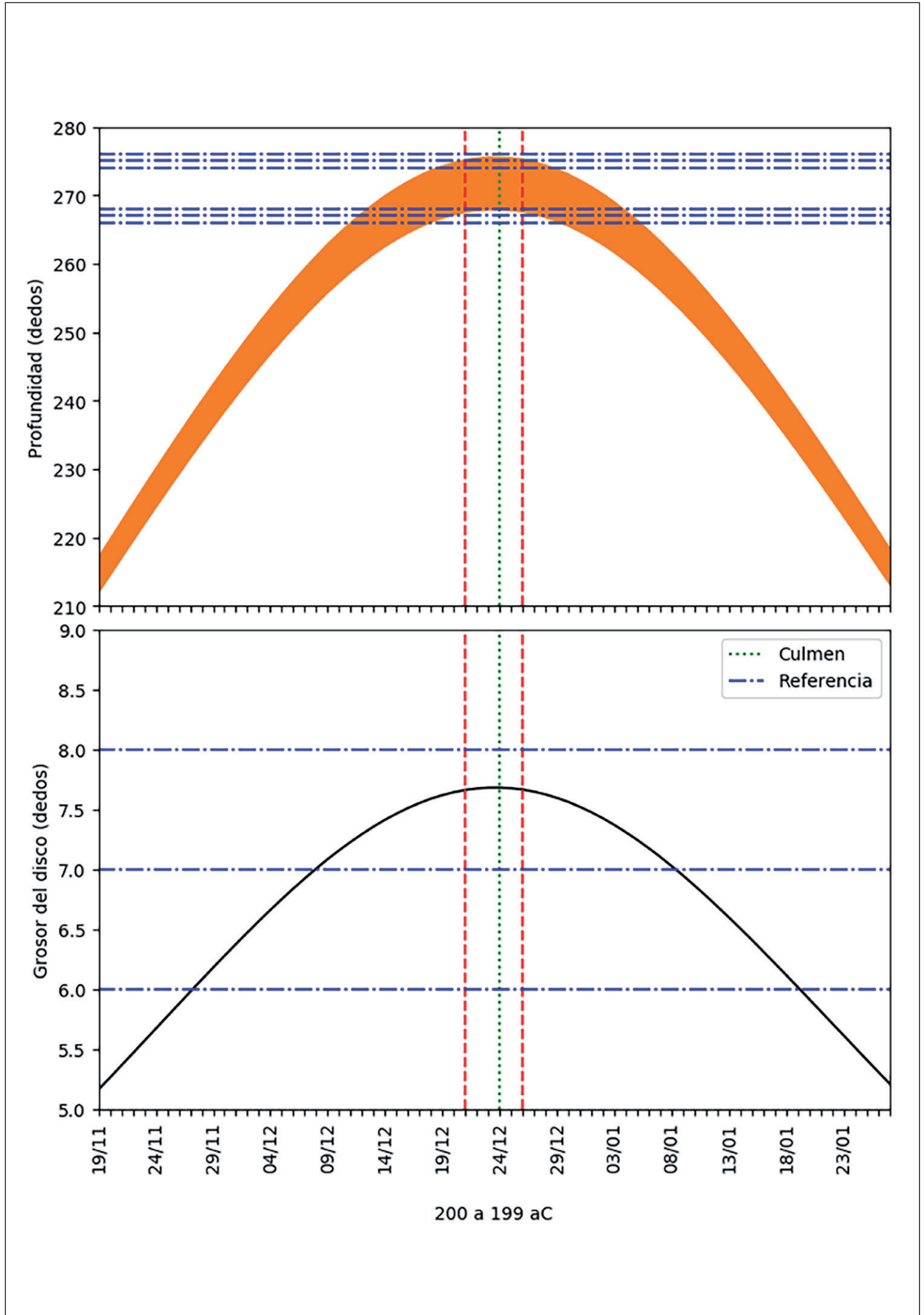


Figura 15. Gráfica equivalente a la mostrada en la figura 12, para el 200 a.C.

Desde la parte exterior de la fachada se proyectó un láser a través de la ventana. Dadas la amplitud e inclinación de la abertura (detalladas en el apartado 5.1) fue necesario disponer el haz del láser con una inclinación específica de 21°. Se pudo observar así que el haz se proyectaba en la zona delantera de la pilastra iconostática del edificio. El estrecho intervalo referente al ángulo y la orientación que permitía la entrada de la luz a través de la ventana parecía confirmar, a priori, la hipótesis según la cual la abertura estaba construida a una altura y con un ángulo específicos, para dejar pasar los rayos del Sol en un momento del año muy determinado.

