

**EL TEATRO ROMANO DE CARTEIA (San Roque, Cádiz):
ANÁLISIS DE SU DISEÑO A PARTIR DE
LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA**

**ROMAN THEATER OF CARTEIA (SAN ROQUE, CÁDIZ):
ANALYSIS OF DESIGN THROUGH GEOPHYSICAL SURVEY**

Alejandro Jiménez Hernández

Arqueólogo

Manuel Jaén Candón

Director del Enclave Arqueológico de Carteia

José Antonio Peña Ruano

IAG. Universidad de Granada

Departamento de Prehistoria y Arqueología, UGR

M^{ra} Teresa Teixidó Ullod

IAG. Universidad de Granada

Javier Claros Domínguez

Arqueólogo

Resumen

El uso conjunto de tomografía eléctrica y georrádar, en un actuación limitada, de bajo costo y nulo impacto sobre el monumento, han permitido definir las líneas generales del tamaño, diseño y forma del teatro romano de *Carteia* y proponer una simulación de su volumen e implantación sobre el terreno.

Palabras clave: Tomografía eléctrica, georrádar, urbanismo romano, arquitectura romana.

Abstract

The set of ETR and GPR used in a limited activity, low cost and no impact on the monument, allowed us to define the outline of the size, design and shape of the Roman theater in *Carteia* and to propose a simulation of its volume and implementation on the ground.

Key words: ERT, GPR, roman urbanism, roman architecture.

1. ANTECEDENTES

La idea de avanzar en el conocimiento del teatro romano de *Carteia* (fig. 1) parte en 2011, desde la Dirección del Enclave, enmarcada dentro de las funciones propias de gestión, conservación y difusión. La motivación principal de este estudio estaba dirigida, por un lado, a establecer unas bases de conocimiento para la adecuada y necesaria conservación de los restos arqueológicos y, de otro, conocer mejor el edificio de cara a su puesta en valor y difusión a los visitantes del enclave.

Dada la singularidad e importancia del teatro romano de *Carteia* era nuestra intención que esta zona del enclave, separada unos 400 metros de la zona actualmente visitable y en cierta medida aislada de la misma, se integrara en el discurso expositivo de *Carteia*. Para ello, en 2012 se dieron los primeros pasos poniendo en marcha un programa de visitas extraordinarias al teatro, a modo de experiencia piloto, que tuvo una excelente aceptación por parte del público. Desde entonces la demanda para ese tipo de visitas se ha disparado, lo que nos ha impulsado a mostrar a la ciudadanía esa zona del yacimiento e integrarla en el circuito de visitas.



Fig. 1: Situación de Carteia.

La conservación, protección, difusión e investigación están indisolublemente unidas en la gestión de un enclave arqueológico: no se puede conservar, proteger o difundir lo que no se conoce y la única vía es mediante la realización de actividades de investigación aunque eso sí, éstas estén enfocadas a la resolución de problemas concretos de conservación, protección o difusión.

El teatro (*fig. 3*) se localiza intramuros de la antigua ciudad, en la esquina noreste del recinto, apoyado sobre la ladera de la colina de manera que aprovecha el desnivel natural del terreno para su implantación. A pesar de estar parcialmente exhumado, de la monumentalidad de sus restos y del considerable tamaño del edificio, sigue necesitando mayor atención en la literatura científica. Sus restos han permanecido visibles desde el abandono de la ciudad y han llamado la atención de viajeros e investigadores como así lo atestiguan las primeras representaciones gráficas de *Carteia* en grabados del siglo XVIII.

A pesar de ello, pocos han sido los intentos de realizar excavaciones arqueológicas en el edificio y estos, de haber llegado a ejecutarse, han quedado indocumentados¹. En el marco de su tesis doctoral, Lourdes Roldán, en su estudio sobre las técnicas constructivas romanas en *Carteia* (Roldán 1992), dedica un espacio al teatro en el que ya hace una propuesta de restitución formal que se completa con la publicación de *Carteia II* (Roldán *et alii* 2003: 255–259), donde se analizan los elementos conocidos hasta ese momento y se propone una restitución formal. Este trabajo, el más completo realizado hasta la fecha, supone el punto de partida para este estudio.

Proponen los autores (*fig. 2*) que el teatro tuvo una cávea con un diámetro de 84 m, mientras que su desarrollo formal se realizó a partir de una circunferencia, cuyo centro marca el eje del edificio y su diámetro forma la *orchestra* y señala el exterior del *postscaenium*, lo que genera una *orchestra* de considerables dimensiones, 31 metros de diámetro, probablemente de las mayores de los teatros romanos occidentales. Por otro lado, desconocemos la cota de suelo al exterior del edificio y, por tanto, qué parte del mismo se construyó exenta sobre la superficie del terreno y qué parte soterrada. Conectado con este último dato está el análisis de los accesos cuya formalización depende de la estructura general del edificio y de su implantación en el terreno. Junto a los *aditus maximi*, el acceso a la *summa cavea* pudo hacerse desde la superficie o a través de la estructura interior del edificio. La propuesta del Proyecto *Carteia* plantea una circulación superficial por la que se alcanza la zona alta de la cávea mediante dos rampas ubicadas en el eje del edificio adosadas a la fachada, reservando como

1. Las vicisitudes de la investigación arqueológica del teatro puede seguirse en los trabajos de Oliva Rodríguez (Rodríguez Gutiérrez 2011) y Pedro Rodríguez (Rodríguez Oliva 2011).

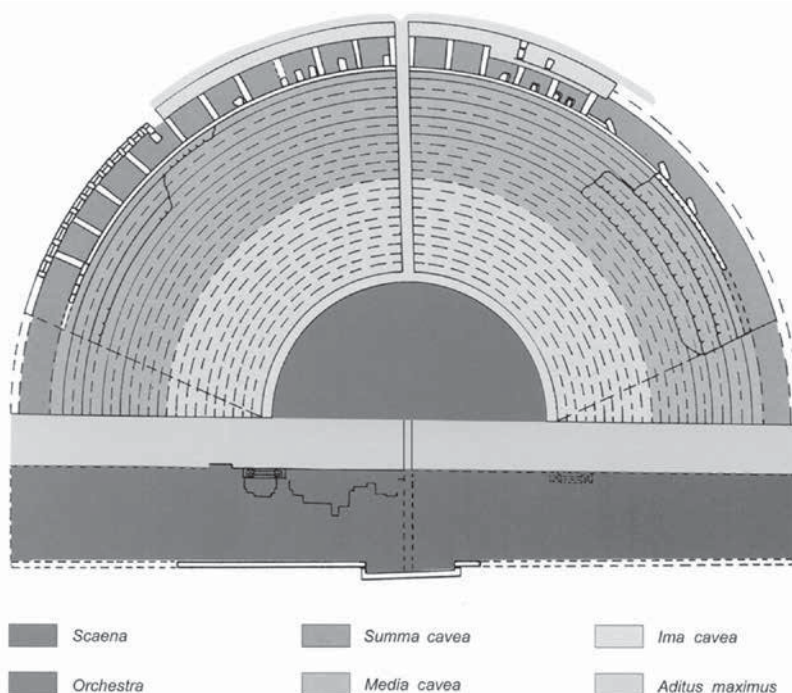


Fig. 2: Propuesta de planta del Proyecto Carteia (Roldán *et alii* 2003:fig. 156).

único acceso interior, el pasillo de acceso a la *orchestra*. Esta solución parece insuficiente para un edificio de este tamaño, en opinión de Jansen que plantea una opción similar a la de *Baelo* (Jansen 2005:344).

Una propuesta alternativa ofrece esta última autora en su trabajo acerca de los teatros de la Bética (Jansen 2005: 338–347) sobre los restos hoy día visibles, poniendo en duda la propuesta inicial de los accesos al edificio, así como, la morfología del edificio escénico y las cotas generales de la *orchestra*.

Myriam Fincker², en visita realizada a *Carteia* en 2012, invitada por la Dirección del Enclave, comparte la teoría de Jansen, sugiriendo además la existencia de un pórtico, diferenciando funcionalmente la zona entendida como edificio escénico.