A finales de la primavera de 2020, el equipo se dispuso a realizar otras mediciones previas sobre el terreno, para determinar con la mayor precisión posible el momento del ciclo solar en que los rayos de luz podían penetrar por la ventana. A tal efecto, se colocó un dispositivo móvil Iphone11 pro Max en la supuesta zona de las ofrendas, ante la pilastra iconostática, a la altura del suelo, orientado hacia la ventana. Desde esta posición, y con la herramienta Realidad Aumentada de la aplicación, se buscó la fecha de 21/12/2020, día del solsticio de invierno. Conociendo previamente los datos de orientación e inclinación, se estimó que el intervalo más adecuado para realizar la primera prueba se situaba entre los días 15 y 31 de diciembre. Se siguió la trayectoria virtual del Sol para esa fecha en cuestión y se pudo comprobar que el astro se situaba justo en el centro de la ventana, a una hora determinada de ese día, cuando estaba descendiendo en el horizonte.

Para realizar una tercera comprobación del fenómeno y observar la incidencia real de los rayos solares fue necesario esperar hasta la fecha del solsticio de invierno de 2020. Ese día, con unas condiciones climáticas inmejorables, se montó una cubierta para recrear el techo que podría haber cubierto el recinto de taula en origen. Para ello, se realizó una instalación provisional, sin afectar de ningún modo la estructura arquitectónica, consistente en la colocación de cuerdas entre las pilastras para intentar recrear un hipotético entramado de vigas, sobre el que se dispuso una gran lámina de plástico opaco de 8 m de largo por 13 m de ancho, para cubrir toda la zona oeste y conseguir que quedara en la oscuridad necesaria para permitir la observación del evento.

Se situó una cámara fotográfica Nikon Z6, con objetivo Nikkor 14-24 mm y f 2.8, de sensor completo con los parámetros de distancia focal de 16mm, tiempo de exposición de 20 s, apertura del diafragma a F/11, ISO 100 y temperatura de color 4200K. De esta forma, se realizaron las tomas que luego se pudieron componer en formato *time-lapse*, obteniendo así la documentación casi total del fenómeno.

El día 21 de diciembre de 2020, día del solsticio de invierno, casi una hora después del mediodía, a las 13:58h (GMT +1), cuando el Sol ya había iniciado su descenso en el horizonte meridional, el centro solar se fue situando, de forma aparente, en línea con la ventana de la fachada del recinto de taula. En ese instante empezó a aparecer un tenue rayo de luz que se proyectó en un primer momento sobre la superficie vertical de la base de la pilastra c (fig. 4) e inmediatamente después se proyectó en el suelo interno del edificio. El rayo fue ensanchándose y aumentando su intensidad, proyectando una forma de tendencia rectangular y recorriendo la zona entre la pilastra c y la pilastra iconostática (fig. 4, letra i). Tras proyectarse en el suelo ante esta última pilastra, la proyección del rayo de luz avanzó hacia el este por el suelo y se fue estrechando hasta desaparecer por completo.

La duración total del fenómeno, cuyo recorrido está dibujado en planta en la fig. 4, letras d-d', fue de 57 minutos, iniciándose a las 13:58h (GMT+1) y terminando a las 14:55h (GMT+1).

6. DISCUSIÓN

La documentación del fenómeno arqueoastronómico del recinto de taula de So na Caçana oeste aporta nuevos datos para interpretar los rituales que se llevarían a cabo en este tipo de santuarios.

Los elementos de la construcción han sido diseñados de tal manera que permiten la observación solar alrededor del solsticio de invierno con una precisión de unos dos días. Según el límite de entrada solar en la ventana y utilizando la posición de la proyección en la pilastra c y el suelo, era (y es) posible separar el ciclo solar anual en varias partes como si de un calendario se tratase (véase tab. 3).

Tabla 3. Calendario observable en el 600 y el 200 a.C. gracias al paso del Sol a través de la ventana.

Calendario	Duración en 600 a.C. (días)	Duración en 200 a.C. (días)
Fase creciente	13 ⁺⁰⁻¹	13 ⁺⁰⁻¹
Mes pre-solsticio	33 ^{±1}	32 ⁺¹⁻⁴
Días de solsticio	5 ⁺²⁻⁰	6-14
Mes post-solsticio	34 ^{±1}	32 ⁺¹⁻⁴
Fase decreciente	13 ⁺⁰⁻¹	13 ⁺⁰⁻¹

Destaca la diferenciación de los dos meses pre- y post- solsticio con una duración de unos ~30 días, alrededor de un periodo de unos 5 días dedicados al solsticio. Durante estos dos meses y el solsticio, la pilastra c (fig. 4) sirve como diafragma, permitiendo marcar el mediodía e indicando el transcurso de ~1h. Sin dicha pilastra, la duración no sería constante. Por tanto, una de sus funciones podría consistir en dividir el día como un reloj. En conclusión, sugerimos que el objetivo fundamental de las estructuras analizadas en este trabajo es la medida del tiempo.

Por último, la presencia de marcas en el suelo podría mejorar la precisión del solsticio, aunque no su exactitud. La falta de éstas podría indicar que no eran necesarias en su construcción, que se fueron modificando o que se han perdido.