En este orden de cosas, resulta patente la necesidad de avanzar en el conocimiento del teatro, aportar nuevos datos que ayuden a definir con claridad la restitución formal del edificio y que sienten las bases para una futura intervención destinada, principalmente, a mejorar el estado de conservación del edificio,

². Queremos agradecer aquí las inestimables observaciones de Myriam Fincker (Centre National de la Recherche Scientifique, Institut de Recherche sur l'Architecture

Antique, Lyon) que han ayudado a definir los objetivos de este trabajo.

solventando los problemas actuales derivados del deficiente drenaje de las aguas superficiales, y para también hacer visitable y comprensible el edificio al visitante

Nuestro análisis preliminar del edificio fundamenta una hipótesis que evidencia una serie importante de contradicciones con el modelo inicial que debían ser contrastadas posteriormente con un estudio geofísico. Éstas quedan de manifiesto en los siguientes puntos:

- Con base en la ortofotografía de alta resolución obtenida en 2005, al trazar los anillos anulares de la *cavea* (perfectamente visibles), con el objeto de hallar el centro de la misma, observamos que el espacio entre dicho centro y el supuesto *frons pulpiti* resulta exageradamente grande.
- La escalera de tres peldaños conservada, se correspondería más con una *valva hospitalia* que con la escalera de subida al escenario, tal como apunta Brita Jansen (Jansen 2005:346–347). En consecuencia, partiendo de la base de que lo entendido como escenario correspondería al edificio escénico, consecuentemente, dadas las cotas conservadas, tanto la *orchestra* como el *proscenium* se encontrarían bajo el nivel actual de suelo.
- Por el mismo motivo, la profundidad del edificio escénico quedaría exageradamente grande, y dado la clara diferenciación estructural (una zona de relleno con restos de suelo de *opus signinum* y una plataforma sólida de sillares de calcarenita), sumado a la existencia de varios fragmentos de fustes de columna en la zona, nos hace entender que la edificación más externa podría corresponder a un pórtico, al modo del teatro de Segóbriga (Almagro Basch y Almagro Gorbea 1982, fig. 2), quedando un edificio escénico “estrecho”, al estilo de los teatros de Acinipo (Del Amo 1982: fig. 3), Aspendos (Sear 2006: fig. 16), o el ya citado de Segóbriga.

Existe una notable experiencia sobre la utilidad de la prospección geofísica aplicada a la investigación de teatros romanos, en algún caso realizando mapas de resistividad (Bottacchi *et alii.* 2009), usando georrádar en otros (Peña, 2003) (Teixidó *et alii.* 2010), o mediante concurrencia de métodos, frecuentemente mapas de georrádar combinado con tomografía eléctrica (Peña *et alii.* 2006), (Antonie *et alii.* 2014).

La realización de una prospección geofísica se muestra como un instrumento eficaz para conocer la delimitación real del edificio, hasta ahora imprecisa, con el fin de definir el sector y ofrecer al visitante un discurso claro y objetivo. Las condiciones particulares del edificio, sin edificaciones superpuestas previsibles, dada la escasa cota de relleno de las estructuras aún soterradas, facilitan este tipo

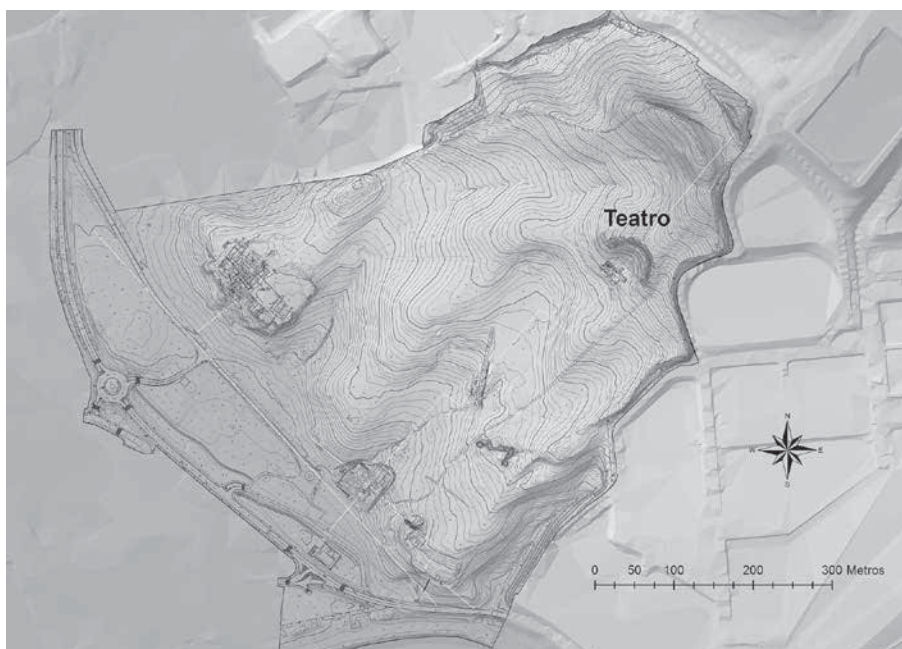


Fig. 3: Plano de Carteia con la situación del teatro. Base cartográfica elaborada por TCA Cartografía y Geomática en 2005.

de actividad arqueológica, que como técnica no destructiva ni invasiva, no ha implicado excavación, recogida de muestras, ni estudio de materiales.

Dicho estudio se ha planteado como una herramienta de gestión que permitiera obtener datos para una eficiente planificación de actuaciones, enfocadas por un lado a la conservación de la zona afectada, con el fin de proponer medidas adecuadas para los problemas que en la actualidad ocurren y por otro, a la puesta en valor de esa zona del yacimiento y su integración en el circuito de visitas.

Esta intervención se enmarca en las directrices establecidas por el documento definitivo del Plan Director de *Carteia*, entregado en la Dirección General de Bienes Culturales de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía en 2011, según aparece recogido en las líneas estratégicas de conservación, investigación y dinamización del yacimiento³.

3. El *PO.II.5: Actuaciones de conservación en el teatro romano*, recoge como objetivo paliar los efectos de degradación que sufre el edificio debido a la erosión y acumulación de aguas superficiales. El *PO.IV.4: Prospección geofísica extensiva*, planteaba como objetivo de investigación conocer la trama urbana intramuros de *Carteia* a través de métodos geofísicos. En el *PO.V2: bitos*

informativos, destinado a dotar de información en puntos específicos del yacimiento para desarrollar el discurso museológico de la visita, se contemplaba habilitar el hito 8 en el teatro destinado a los espectáculos romanos. El Plan Director de *Carteia* fue redactado por Manuel Jaén, Inmaculada Carrasco, Alejandro Jiménez, Carmen Romero y Elena Vera, y entregado en mayo de 2011.

Carteia dispone de una planimetría y un modelo digital del terreno que fueron realizados en 2005, promovidos desde la Delegación Provincial de la Consejería de Cultura en Cádiz que han servido de base topográfica para la referencia geográfica de los trabajos geofísicos⁴.

A partir de la exhaustiva información gráfica generada por el Enclave, una ortofoto de resolución 5 cm/píxel y una cartografía general a escala 1:1000 y de 1:500 de las estructuras arqueológicas, tenemos una imagen fiel de los elementos visibles que permiten una primera interpretación hipotética de la forma, tamaño y diseño geométrico del edificio. Con los resultados del estudio ha podido precisarse también un modelo 3D del teatro ya iniciado en 2011 desde el Enclave.

La realización del estudio geofísico se enmarca en el Convenio de Colaboración que la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía tiene suscrito con la empresa CEPSA desde 2006, para la realización de trabajos de conservación, puesta en valor y difusión en *Carteia*. La actividad arqueológica es aprobada por la Comisión Provincial de Patrimonio de Cádiz, en agosto de 2013 y se ha desarrollado durante 2014.

Los excelentes resultados obtenidos nos ha impulsado a integrar de manera definitiva el teatro y todo ese sector del yacimiento, en el circuito habitual, lo que permitirá al visitante, además de conocer el edificio con más exactitud, comprender la importancia y el papel estratégico que tuvo la antigua ciudad de *Carteia*, así como sus dimensiones, unas 30 ha, al poder divisar el yacimiento desde la zona más elevada y así enmarcarla en el territorio, en el centro de la Bahía de Algeciras, frente a la costa africana, ejerciendo el control del Estrecho de Gibraltar.

Para ello, durante el último trimestre de 2014 y el primer semestre de 2015, enmarcados en el Convenio de Colaboración institucional anteriormente citado, se han desarrollado trabajos de acondicionamiento de los accesos al teatro. También se ha avanzado en su puesta en valor, ya que la interpretación de los restos que ha sido posible con los datos aportados por la geofísica, quedará plasmada sobre la superficie del terreno, señalizando las líneas principales que definen las estructuras del edificio, que aún se encuentran soterradas pero se tiene certeza de su ubicación y dimensiones exactas. El proceso es totalmente reversible y facilita enormemente la apreciación y comprensión de los restos arqueológicos.

4. La documentación gráfica y planimétrica fue realizada por la empresa TCA Cartografía y Geomática S.A. e incluyó una serie de actuaciones que suponen un modelo de protocolo de representación gráfica en yacimientos arqueológicos, incluyendo una red de topografía básica y única para todos

los levantamientos en el yacimiento, una ortofotografía de alta resolución, un modelo digital del terreno preciso y una cartografía a escala 1:1000, general, y 1:500 para los edificios excavados.

2. METODOLOGÍA Y DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD ARQUEOLÓGICA

La intervención arqueológica se diseñó para optimizar los recursos destinados a la misma por lo que se decidió cubrir unos objetivos muy concretos que definirían la forma, el tamaño y la implantación sobre el terreno del teatro:

- Localizar las estructuras soterradas pertenecientes a la *orchestra*, al *frons pulpiti* y las *basilicae*.
- Conocer las dimensiones totales de la cávea, es decir, si el tamaño del edificio es el que vemos en la actualidad o si fue mayor, quedando ese anillo exterior actualmente soterrado.
- Analizar el sistema de accesos al edificio.
- Restituir la planta del edificio, e inferir el diseño geométrico con el que se trazó el edificio.
- Conocer el funcionamiento del edificio, tanto en lo relativo al acceso y salida de los espectadores como, especialmente, al sistema de evacuación de aguas, de especial interés para su conservación.

Para ello optamos por el uso de dos técnicas geofísicas, la tomografía eléctrica para obtener perfiles del terreno en los ejes esenciales del edificio y el georrádar para la delimitación de áreas concretas del teatro. La tomografía eléctrica permite la obtención de secciones del subsuelo a una profundidad suficiente ayudar a comprender el entorno geoarqueológico de manera que podemos observar la disposición de los materiales del subsuelo y la presencia de estructuras, en función de las diferencias de resistividad encontradas.

El georrádar nos ofrece una información detallada de la diferencia de materiales hasta una profundidad condicionada por la naturaleza del terreno y por la frecuencia de la antena utilizada (400 MHz) que, en este caso, es la adecuada para el rango de profundidades a explorar. La limitación de esta técnica reside en lo costoso de su uso, en términos de tiempo para la adquisición de los datos, por lo que se limitó a unas zonas concretas, estratégicamente seleccionadas para la consecución de nuestros objetivos.

Los trabajos empezaron en abril a la espera de unas condiciones de humedad del terreno idóneas para la realización de los perfiles eléctricos. Se efectuó el perfil ERT-1 y los trabajos de prospección se reanudaron en junio, tras valorar los datos obtenidos por el primer perfil eléctrico. Tras su análisis, decidimos hacer dos nuevos perfiles eléctricos, en este caso transversales al eje del teatro para documentar el espacio trasero al edificio y el sistema de accesos por los *aditus*

maximi. En junio comenzaron igualmente los sectores de georrádar programados. Una vez valorados los resultados de esta nueva serie de actuaciones, decidimos ampliar el sector de radar 3 hasta conectar con la cávea para tener una imagen completa del acceso SE del teatro, la escena y la basílica (fig. 4).



Fig. 4: Situación de los perfiles de tomografía eléctrica (ERT-x) y áreas donde se exploró con georrádar (RADAR-x).

2.1. Perfiles de tomografía eléctrica

Un perfil eléctrico o una tomografía eléctrica (Electrical Resistivity Tomography; ERT) es una técnica de investigación no destructiva orientada a la obtención de imágenes de resistividad 2D del interior del subsuelo. El método consiste en medir la resistividad aparente del terreno con un dispositivo compuesto de 4 electrodos; dos que inyectan corriente (C1 y C2) y dos (P1 y P2) que miden la diferencia de potencial que se genera. Los electrodos están separados entre sí ciertas distancias predeterminadas.

El lugar al que se refiere la medición se sitúa en el punto medio de los electrodos de potencial, y la profundidad es función de las distancias interelectródicas. De este modo, al ir cambiando la situación de los electrodos a lo largo de un perfil, se van obteniendo sucesivas medidas de resistividad aparente para una profundidad determinada. Si posteriormente se recorre el mismo perfil con diferente

separación de electrodos se obtienen lecturas que corresponden a otro nivel de profundidad. El procedimiento normal consiste en recorrer el perfil con una separación de electrodos determinada para obtener lecturas correspondientes a una cierta profundidad y realizar sucesivas pasadas con diferentes separaciones de electrodos (nuestro equipo permite realizar estas combinaciones de manera automática, siguiendo un programa preestablecido).

Los electrodos se han colocado cada 1 m; en estas condiciones la longitud total del dispositivo son 40 m, de modo que el sistema se ha ido trasladando sucesivamente (técnicamente se denomina *roll-along*) hasta cubrir la distancia deseada en cada caso. Se realizaron 3 perfiles de resistividad alcanzándose las longitudes de 107 m para el perfil 1, y 100 m para los perfiles 2 y 3.

El equipo de tomografía eléctrica utilizado en este estudio ha estado compuesto por:

- Resistivímetro ABEM TERRAMETER SAS 1000.
- Conmutador de electrodos ES 10-64.
- 2 carretes de cable multielectrodo de 21 salidas, con separación de 5 m.
- 41 electrodos de acero inoxidable.
- Conectores y material auxiliar.

Los perfiles de tomografía eléctrica han sido tratados con el programa Res2dinv (Geotomo, Software Inc.), el cual resuelve el problema inverso reticulando el terreno (unidades de la malla). Se les ha añadido la corrección topográfica ya que el relieve es considerable. El proceso iterativo de inversión se ha fijado para un máximo de 10 iteraciones o un error inferior al 2 %.

Se ha ensayado el procesado con diferentes parámetros y se ha optado finalmente por una inversión robusta, que marque bien los contrastes de resistividad entre los materiales arqueológicos y el substrato. Los parámetros de procesado se han mantenido en los tres perfiles, también se ha unificado la gama de colores de representación a fin de facilitar la comparación entre perfiles y su interpretación.

2.2. Exploración georrádar

El radar de subsuelo (georrádar o GPR) es una de las modalidades de prospección geofísica usadas más frecuentemente en la detección de estructuras sub-superficiales, incluso sus fundamentos y práctica son en la actualidad parte de la formación básica universitaria (Conyers, 2004). Dentro de esta técnica, el método de prospección de perfiles de reflexión es el más usual en la adquisición

de datos y consiste en desplazar una antena que emite pulsos de energía electromagnética en la banda de radio-frecuencia. Dichos pulsos viajan hacia el interior del terreno en forma de ondas electromagnéticas y, parte de la energía que transportan se refleja en las superficies de discontinuidades electromagnéticas encontradas, originadas por cambios de materiales y también por cambios en el contenido en agua dentro de unos mismos materiales.

Para que estas ondas se reflejen es necesario que exista un contraste notable en un parámetro denominado constante dieléctrica, entre los dos materiales en contacto. Si esto no ocurre, no hay reflexión; de modo, que puede haber un contacto entre dos materiales de aspecto radicalmente diferente a simple vista, pero que por tener valores similares de la constante dieléctrica no devuelve energía y son tomados por un material único. Lo contrario también puede ocurrir: un mismo material puede tener un distinto valor de constante dieléctrica en función de su contenido en fluidos (agua o contaminantes líquidos).

Por supuesto, si las estructuras y el material de derrumbe son el mismo, las imágenes que se obtengan serán las correspondientes a estos dos conjuntos, es decir veremos una morfología que será la del derrumbe dentro del cual está la estructura, pero no apreciaremos la geometría de la misma. La profundidad de penetración y la resolución dependen de las características del terreno y de la antena utilizada. La profundidad disminuye al aumentar la conductividad del terreno; también lo hace al aumentar la frecuencia central de la antena. Si se emplean antenas de mayor frecuencia se obtiene más resolución y menor profundidad de penetración, y al contrario al disminuir la frecuencia.

En este estudio se han utilizado dos equipos diferentes. Para los sectores más abruptos un radar de subsuelo monocanal modelo SIR 2000 (GSSI, Inc.) con una antena de 400 MHz, diseñada para explorar con buen detalle los primeros 2.5 a 3 metros de profundidad. En el resto de los sectores se ha usado el modelo SIR 3000, de la misma empresa, con la misma antena mencionada anteriormente; en este último caso el equipo se ha llevado en un carro de transporte modelo 623, también de GSSI.

Los perfiles paralelos estaban separados 25 cm, con una traza cada 2 cm a lo largo del perfil; en algunos casos se realizaron perfiles de apoyo, perpendiculares a los del sector en cuestión y espaciados 2 m.

Antes de la adquisición de datos se realizó un calibrado de cada instrumento para adecuarlo a las condiciones locales que consistió en adaptar la rueda marcadora a la rugosidad del suelo y ajustar la ganancia de las señales para las diferentes profundidades. Estos valores de calibración se mantuvieron constantes en los diferentes sectores de la prospección.