Los resultados obtenidos mediante el estudio sugieren de forma evidente la manifestación de un evento que tendría lugar en un momento determinado del año y que, por tanto, podría representar un hito en el calendario de la población menorquina de la Segunda Edad del Hierro. Cabe mencionar que, en Menorca, a lo largo de los últimos siglos, el solsticio de invierno ha marcado tradicionalmente el final del periodo de siembra del trigo y la cebada y, por tanto, ha constituido una fecha señalada en el calendario agrícola (Bonet *et al.*, 1999, pp. 143-146). Por otro lado, los datos carpológicos disponibles indican el cultivo de taxones de *Triticum* y *Hordeum* desnudos durante el Talayótico final (Celma *et al.*, 2017; Pérez *et al.*, 2018). El peso de los cereales en la dieta de dichas comunidades se percibe en la abundancia de molinos manuales y morteros (*e.g.* Anglada *et al.*, 2017) cuya función para el procesado de grano queda atestiguada por los análisis de microrrestos vegetales (*e.g.* Juan y Pons, 2005; Portillo *et al.*, 2014). Las condiciones climáticas de la isla no parecen haber cambiado de modo significativo a lo largo de los últimos tres milenios (*e.g.* Burjachs *et al.*, 2017; Servera *et al.*, 2018) de modo que parece razonable pensar que el calendario agrícola de las comunidades humanas que habitaron la isla durante el I milenio a.C. siguiera las mismas pautas que el de época histórica. La época del solsticio de invierno, por tanto, era posiblemente un

periodo del año con una especial significación para los agricultores menorquines del Talayótico final.

En el caso de los rituales documentados en otros recintos de taula se ha hipotetizado acerca de sus fechas de celebración y su significación para las comunidades humanas del momento. El fenómeno que se ha descubierto y documentado presenta suficiente espectacularidad como para ser considerado un hecho diseñado a propósito por los constructores del edificio. Asimismo, el hecho de que los días de máxima incidencia coincidan con los del solsticio de invierno no hace más que aportar un sólido argumento para que deba considerarse como algo no casual.

En el apartado anterior se ha descrito la hipótesis según la cual en el recinto de taula de Torralba d'en Salort podrían celebrarse rituales relacionados con el solsticio de verano. Estas festividades, en las que posiblemente intervendría una parte significativa de la comunidad, consistirían en el sacrificio de caprinos jóvenes que después se cocinarían en la estructura de combustión del interior del edificio y se consumirían en algún tipo de banquete ritual, que también implicaría la ingesta de vino (Fernández-Miranda, 2009). Este tipo de rituales, en los que el consumo de carne se une al uso ritual del fuego, se documentan también en algunos ejemplos de edificios sacros peninsulares que se han mencionado anteriormente (Pérez *et al.*, 2016b).

La observación de la hierofanía solar de So na Caçana, permite proponer un tipo de ritual sustancialmente diferente. Como se ha mencionado, la zona que recorre el haz de luz está en un lugar muy concreto dentro del santuario: la capilla que queda entre la pilastra c y en frente de la pilastra iconostática, ante la cual se han documentado representaciones de divinidades en otros recintos de taula. Así, es posible plantear la hipótesis según la cual en ese lugar se depositarían diversas ofrendas que, durante ese momento especial del año, serían “bañadas” por el rayo de luz, resultando de ese modo sacralizadas por la divinidad celeste. Se trata de un tipo de ritual más místico que el descrito antes, y probablemente también más privado, ya que la cantidad de personas que podrían observar el fenómeno queda limitada por las características del edificio. No se puede descartar, por tanto, que dicho ritual estuviera reservado a un pequeño grupo de personas iniciadas. Si bien es cierto que se desconoce en gran medida qué divinidades concretas adoraban los talayóticos, con alguna excepción ya mencionada, no puede descartarse que alguna de ellas fuera el mismo Sol. Esta propuesta se sustenta en la idea básica de que el Sol es el astro más importante de la bóveda celeste. Además, puede observarse cómo ocupa una posición jerárquica superior en los panteones de gran diversidad de culturas mediterráneas durante la antigüedad (Esteban y Escacena, 2013). Así, la manifestación del mismo Sol atravesaría en forma de rayo de luz la ventana, para incidir en un lugar concreto, en donde probablemente habría algún tipo de altar, conformando una hierofanía, es decir, una manifestación de lo sagrado.