Para el procesado de cada perfil radar (radargrama) se ha utilizado el paquete específico Radan 7 (GSSI, Inc.) pero para el tratamiento de imágenes 3D y la gestión de mapas se han usado programas de desarrollo propio y estándares de ofimática. También se han ensayado varios flujos de procesado multiseñal (Jol, 2008; Yilmaz, 2001) y finalmente se ha optado por un tratamiento donde, aparte de la aplicación de filtros pasa-banda, los dos pasos más significativos han sido una migración (Kirchoff) y una eliminación específica del bandeo horizontal residual. A modo de test de investigación también se ha realizado una corrección topográfica densa 3D (Teixidó *et alii*. 2013) en el sector R6.

Una vez procesados todos los perfiles se ha procedido a la reconstrucción 3D que empieza por ordenar los radargramas según la geometría de adquisición y promediar las amplitudes de reflexión espacialmente.

A partir del volumen de datos (3D) se generan distintas representaciones que facilitan la visualización de la geometría de las estructuras. En este estudio se van a mostrar tres presentaciones distintas de los datos radar:

1.- Representación de los datos en cortes horizontales a distintas profundidades. También llamadas rebanadas de profundidad o de tiempo (*depth-slice* o *time-slice*). Constituyen una serie de lajas horizontales en el volumen creado, con un determinado espesor y a una determinada profundidad; de manera que la sucesión de estas imágenes muestra la evolución de las reflexiones; resultando una eficaz herramienta de interpretación, aunque se han usado para la interpretación, no se ha incluido ninguna imagen de esta clase en el presente artículo,

2.- Representación de los datos en superficies alabeadas. Es otra imagen que puede construirse con el volumen de datos y representa la anomalía más próxima a la superficie. Esta representación es similar a la que se obtendría si se excavase por niveles naturales; sin dejar de tener presente de que lo que se representa son valores de reflectividad del terreno (Peña y Teixidó 2013) (*fig. 5*).

3.- Representación volumétrica de los datos. Al disponer de valores de reflectividad tridimensionales también se suelen presentar los resultados en forma volumétrica (*fig. 7*).

3. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

Los resultados de la prospección geofísica pueden calificarse de buenos puesto que nos han permitido cubrir los objetivos planteados e incluso superar las expectativas previas a su realización. Brevemente expondremos un análisis en detalle de los datos que nos aportaron cada una de las actuaciones en el contexto de la interpretación global del edificio.

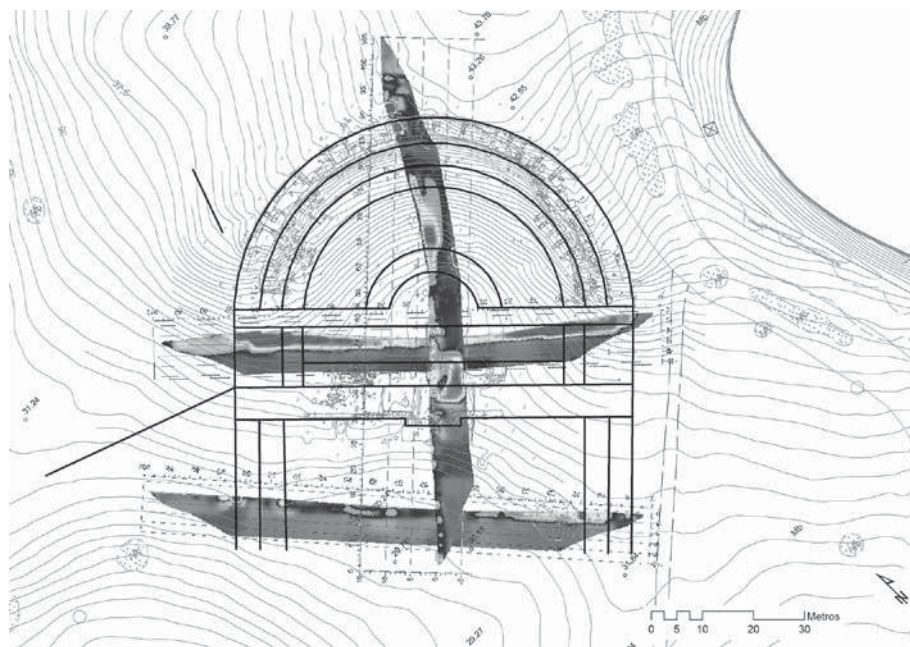


Fig. 5: Perfiles eléctricos abatidos sobre la planta del teatro.

3.1. Perfiles eléctricos (fig.5)

El **ERT-1** tenía como objetivo obtener un perfil, una sección de las estructuras soterradas, en el eje longitudinal del teatro, sobrepasando los límites de la cávea al NE y del edificio escénico al SW, para saber, de un lado, si el límite de la cávea era el conocido o si tenía otras estructuras adosadas y, de otro, si existían otros edificios tras el teatro.

Este perfil tuvo una longitud de 107 metros con punto de origen en el SW. Los primeros 30 metros mostraron una ausencia de estructuras significativas, aunque sí se detectaron algunas anomalías interpretables como restos de escombros o sillares sueltos. A partir de los 30 metros, el perfil destaca la potencia del edificio escénico hasta el muro del *proscenium* a los 49 metros donde empieza la *orchestra* que se desarrolla 1,5 metros por debajo del nivel del escenario y que se prolonga hasta aproximadamente los 59 metros donde se detectan las primeras gradas; la estructura del graderío, incluyendo los escalones perfectamente marcados en el perfil, continúan hasta los 78 metros punto en el que desaparecen debido a la destrucción de la parte emergente en este sector. Entre los metros 81 y 92 se muestran con potencia los muros de cierre de la cávea, aunque, sobre los 95 metros, aparece una estructura a unos 2-3 metros de profundidad que podría indicar la existencia de un muro de contención.

ERT-1 nos ha permitido conocer la existencia de un gran espacio abierto tras el teatro, las dimensiones del edificio escénico hasta el muro del *proscænium*, el tamaño aproximado de la *orchestra* y los límites de la *cávea*. Es de destacar que el graderío puede encontrarse en buen estado en los 20 metros inferiores, a partir de los cuales sólo podremos encontrar las subestructuras.

ERT-2 se situó tras el teatro en una dirección paralela al edificio escénico y su función era certificar la presencia de un *porticus postscaenam*, un *quadriporticus* como tienen los teatros de Mérida o Itálica.

Los resultados confirmaron esta hipótesis preliminar. Así, en los metros 5, 9,5 y 14 se localizaron sendas estructuras que, como veremos al analizar el sector 3 del georrádar, pertenecen al *porticus* SE. Hasta el metro 25 se detecta una presencia abundante de escombros que no parecen formar estructura; después un amplio vacío hasta los 72 metros donde aparece una nueva estructura que cierra a los 81 con otro potente muro que corresponden al *porticus* NW.

ERT-3 se situó en el eje de entrada por los *itínера*, en el eje transversal del teatro para conocer si al exterior del edificio se mantuvo la misma cota de la *orchestra* o si, por el contrario, ésta era superior y los accesos se hicieron escalonados mediante rampas o escaleras para salvar la diferencia de cotas como ocurre en el teatro de *Baelo Claudia*.

El perfil eléctrico alcanzó una longitud de 99 metros en sentido NW-SE. Los resultados muestran una potente estructura de cerca de 2 metros de potencia con numerosos escombros y una anchura equivalente a la del graderío hasta llegar a la *orchestra*, lo que confirma la existencia de un sistema de rampas y escaleras para acceder a la *orchestra* desde el exterior por ambos *aditus*, salvando una diferencia de cota de unos 4 metros.

3.2. Georrádar (fig. 6)

Una vez obtenidas las secciones longitudinales y transversales del edificio, procedimos a situar un total de 6 sectores de georrádar con el fin de complementar la información obtenida con los perfiles eléctricos y destinados a solventar los objetivos propuestos tales como conocer el tamaño real del edificio, su diseño geométrico, la forma de la *orchestra* y de las *basilicae*.

Radar-1 se ubicó adosado al perímetro de la *cávea* en su eje longitudinal con la finalidad de conocer el tamaño real de la *cávea*, si era el visible o si su tamaño era mayor con estructuras soterradas.