Se ha planteado que las principales divinidades de las comunidades menorquinas del Talayótico final estarían representadas por la figura del toro (Gornés, 2022) y las estatuillas de guerreros conocidas como *Mars Balearicus*, aunque actualmente se prefiere la denominación de “divinidades bélicas” (Orfila, 1983; Orfila *et al.* 2017; Gual, 2013). No obstante, cabe tener en cuenta que las representaciones figurativas halladas en los recintos de taula distan mucho de constituir un conjunto homogéneo. En el recinto de Torralba d'en Salort apareció una figura bovina, pero la posición más destacada parece haberla ocupado una estatuilla de un equino, de la que solo se han conservado tres cascos. En el mismo edificio aparecieron dos pebeteros de origen púnico, que representan sendas cabezas femeninas interpretadas como la diosa Tanit

(Fernández-Miranda, 2009). En el recinto de taula de Torre d'en Galmés no se hallaron evidencias de representaciones zoomorfas, y se documentó en cambio una divinidad foránea, el dios egipcio Imhotep (Rosselló-Bordoy *et al.*, 1974) y un casco de tipo fri-gio que debió formar parte de una estatuilla de divinidad bélica (Orfila, 1983). Dicha diversidad permite plantear que ninguna de las entidades representadas a través de las mencionadas figuras ocuparía un lugar preeminente en el panteón de las comu-nidades menorquinas. Por otro lado, la interpretación como hierofanía del fenómeno astronómico documentado en So Na Caçana permite especular sobre una jerarquía en el orden simbólico, en la que el Sol ocuparía un lugar hegemónico, mientras que otros principios materializados por diversas clases de representaciones figurativas desem-pearían papeles subordinados. Dicha lectura parece ser coherente con la interpre-tación de la taula propiamente dicha como un elemento simbólico liminar y no como la representación esquemática de una divinidad (Ferrer *et al.*, 2020b). No obstante, solo la investigación de otros recintos de taula, y el hallazgo en ellos de aberturas de similar orientación a la documentada en So Na Caçana permitirá validar la hipótesis planteada más arriba.

7. CONCLUSIONES

A partir de la documentación del fenómeno solar descrito en este trabajo se despren-den algunas implicaciones importantes.

La primera de ellas es que las comunidades humanas de la isla de Menorca dispo-nían, durante el periodo Talayótico final, de algún tipo de calendario que organizaba el año en diferentes estaciones. Dada la importancia del cultivo de cereales durante esta etapa, los habitantes de la isla debían dominar forzosamente el calendario agrícola. El hecho de documentar un fenómeno que se produce alrededor del solsticio de invierno confirma que eran capaces de ubicar, como mínimo, dos momentos importantes del ciclo anual: el inicio del verano y el del invierno. Por otro lado, la presencia de repre-sentaciones de la diosa Tanit en algunos recintos de taula (en forma de pebeteros y, en el caso del edificio objeto de este artículo, probablemente en la propia fachada del santuario) podría relacionarse con cultos dedicados a la fertilidad de la tierra. La cele-bración de un ritual durante el solsticio de invierno, el probable momento de la siembra de los cereales, parece coherente con dichos cultos.

Parece razonable afirmar también que, dadas las características de los edificios, los constructores de los recintos de taula conocían métodos para establecer orientaciones y ángulos, aunque no se ha documentado ninguna evidencia directa de la tecnología de la que se disponía en ese momento para realizar dichos cálculos. Es posible que, en el proyecto original de construcción del edificio, se diseñara la ventana para que el fenómeno solar ocurriera durante el mediodía del día del solsticio de invierno. Esta hipótesis se plantea dado que el momento en que ocurre dicho fenómeno, menos de una hora después del mediodía, no parece tener, a priori, una significación especial. Así, no se puede descartar que durante la construcción del edificio no se contara con los conocimientos técnicos necesarios para llevar a cabo el proyecto de forma totalmente precisa, lo que habría ocasionado una variación de casi una hora, con respecto al me-diodía, en el momento de la máxima incidencia del haz de luz en el interior del edificio. Aun así, el error pudo haber sido perfectamente asumible para los constructores del edificio en cuanto al propósito ritual. Por lo general, se acepta que no se puede esperar,

de los constructores de los edificios prehistóricos, la misma precisión con la que en la actualidad podemos medir estas manifestaciones. Tal y como han puesto de relieve otros autores, el hecho de que las mediciones sean aproximadas es entendible en un contexto en el que prima la experiencia simbólica sobre la precisión matemática (Esteban y Escacena, 2013). Por otro lado, el margen de imprecisión en la fecha del solsticio que proporcionan las estructuras de So Na Caçana (± 3 días) no afectaría en absoluto a su utilidad en la planificación de los trabajos agrícolas.

En este sentido, cabe mencionar que un cierto grado de imperfección es perfectamente observable en la ejecución de los edificios del Talayótico final. Tanto los recintos de taula, como se ha visto, como las estructuras domésticas, presentan suficientes elementos comunes para dar lugar a tipologías de edificios estandarizadas, que se construyen basándose en la misma idea básica en diferentes asentamientos. Es evidente, por tanto, que existe una planificación previa a la construcción de los edificios. Sin embargo, la mayoría de ellos se ejecutan de forma bastante irregular: los muros perimetrales no son del todo simétricos y en algunos casos adaptan su trazado a elementos constructivos previos. El resultado, pese a partir de unos esquemas comunes, es siempre ligeramente diferente (ver figs. 2 y 4).