El análisis mostró la existencia de abundante escombros tras la *cávea* pero no estructuras importantes que hicieran pensar que el graderío pudiera tener un radio mayor. Sólo en la esquina inferior izquierda del sector, entre los 6 y 8

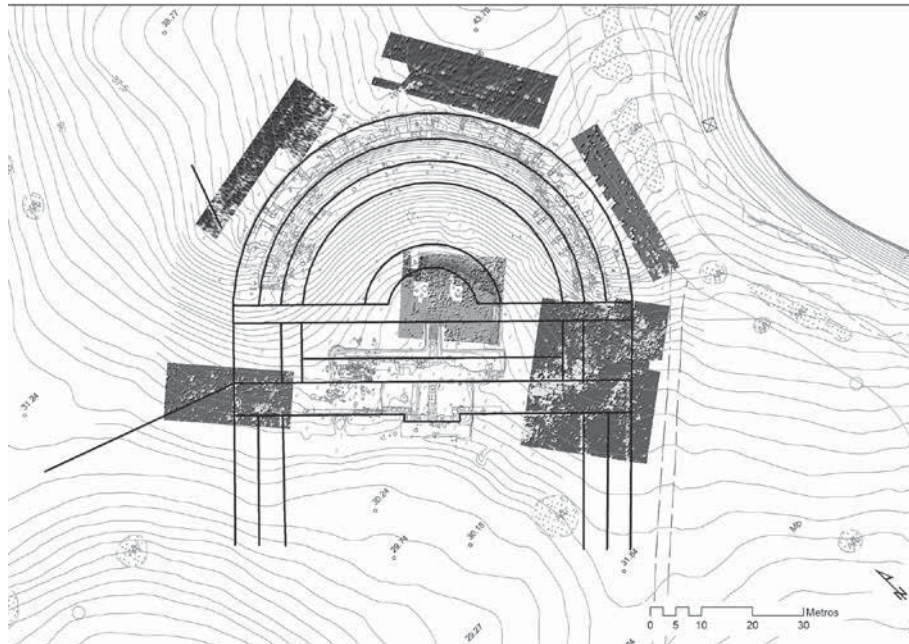


Fig. 6: Sectores de georradar sobre la planta del teatro.

metros, aparece una anomalía que puede corresponder a un muro adosado al perímetro de la cávea.

Radar-2 se situó en el costado SE de la cávea con la finalidad de contrastar los límites del graderío por este sector o la presencia de estructuras adosadas, así como las cotas del nivel original del teatro.

Se confirma que el graderío no era mayor que el visible y no se aprecian más estructuras que una serie de cubos en la parte inferior que corresponden a la serie de contrafuertes de *opus caementicium* observables en este sector de la fachada del teatro.

El sector **Radar-3** se proyectó para conocer el extremo SE del edificio escénico, para confirmar sus dimensiones, conocer la *basilica* de este lado, el *postscaenium* y comprobar la existencia de un pórtico posterior a la escena. Posteriormente, decidimos ampliarlo para abarcar el *aditus maximus* y así verificar el tamaño y forma de la entrada.

Los resultados finales fueron satisfactorios dado que comprobamos los límites del edificio escénico, la forma, aunque un tanto difusa por el grado de destrucción y la masiva presencia de escombros, de la *basilica* y la presencia del pórtico tras el teatro que antes habíamos detectado en el ETR-2. Asimismo, se comprobó la

presencia de numerosos escombros en la entrada que difuminan los contornos, que no impiden conocer la anchura del *aditus maximus*.

Radar-4 fue ubicado en el lado opuesto al del sector 3 para conocer los límites del edificio, la forma de la basílica y del pórtico tras la escena.

Mostró con claridad los límites del edificio por el NW y la presencia de un edificio adosado con una orientación diferente a la del teatro, de especial interés para conocer la organización urbanística de este sector de la ciudad. Certifica el pórtico NW de la gran plaza tras el teatro justo en el mismo lugar ya evidenciado por ERT-2.

Radar-5 se realizó opuesto al Radar-2, estaba destinado a cubrir los mismos objetivos que aquél, en el exterior del sector NW del graderío.

Los resultados, no obstante, ofrecieron una profusión de estructuras que aclaran la configuración de la fachada y los accesos al teatro. En primer lugar, una gran estructura de unos 4.5 metros de anchura que, según la señal del radar corresponde a un potente pavimento, y que discurre de manera oblicua al eje del teatro aunque perpendicular al edificio adosado al teatro localizado en el Radar-4, parece indicar la presencia de una calle que llegaría hasta la fachada del teatro. En ese punto, y adosado a la fachada del graderío, aparece una potente

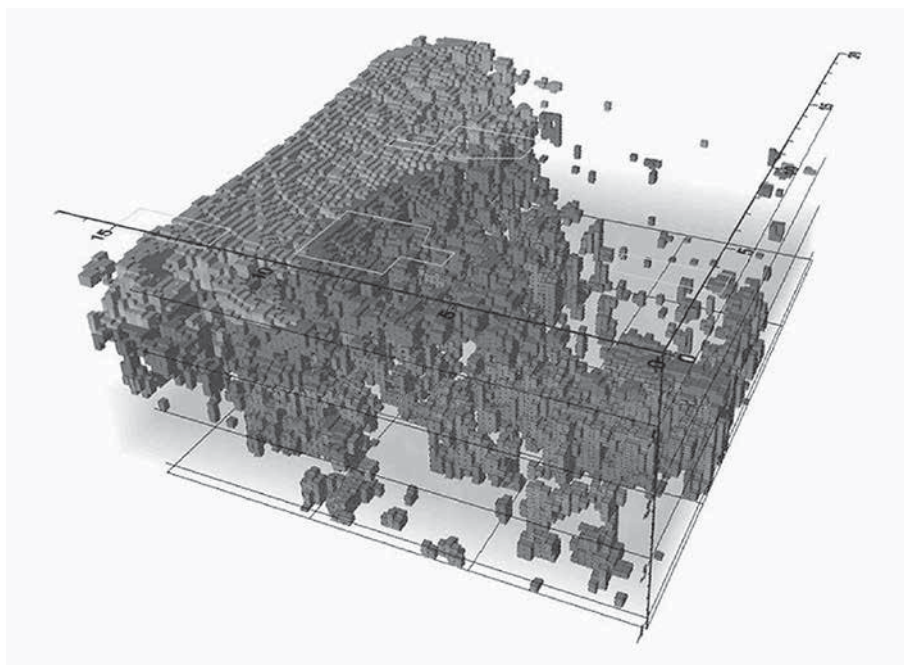


Fig. 7: Imagen tridimensional de sector RADAR-6 donde se observan los restos de la orquesta.

estructura de sillares que podría corresponder a una escalera de acceso a las zonas altas del graderío, salvando las diferencias de cotas. Igualmente, al norte de esta estructura, el radar parece detectar una pendiente escalonada.

El sector **Radar-6** se destinó a conocer la *orchestra* del teatro, un elemento esencial para deducir el diseño geométrico del edificio.

El radar mostró que la *orchestra* estaba muy dañada por el expolio de sus materiales, aún así, es posible adivinar el escalonado de las primeras filas de la *probedria*, el tamaño del hemiciclo y la presencia del *frons pulpiti*, este último prácticamente arrasado.

La imagen conjunta de los perfiles eléctricos, con sus secciones abatidas, permiten conocer la planta hipotética del edificio así como su desarrollo tridimensional, permitiendo saber la profundidad de las estructuras y su pendiente, en el caso de la grada.

La planta del edificio queda completa observando los resultados de los sectores de radar de manera conjunta y referidos geográficamente. Los sectores fueron cuidadosamente elegidos y completaron la información necesaria e indispensable para el conocimiento de la planta del edificio.

La información gráfica se completa con la superposición de todas las actuaciones geofísicas sobre la ortofoto del teatro y con la hipótesis de su planta. Resulta patente la coincidencia de las estructuras entre ambos métodos, aunque existe una pequeña discrepancia entre las profundidades otorgadas por cada uno de ellos, aunque dentro del rango e incertidumbre de las técnicas.

4. EL TEATRO DE CARTEIA

La información aportada por la prospección geofísica junto al levantamiento planimétrico del teatro y el MDT del yacimiento, estos últimos realizados en 2005, nos permiten obtener un acercamiento fidedigno al diseño y forma del edificio, a su estructura y adaptación al terreno (*fig. 8*).

El teatro fue construido aprovechando la ladera de una colina que fue excavada para adaptar su perfil convexo original en el cóncavo del graderío del teatro. Igualmente, la *orchestra* y el *hyposcaenium* se hicieron tallando el sustrato original y dejándolo entre 3 y 4 metros por debajo de la cota del exterior del edificio a la entrada de los *aditus*, lo que obligaba a que éstos tuvieran rampas para salvar la diferencia de cota. Sobre el terreno se edificó el edificio escénico, las *basilicae* y el *porticus post scaenam* que quedarían realizados con respecto a las cotas de la plaza trasera y *orchestra*. La *media*, *summa cavea* y *porticus* se construyen sobre la superficie del terreno, a partir de la cota de 37 metros.