Cabe plantear, además, que la visibilidad del evento aumentaría enormemente si la sala en la que se produce no presentara otras aberturas por las que pudiera entrar una gran cantidad de luz solar. Este hecho es coherente con la hipótesis, expuesta en el apartado introductorio de este trabajo, según la cual los recintos de taula serían edificios cubiertos. Si bien es cierto que, de haber carecido el edificio de cubierta, la luz que penetra por la ventana sería visible en el suelo, en la sombra proyectada por el muro, el fenómeno perdería espectacularidad. En este sentido, cabe destacar que la oscuridad creada por la cubierta recreada en el ensayo de 2020 permitía la clara visualización del rayo de luz, gracias a las motas de polvo en suspensión (fig. 16), efecto que se perdería en caso de tratarse de un edificio a cielo abierto.



Figura 16. Rayo de Sol entrando por la ventana del recinto de taula oeste de So na Caçana durante el día del solsticio de invierno, el 21 de diciembre, de 2020 a las 14:13 h (GMT+1).

Finalmente, cabe mencionar que, aunque no se haya documentado ninguna otra ventana parecida a la descrita en este trabajo en otros recintos de taula, es posible que en su momento existieran. Por desgracia, el hecho de que las fachadas de estos edificios no hayan conservado toda su altura, permite solamente especular sobre esta posibilidad.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los evaluadores las sugerencias realizadas, que han permitido mejorar el artículo. Por otro lado, SBF desea expresar su gratitud a J.C. Suárez por apoyarle en este ámbito de estudio, y tanto a J.A. Belmonte como a D. Barrado por su ejemplo e inspiración.

Contribución a la autoría

- Concepción y diseño (I. Riudavets)
- Análisis e interpretación de los datos (I. Riudavets, A. Ferrer, S. Barceló y G. Remolins)
- Redacción del borrador (I. Riudavets, A. Ferrer y S. Barceló)
- Revisión crítica del artículo (autores)
- Recogida de datos (I. Riudavets, A. Ferrer, G. Remolins y A. Cladera)
- Aprobación final del artículo (I. Riudavets y A. Ferrer)
- Provisión de materiales de comparación (I. Riudavets)
- Consejo estadístico (S. Barceló y G. Remolins)
- Apoyo administrativo, técnico o logístico (C. Bravo)
- Análisis de laboratorio (S. Barceló y G. Remolins)
- Diseño gráfico (G. Remolins)

BIBLIOGRAFÍA

- Anglada, M., Ferrer, A., Plantalamor, L. y Ramis, D. (2017) “Continuïtat cultural en època de canvis: la producció i preparació d'aliments a Cornia Nou (Maó, Menorca) durant els segles IV-III aC”, en Prados, F., Jiménez, H. y Martínez, J. J. (eds.) *Menorca entre fenicis i púnics*. Menorca: Centro de Estudios del Próximo Oriente y la Antigüedad Tardía (CEPOAT), pp. 137-156.
- Aramburu-Zabala, J. y Belmonte, J. A. (2002) “On the astronomical orientation of the square talayots of Mallorca”, *Archaeoastronomy. Journal for the History of Astronomy*, 27, pp. 67-74. <https://doi.org/10.1177/002182860203302706>
- Belmonte, J. A. (2011) “El abogado del diablo: un estudio alternativo sobre la orientación de las taulas de Menorca y de los Talayots cuadrados de Mallorca”, en Lagarda, F. (ed.) *Las enigmáticas taulas de Menorca. Homenaje a Josep Mascaró i Pasarius*. Zaragoza: Sobradíel, pp. 295-312.
- Belmonte, J. A. y Hoskin, M. (2002) *Reflejo del cosmos: Atlas de arqueoastronomía del Mediterráneo Antiguo*. Madrid: Equipo Sirius.
- Bonet, A., Camps, A., Moll, M., Sintés, H. y Vidal, T. (1999) “Activitats productives tradicionals I. La pagesia”, en: *Enciclopèdia de Menorca, Tom XIV: Antropologia I*. Maó: Obra Cultural de Menorca, pp. 81-260.

- Bravo, C. y Riudavets, I. (2022) "Torralba d'en Salort y Sa Cudia Cremada (Menorca): nuevas investigaciones sobre los recintos de taula, santuarios de la Edad del Hierro insular", en *Actualidad de la investigación arqueológica en España IV (2021-2022): Conferencias impartidas en el Museo Arqueológico Nacional*. Madrid: Ministerio de Cultura y Deporte, pp. 263-277.
- Burjachs, F., Pérez-Obiol, R., Picornell-Gelabert, L., Revelles, J., Servera-Vives, G., Expósito, I. y Yll, E. (2017) "Overview of environmental changes and human colonization in the Balearic Islands (Western Mediterranean) and their impacts on vegetation composition during the Holocene", *Journal of Archaeological Science: Reports*, 12, pp. 845-859. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.09.018>
- Celma, M., Hernández-Gasch, J. y Antolín, F. (2017) "Consum alimentari i explotació forestal durant l'edat del ferro al poblament de Biniparratx Petit (Sant Lluís, Menorca)", *Revista de Menorca*, 96, pp. 147-172. <https://raco.cat/index.php/RdM/article/view/340004>
- Cerdeño, M. L. y Rodríguez, G. (2009) "Arqueoastronomía: Una nueva perspectiva en la investigación arqueológica", *Complutum*, 20 (2), pp. 11-21. <https://revistas.ucm.es/index.php/CMPL/article/view/CMPL0909220011A>
- De Nicolás, J. C. (2015) "Aproximación a los cultos púnicos en las taulas menorquinas", en Andreu, C., Ferrando, C. y Pons, O. (eds.) *L'entretèixit del temps. Miscel·lània d'estudis en homenatge a Lluís Plantalamor Massanet*. Palma de Mallorca: Govern de les Illes Balears, pp. 265-284.
- Esteban, C. (2013) "Arqueoastronomía y religión ibérica", en Rísquez, C. y Rueda, C. (eds.) *Santuarios Íberos: territorio, ritualidad y memoria*. Congreso El Santuario de la cueva de la Llobera de Castellar. 1912-2012. Jaén: Asociación para el desarrollo rural de la Comarca de El Condado, pp. 465-484.
- Esteban, C. y Escacena, J. L. (2013) "Arqueología del cielo. Orientaciones astronómicas en edificios protohistóricos del sur de la Península Ibérica", *Trabajos de Prehistoria*, 70 (1), pp. 114-139. <https://doi.org/10.3989/tp.2013.12105>
- Esteban, C., Rísquez, C. y Rueda, C. (2014) "Una hierofanía solar en el santuario ibérico de Castellar (Jaén)", *Archivo Español de Arqueología*, 87, pp. 91-107. <https://doi.org/10.3989/aespa.087.014.006>
- Fenn, W. (1950) *Gráfica prehistórica de España y el origen de la cultura europea*. Maó: Waldemar Fenn, Predio el Fonduco.
- Fernández-Miranda, M. (2009) *El poblado de Torralba d'en Salort (Alaior-Menorca)*. Mahón: Fundació Illes Balears, Consell Insular de Menorca.
- Ferrer, A. (2021) "Elementos iconográficos en Menorca durante el segundo y primer milenios a.C.: aspectos sociales e ideológicos", *SPAL. Revista de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla*, 30 (2), pp. 47-73. <https://doi.org/10.12795/spal.2021.i30.17>
- Ferrer, A., Juan, G., Lara, C. y Pons, J. (2011) "El jaciment de Torre d'en Galmés (Alaior, Menorca). Les intervencions d'Amics del Museu de Menorca: Cercle 7", en Gual, J. (ed.) *III Jornades d'Arqueologia de les Illes Balears*. Maó: Consell Insular de Menorca, Llibres del Patrimoni Històric i Cultural, pp. 108-118.
- Ferrer, A., Anglada, M. y Ramis, D. (2020a) "Las técnicas constructivas en piedra en seco en Menorca durante la Edad del Bronce y la Edad del Hierro y su continuidad", en Petschen, A. (ed.) *XVI Congreso Internacional & Workshop sobre la piedra seca*. Ciutadella: Cercle Artístic de Ciutadella. Publicacions des Born, pp. 83-100.
- Ferrer, A., Riudavets, I., Remolins, G. y Bravo, C. (2020b) "Puertas hacia el mundo simbólico: una nueva propuesta interpretativa acerca de los recintos de taula de Menorca", *Complutum*, 31 (1), pp. 139-158. <https://doi.org/10.5209/cmpl.71653>
- Flaquer, J. (1943) "Excavaciones en Torre d'en Gaumés (Menorca) 1942", *Revista de Menorca*, 34, pp. 129-137, 173-189. <https://raco.cat/index.php/RdM/article/view/346449>
- García, J., Fornés, J. y Hoskin, M. (2000) "Orientations of the talayotic sanctuaries of Mallorca", *Archaeoastronomy. Journal for the History of Astronomy*, 25, pp. 58-64. <https://doi.org/10.1177/002182860003102505>
- González-García, A. C., Costa Ferrer, L., Peppino Zedda, M. y Belmonte, J. A. (2007) "The orientation of the Punic tombs of Ibiza and Sardinia", en Peppino Zedda, M. y Belmonte, J. A. (eds.) *Lights*