EL TEATRO ROMANO DE CARTEIA (SAN ROQUE, CÁDIZ):
ANÁLISIS DE SU DISEÑO A PARTIR DE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

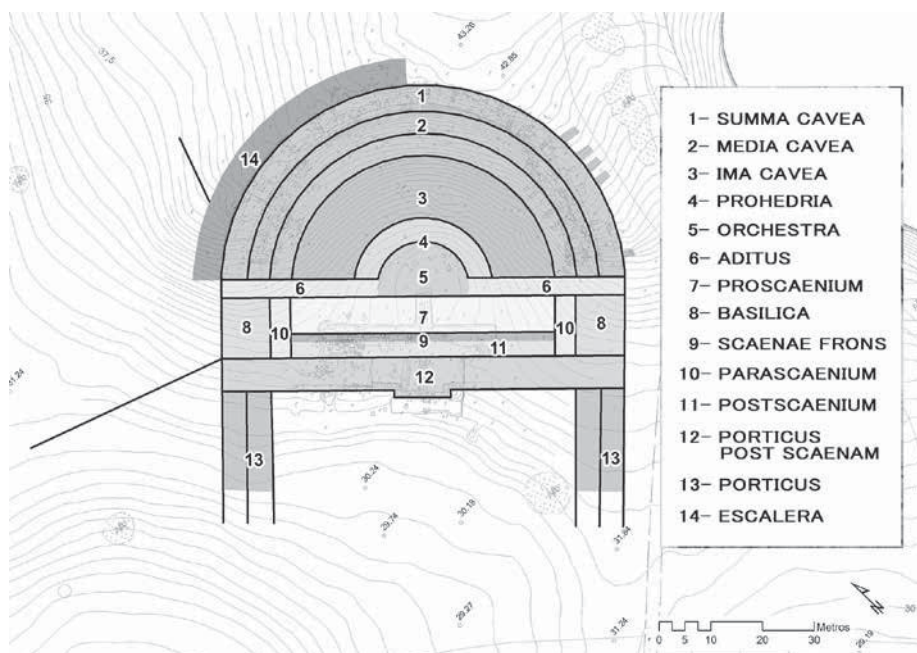


Fig. 8: División zonal del teatro de Carteia.

El diseño geométrico del teatro parte de la *orchestra*, una circunferencia de 17,7 m de diámetro (60 pies romanos), desde cuyo centro se trazan todas las curvas que conforman el graderío y por donde pasan los ejes transversal y longitudinal del edificio. La *prohedria* se traza con una circunferencia de 92 pies de diámetro, con el mismo centro, y que alcanza el paramento exterior del *postscenium*. La *cávea* tiene un diámetro total de 78,1 m (264 pies romanos) y la parte construida se realiza mediante muros anulares distanciados entre sí 4,4 m (10 codos) que delimitan la *ima cavea* con un diámetro equivalente a la longitud del escenario.

Según los modelos establecidos por Sear (Sear 1990), el teatro de *Carteia* tendría el graderío dividido en 6 *cunei*, hecho que podemos deducir, a falta de la presencia visible de las escaleras, a partir de una línea que partiendo del centro de las *hospitalia*, las puertas laterales del frente escénico, y a través del centro de la *orchestra* se prolongue hasta la fachada, marcando la ubicación teórica de las escaleras que dividen el graderío, en este caso 5 escaleras para 6 cuñas. Entonces, en el círculo inicial de la *orchestra* se inscribe un dodecágono cuyos ángulos van a marcar las cuñas del graderío y las *hospitalia* del frente escénico (fig. 9).

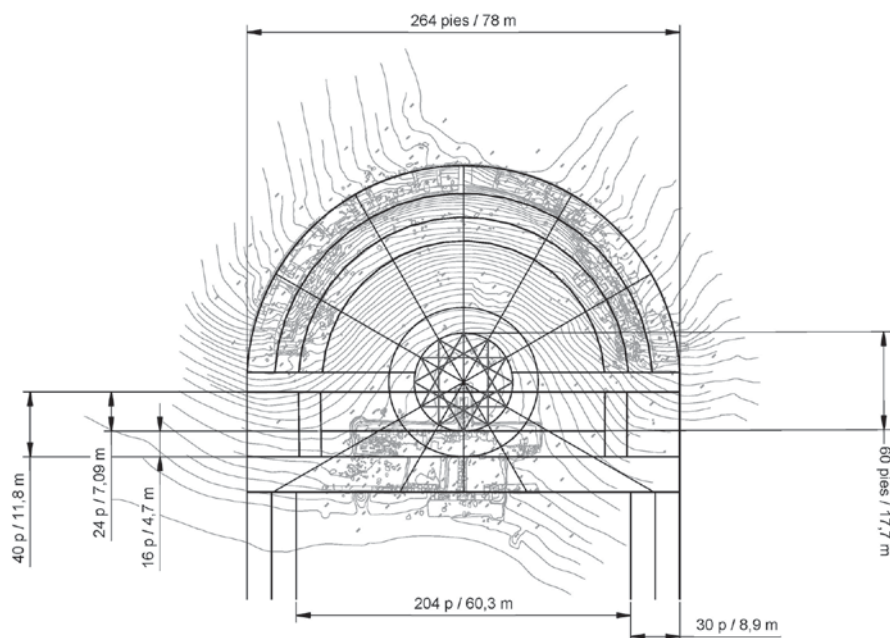


Fig. 9: Análisis geométrico de la planta del teatro de Carteia.

Los *aditus maximi* tendrían una anchura entre 10 y 12 pies (2,9 ó 3,5 m) y estarían pavimentados con tramos de rampas y escalones para salvar la diferencia de cotas.

El escenario tiene una longitud de 174 pies y 24 pies de profundidad y su suelo de madera estaría apoyado sobre los soportes del *hyposcaenium*. Éste está tallado sobre las areniscas del sustrato natural y conocemos muy poco de su forma y de los elementos que debió contener, esenciales para el desarrollo de las representaciones teatrales. Justo en su mitad discurre una cloaca que se abriría en el *frons pulpiti* por encima de la cota de la *orchestra*, garantizando así la correcta evacuación de todas las aguas superficiales de los 2500 m² de la cávea en días de lluvia torrencial, con sus dimensiones interiores de 5 pies de altura y un codo de ancho.

El frente escénico es rectilíneo y está completamente arrasado aunque se conserva la *valvae hospitalia* NW y, presumiblemente, debió contar con dos órdenes de columnas. En sus laterales, se abrían las *versurae*, las puertas que daban acceso al vestíbulo, o *parascaenium*, que antecede a las *basilicae*. Éstas últimas tendrían unas dimensiones de 40 por 30 pies romanos y los vestíbulos de 40 por 15 pies.

Tras el frente escénico se desarrolla el *postscaenium* y, tras éste, una nave pavimentada con un suelo de *opus signinum* en el que no se detectan divisiones. Su muro exterior se corona con una cornisa a la altura del nivel del escenario lo que parece indicar que este muro pudo estar formado por una columnata que hiciera las veces de pórtico oriental del *quadriporticus post scaenam*. Su anchura es de 22 pies y, en su centro, el muro se adelanta resaltando, posiblemente, una portada.

Tras el teatro se abre una amplia plaza cuyo límite SW no ha sido localizado, pero que tiene una anchura de 204 pies y está flanqueada por sendos pórticos dobles que cierran sus extremos y, presumiblemente también, el lateral SW. Estos pórticos están formados por una doble galería de 15 pies de anchura cada una, otorgando un ancho total de 30 pies al pórtico, tal y como se ha detectado en la geofísica.

La fachada del graderío, a tenor de la configuración topográfica del entorno y de los datos proporcionados por la geofísica, no tendría una arcada perimetral sino que sería un muro ciego en el que se abrirían los accesos que llevarían, por un lado, al pasillo divisorio entre la *ima* y *media cavea*, y las escaleras de acceso a la *summa* y *porticus supra caveam*, y que, en su costado SE se reforzó con contrafuertes dispuestos regularmente.

Los accesos, por tanto, se realizaron fundamentalmente desde el perímetro exterior, de tal forma que el público accedía directamente a su puerta desde la fachada. Éste estaba acondicionado con escaleras, detectadas en el sector de radar 5, que facilitaban el acceso desde la cota, a la altura del escenario, de 33 metros hasta los 42 que alcanzaba la colina justo a mitad del graderío; incluso en el lateral NW de la cávea se detectó una potente estructura adosada a la fachada que podría tratarse de una escalera para facilitar la subida a la *summa cavea* y al *porticus*.

De manera general, se observan dos grandes momentos constructivos definidos por el empleo de diferentes materiales y técnicas constructivas y por una superposición estratigráfica evidente de unos elementos sobre otros. La fase de construcción se caracteriza por el empleo masivo y exclusivo de piedra caliza en forma de sillares o mampostería, aparejada en *opus quadratum* u *opus africanum* con la que se realizan las partes construidas de la cávea, el escenario y pórticos tras la escena. Posteriormente, en la cávea se observan la presencia de grandes bloques de hormigón, *opus caementicium*, que parecen indicar una profunda remodelación de las zonas altas del graderío al tiempo que se hicieron los contrafuertes adosados al tramo SE de la fachada, obras necesarias quizás para reparar fallos estructurales o para modernizar y embellecer el

edificio. Sin otros datos más que la observación del diseño, forma del edificio y tipología constructiva, podemos hipotetizar que la construcción del edificio pudo efectuarse dentro de la gran ordenación urbanística augustea (Roldán y Blázquez 2013, 389), ante todo por las similitudes que presenta con el teatro de Mérida como veremos a continuación, o primeros años del imperio. Por otro lado, la reforma del edificio debió acontecer desde finales del I d.C. en adelante, cuando se generaliza el empleo del hormigón en edificios públicos.

De entre los teatros conocidos con el que presenta mayor afinidad es con el de Mérida y no con los de *Baelo Claudia* o Cádiz (Borrego 2013) como podría ser esperable por razones de proximidad. A pesar de la larga vida de este último edificio y sus profundas modificaciones sufridas en ese tiempo (Mateos y Pizzo 2012; Durán 2004), todavía es perceptible su diseño original que es muy próximo al de *Carteia*. El diseño de partida es el mismo y, con ello, la mayor parte de

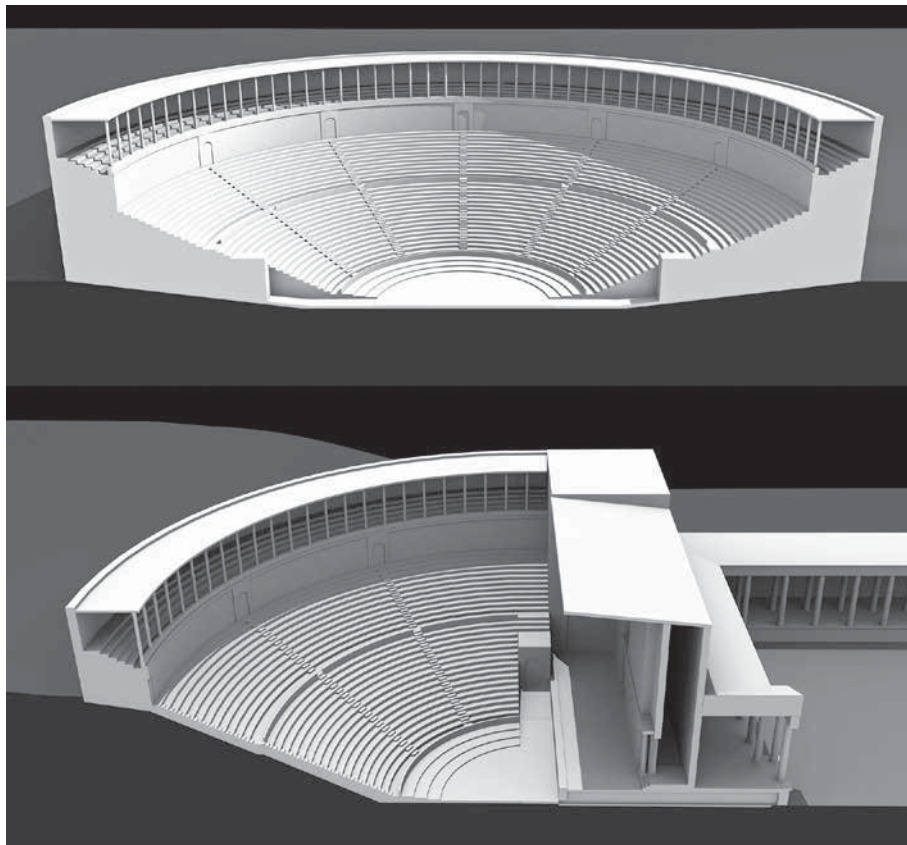


Fig. 10: Restitución volumétrica virtual del teatro de *Carteia* en sus ejes transversal y longitudinal.

las estancias adquieren el mismo tamaño y proporción como puede verse en la figura adjunta en la que se superponen las líneas esenciales de *Carteia* sobre el teatro de Mérida (*fig. 11*).

Con el diseño de la planta y la topografía del entorno podemos proponer una restitución volumétrica del edificio a partir de la relación conocida en otros edificios entre los valores de su diámetro y la altura del edificio escénico y, por tanto, la cota máxima de la fachada.

Paradigmático a este respecto resulta el Teatro Marcelo de Roma. Su diseño, volumen y articulación de fachada marcan unas pautas que serán seguidas por teatros posteriores y anfiteatros. La altura de la fachada restituida hasta la cornisa superior de la fachada es la mitad del radio del teatro (Sear 2006: *fig. 9 y 13*). Esta correspondencia puede ser contrastada en el edificio escénico del teatro de Acinipo (Del Amo 1982: *fig. 3*), Aspendos (Sear 2006: *fig. 16*), Sabrahta (Sear 2006: *fig. 17*), o la propia Mérida (Sear 2006: *fig. 14*). Este dato es un indicativo, si no preciso, muy aproximado de la altura total del edificio que nos ocupa lo que nos indica cuánto de su alzado ha desaparecido y qué altura tuvo su fachada emergiendo de la pendiente de la colina.

Con esta proporción, el alzado del edificio desde la cota de la *orchestra* sería de 19,5 m (66 pies romanos) con lo que la fachada emergería 8 metros sobre el terreno en el eje de la *cavea* perpendicular al escenario, donde el terreno alcanza su cota máxima. En los *aditus*, la fachada debió tener 15 metros de altura, dado que el nivel de la *orchestra* era inferior en unos 4 metros al del exterior en los *itinera* de acceso a la misma. El graderío estuvo excavado en la roca hasta la *praecinctio* entre la *ima* y *media cavea*, a la cota de 37 metros sobre el nivel del mar, 6 metros sobre el nivel de la *orchestra*, con lo que la parte construida del graderío en este sector debió alcanzar los 1,5 m. Esta altura sería igualmente la que alcanzaría el *frons scaenae*, desde el nivel de la *orchestra*, aunque su articulación y órdenes deben ser objeto de un estudio pormenorizado de los restos arquitectónicos conservados en el lugar.

Otro asunto de capital importancia es la capacidad del edificio. Al respecto Sear plantea como mejor opción calcular la longitud total del espacio destinado a asientos, restar los espacios destinados a las escaleras de acceso y dividir el restante entre 40 ó 50 cm, lo que otorga un rango de valores mínimo y máximo (Sear 2006: 26). En nuestro caso, ese método no puede ser seguido puesto que desconocemos el ancho real de la grada y, por tanto, su número. Una estimación proporcional entre el aforo calculado a otros teatros y su diámetro arroja un resultado entre 5100 y 5500 espectadores. Una aproximación a estos valores puede ser obtenida calculando la superficie destinada a grada en pies romanos y

dividiendo ésta entre 5 pies por plaza (destinados a asientos y a zonas comunes de acceso). De esta manera, la superficie del hemiciclo, exceptuando la destinada a *orchestra*, supone un total de 25957 pies romanos que entre 5 ofrece una capacidad total de 5191 espectadores.