- and shadows in cultural astronomy. *Proceedings of the SEAC 2005: Isili, Sardinia, 28 June to 3 July*. Isili: Associazione Archeofila Sarda, pp. 47-57.
- González-García, A. C., Costa Ferrer, L., Peppino Zedda, M. y Belmonte, J. A. (2017) “La orientación de los santuarios de Ibiza y los hipogeos púnicos del Mediterráneo occidental”, en *Actas de Entre el cielo y la tierra: arqueoastronomía del mundo feniciopúnico: XXX Jornadas de Arqueología Fenicio-Púnica (Eivissa, 2015)*, Treballs del Museu Arqueològic d'Eivissa i Formentera, 76. Eivissa: GOIB Conselleria Cultura, Participació i Esports, pp. 137-183.
- Gornés, J. S. (2008) “Nuevas aportaciones a los contextos arqueológicos y a la cronología de los santuarios de taula de Menorca”, en *Congreso Internacional Saturnia Tellus. Roma: Escuela Española de Arqueología en Roma*. Roma: Consiglio Nazionale delle Ricerche, pp. 489-506.
- Gornés, J. S. (2022) “Talayots y taulas. La evolución de la arquitectura simbólica en la Prehistoria de Menorca entre los siglos XI al II cal ANE”, *Trabajos de Prehistoria*, 79 (1), pp. 99-114. <https://doi.org/10.3989/tp.2022.12289>
- Gual, J.M. (1993) *Figures de bronze a la protohistòria de Mallorca*. Palma: Conselleria de Cultura, Educació i Esports, Govern Balear.
- Gual, J. M. y Plantalamor, L. (1997) “La taula de Binissafullet”, *Meloussa*, 4, pp. 35-47.
- Guerrero, V. M., Calvo, M. y Gornés, J. S. (2006) *Mallorca y Menorca en la Edad del Hierro. La cultura talayótica y postalayótica*. Palma de Mallorca: El Mundo-El Día de Baleares.
- Hochsieder, P. (2011) “Las taulas de Menorca. Ideas y observaciones. Revisión de 40 años de estudios”, en Lagarda, F. (ed.) *Las enigmáticas taulas de Menorca. Homenaje a Josep Mascaró i Pasarius*. Zaragoza: Sobradriel, pp. 275-294.
- Hochsieder, P. y Knösel, D. (1995) *Les taules de Menorca. Un estudi arqueoastronòmic*, Treballs del Museu de Menorca, 14. Maó: Conselleria de Cultura, Educació i Esports, Govern Balear, Institut Menorquí d'Estudis, Al·lès Cardona S.A.
- Hoskin, M. (1989) “The orientations of the taulas of Menorca (1): The southern taulas”, *Archaeoastronomy. Journal for the History of Astronomy*, 14, pp. 117-136.
- Hoskin, M. (2001) “The sanctuaries of Menorca and Mallorca”, en *Tombs, temples and their orientations. A new perspective on Mediterranean Prehistory*. Oxford: Ocarina Books, pp. 38-46.
- Isbert, F. (1993) “La taula de Binisafullet. Una interesante restauración”, *Revista de Arqueología*, 149, pp. 10-15.
- Iwaniszewski, S. (2009) “Por una astronomía cultural renovada”, *Complutum*, 20 (2), pp. 23-37. <https://revistas.ucm.es/index.php/CMPL/article/view/CMPL0909220023A>
- Juan, G. y Pons, J. (2005) *Talatí de Dalt 1997-2001, 5 anys d'investigació a un jaciment talaiòtic tipus de Menorca*, Treballs del Museu de Menorca, 29. Maó: Govern de les Illes Balears.
- Lull, J. (1995): “Arqueoastronomía en la antigüedad: el caso de Menorca”, *Revista de Menorca. Publicació de l'Ateneu científic de Maó*, pp. 79-88.
- Marín, M. C. y Horn, F. (2007) *Imagen y culto en la Iberia Prerromana: los pebeteros en forma de cabeza femenina*, SPAL, Monografías Arqueología vol. IX. Sevilla: Editorial Universidad de Sevilla.
- Marín, M. C. y Jiménez, A. M. (2014) *Imagen y culto en la Iberia Prerromana, II: nuevas lecturas sobre los pebeteros en forma de cabeza femenina*, SPAL, Monografías Arqueología vol. XVIII. Sevilla: Editorial Universidad de Sevilla.
- McCarthy, D. D. y Luzum, B. J. (2003) “An Abridged Model of the Precession-Nutation of the Celestial Pole”, *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 85 (1), pp. 37-49. <https://doi.org/10.1023/A:1021762727016>
- Micó, R. (2005) *Cronología absoluta y periodización de la prehistoria de las Islas Baleares*, BAR International Series, 1373. Oxford: Archaeopress. <http://dx.doi.org/10.30861/9781841718156>
- Murray, M. A. (1934) *Cambridge Excavations in Menorca. Sa Torreta*. Londres: Imp. Wightman & Co.
- Niveau de Villedary, A. M. (2017) “Nuevos datos sobre la evolución formal y estilística de los pebeteros en forma de cabeza femenina. A propósito del ejemplar de Torralba d'en Salord (Alaior, Menorca)”, en Prados, F., Jiménez, H. y Martínez, J. J. (eds.) *Menorca entre fenicis i púnics*. Menorca: Centro de Estudios del Próximo Oriente y la Antigüedad Tardía (CEPOAT), pp. 87-106.
- Orfla, M. (1983) “Estatuillas de bronce antiguas”, en Mascaró Pasarius, J. (coord.) *Geografía e Historia de Menorca (Tomo IV)*. Ciutadella: Al·les Artes Gráficas, pp. 85-146.

- Orfila, M., Sánchez, E., Gutiérrez, M. y Marín, P. (2017) "Religio Balearica: la continuidad cultural de los santuarios talayóticos en época romana", en Tortosa, T. y Ramallo S. (eds.) *El tiempo final de los santuarios ibéricos en los procesos del impacto y consolidación del mundo romano*. Madrid: CSIC, pp. 213-230.
- Pérez, M., Bea, D., Diloli, J. y Sardà, S. (2016a) "Astronomy and the power: The singular building of Turó del Calvari (Vilalba dels Arcs, Tarragona)", en *Astronomy and power: How worlds are structured*, BAR International Series 2794. Oxford: Archaeopress, pp. 107-112.
- Pérez, M., Rodríguez, A., Pavón, I. y Duque, D. M. (2016b) "An Orientalizing Ritual Building in Aliseda (Cáceres, Spain)", *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 16 (4), pp. 305-311. <https://10.5281/zenodo.220951>
- Pérez, G., Peña, L., Picornell, L. y Carrión, Y. (2018) "Agriculture between the third and first millennium BC in the Balearic Islands: the archaeobotanical data", *Vegetation History and Archaeobotany*, 27 (1), pp. 253-265. <https://doi.org/10.1007%2Fs00334-017-0618-y>
- Plantalamor, L. (1986) "El santuario de So na Caçana y las relaciones con el Mediterráneo Central y Occidental", en Ugas, G., Lai, G. y Liliu, G. (eds.): *Atti del II Convegno di studi Un millenio di relazioni fra la Sardegna e i paesi del Mediterraneo*. Sergius-Cagliari 1986. Cagliari: Amministrazione provinciale, Assessorato alla Cultura, pp. 533-546.
- Plantalamor, L. (1991) *L'arquitectura prehistòrica i protohistòrica de Menorca i el seu marc cultural*, Treballs del Museu de Menorca, 12. Maó: Conselleria de Cultura, Educació i Esports, Govern Balear.
- Plantalamor, L. (1995) "Ubicació topogràfica de les taules i santuaris menorquins. El seu significat econòmic i social", en Waldren, W., Ensenyat, J. A. y Kennard, R. C. (eds.), *Ritual, rites and religion in Prehistory, IIIrd. Deya International Conference of Prehistory*, BAR International Series, 611. Oxford: Archaeopress, pp. 122-129.
- Portillo, M., Llergo, Y., Ferrer, A., Anglada, M., Plantalamor, L. y Albert, R. M. (2014) "Actividades domésticas y molienda en el asentamiento talayótico de Cornia Nou (Menorca, Islas Baleares): resultados del estudio de microfósiles vegetales", *Revista d'arqueologia de Ponent*, 24, pp. 311-322.
- Rosselló-Bordoy, G., Sánchez-Cuenca, R. y Montaner y Alonso, P. (1974) "Imhotep, hijo de Ptah", *Mayurqa*, 12, pp. 123-142.
- Riudavets, I. (2011) "Una figureta de bronze d'Imhotep a Torre d'en Galmés (Menorca)", *Nilus, Butlletí oficial de la Societat Catalana d'Egiptologia*, 20, pp. 14-17.
- Riudavets, I. y Ferrer, A. (2022) *La cultura talayótica de Menorca: Una isla entre la Edad del Bronce y la Edad del Hierro*. Madrid: Dilema.
- Servera, G., Riera, S., Picornell, L., Moffa, P., Llergo, Y., García, A., Mus, M., García, S. y Calvo, M. (2018) "The onset of landscapes in the Balearic Islands: A study-case of Addaia (northern Minorca, Spain)", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 498 (1), pp. 9-23. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.02.015>
- Sintes, E. y Isbert, F. (2009) "Investigación arqueológica y puesta en valor del Recinto Cartailhac: una unidad doméstica del siglo II ANE en el poblado talayótico de Torre d'en Galmés", *Patrimonio cultural de España*, 1, pp. 251-260.
- Torres, O. (2017) "Cercles menorquins": aproximación a la influencia de la arquitectura púnica en las viviendas postalayóticas de Menorca", en Prados, F., Jiménez, H. y Martínez, J.J. (eds.) *Menorca entre fenicis i púnics*. Menorca: Centro de Estudios del Próximo Oriente y la Antigüedad Tardía (CEPOAT), pp. 231-243.
- Van Strydonck, M., Waldren, W. H. y Hoskin, M. (2001) "Indications of a possible Astronomical orientation of an Archaeological feature in Pretalayotic Mallorca (Spain)", *Archaeoastronomy*, 16, pp. 38-45.
- Vondrak, J., Capitaine, N. y Wallace, P. (2011) "New precession expressions, valid for long time intervals", *Astronomy & Astrophysics*, 534, A22. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201117274>
- Zotti, G., Hoffmann, S., Wolf, A., Chereau, F. y Chereau, G. (2020) "The Simulated Sky: Stellarium for Cultural Astronomy Research", *Journal of Skyscape Archaeology*, 6.2, pp. 221-258. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.01019>