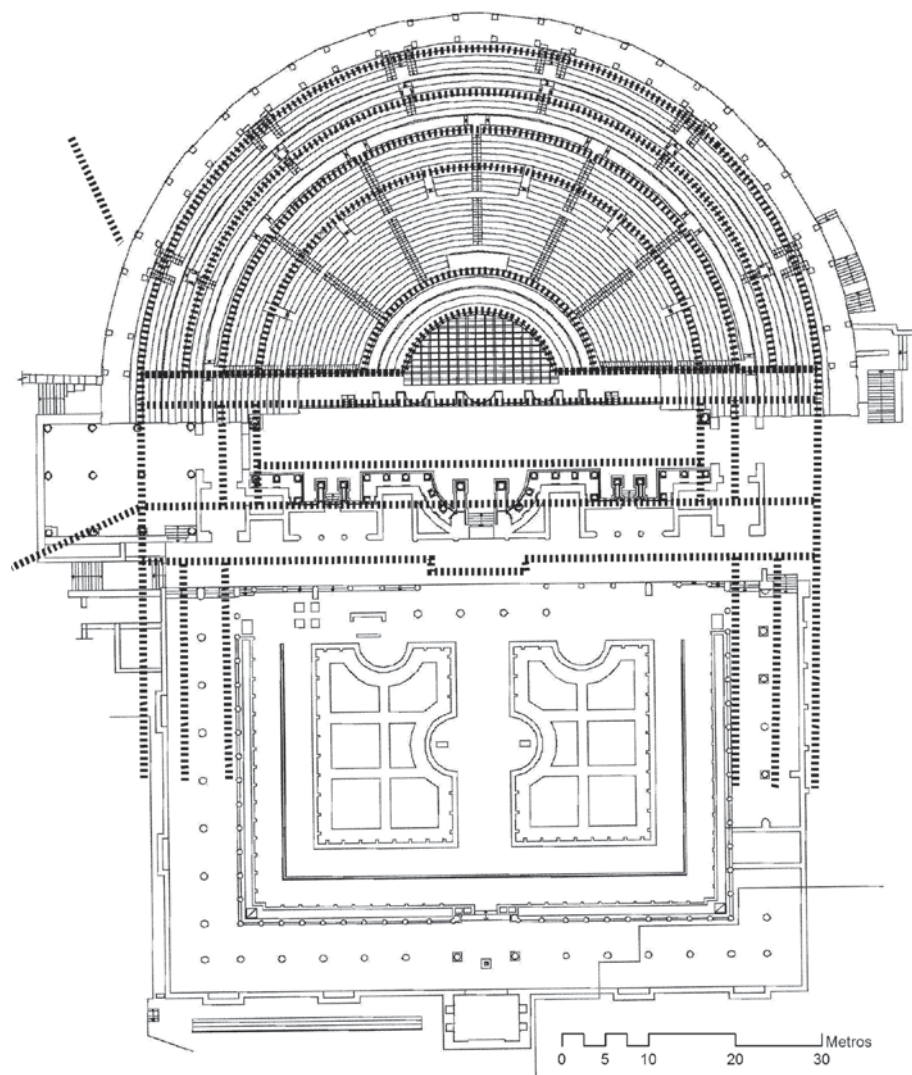


Fig. 11: Teatro de Carteia (en discontinua) sobrepuesto sobre plano del teatro de Mérida (Durán 2004: plano 7),

5. CONCLUSIONES

La gestión de un espacio como el Enclave Arqueológico de *Carteia*, con más de 30 ha de extensión y tan solo un 5% de zonas excavadas y con mayor o menor profusión, estudiadas, precisa de herramientas de conocimiento que ayuden a la planificación de actuaciones. Para ello es necesario tener una visión global e integradora del territorio. Muy poco sabemos de temas tan esenciales como puede ser el trazado urbano de la antigua ciudad de *Carteia*, más allá de la prolongación virtual de los exiguos tramos de vial conocidos, o siguiendo la ortogonalidad de las edificaciones exhumadas.

Conocer, con base científica, el patrimonio que gestionamos resulta imprescindible. Para ello ha de disponerse de herramientas básicas, prácticamente indispensables, como son las planimetrías, las ortofotografías y los modelos digitales del terreno (MDT). El uso de la prospección geofísica, se ha mostrado como una poderosa herramienta de gestión, de bajo coste y nulo impacto sobre el patrimonio, para solventar problemas concretos y planificar actuaciones de conservación y puesta en valor.

Desde el punto de vista práctico inmediato, los resultados del estudio geofísico realizado en el teatro romano de *Carteia*, han supuesto la integración de tan magnífico edificio en el circuito habitual de visitas y un paso adelante en su puesta en valor, favoreciendo su acercamiento a la ciudadanía con un discurso expositivo basado en datos científicos.

El éxito de esta experiencia piloto abre, asimismo, las puertas al estudio de toda la zona NW de la ciudad, como recoge el Plan Director de *Carteia*, para evidenciar la organización urbanística de este sector. Esta información es esencial, a nuestro parecer, para ofrecer al visitante una imagen global del yacimiento, su organización, edificios públicos con base en una información científica y rigurosa y poder compartir con ellos las sorpresas que nos depara el subsuelo de *Carteia*.

Bibliografía:

- ALMAGRO BASCH, M., ALMAGRO GORBEA, A. (1982): "El Teatro romano de Segobriga." *Actas del Simposio 'El teatro en la Hispania romana'. Mérida 13-15 de Noviembre de 1980*, 25–39.
- ANTOINE, R., FAUCHARD, C., BEAUCAMP, B., GUILBERT, V. (2014): "Using a new multichannel GPR and ERT method for high resolution archaeological mapping: application to a buried Gallo-Roman site in Normandy, France." *Geophysical Research Abstracts* Vol. 16, EGU2014-14067. EGU General Assembly 2014.
- BORREGO DE LA PAZ, J. DE D. (2013): *La génesis del modelo arquitectónico teatral en la Bética. El teatro romano de Cádiz*. Universidad de Córdoba, Córdoba.
- BOTTACCHI, M.C., COLONNA, T., MANTOVANI, F., MEDRI, M. (2009): Application of the Ohm Mapper resistivity-meter to detect the theatre of Sentinum Roman town by using 3D resistivity model. *ArcheoSciences, revue d'archéométrie*, suppl. 33, pp. 267-269
- CONYERS, L.B. (2004): *Ground-penetrating radar for archaeology*. Altamira Press, Oxford. U.K.
- DEL AMO, M. (1982): "El teatro romano de Acinipo". *Actas del Simposio 'El teatro en la Hispania romana'. Mérida 13-15 de Noviembre de 1980*, 215–251.
- DURÁN CABELLO, R.M. (2004): *El teatro y el anfiteatro de Augusta Emerita*. Oxford.
- JANSEN, B. (2005): "Römische theater in der Baetica". *Madrider Mitteilungen* 46: 289–416.
- JOL, H. M. (2008): *Ground penetrating radar theory and applications*. Elsevier.
- MATEOS CRUZ, P., PIZZO, A. (2012): "La problemática arqueológica del teatro y anfiteatro de Augusta Emerita. El desarrollo del proyecto de investigación en torno a ambos edificios. The Augusta Emerita theatre and amphitheatre archaeological problematic. Development of a research project on the two buildings. *Documentation of Mediterranean Ancient Theatres. ATHENA Activities in Mérida*, 83–94. Roma.
- PEÑA, J.A. (2003): *Investigaciones geofísicas mediante radar de subsuelo en el Teatro Romano de Málaga*. Informe técnico para la empresa Hermanos Campano y para la Delegación de Cultura de la Junta de Andalucía en Málaga.
- PEÑA, J.A., TEIXIDÓ, T. (2006): *Delimitación y caracterización del teatro romano de Singilia Barba, Antequera, Málaga, mediante tomografía eléctrica y radar de subsuelo*. Informe técnico para el Ayuntamiento de Antequera y para la Delegación de Cultura de la Junta de Andalucía en Málaga.
- PEÑA, J.A., TEIXIDÓ, T. (2013): "Cover surfaces as a new technique for 3D GPR image enhancement. Archaeological applications". *Repositorio Institucional de UGR*. URI: <<http://hdl.handle.net/10481/22949>>.
- RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ, O. (2011): "Algunas reflexiones en torno a los teatros romanos de la Bética". *El Theatrum Balbi de Gades: Actas del Seminario 'El Teatro Romano de Gades. Una mirada al futuro' (Cádiz, 18-19 Noviembre de 2009)*, 335–371.
- RODRÍGUEZ OLIVA, P. (2011): "Notas sobre algunas antiguas investigaciones arqueológicas en Carteia". *Baética: estudios de Arte, Geografía e Historia* 33, 111–176.
- ROLDÁN GÓMEZ, L. (1992): "Técnicas constructivas romanas en Carteia (San Roque, Cádiz)". *Monografías de Arquitectura Romana*, 2. Universidad Autónoma de Madrid.
- ROLDÁN GÓMEZ, L., BENDALA GALÁN, M., BLÁNQUEZ PÉREZ, J., MARTÍNEZ LILLO, S., Y BERNAL CASASOLA, D. (2003): *Carteia II*. Junta de Andalucía.
- ROLDÁN GÓMEZ, L., BLÁNQUEZ PÉREZ, J. (2013): "La ciudad romana de Carteia (Cádiz) en el cambio de era: la plasmación de una ideología imperial." *Semanas de Estudios Romanos* XVI, 377-402
- SEAR, F. (1990): "Vitruvius and roman theater design". *American Journal of Archaeology* 94, 249.
- SEAR, F. (2006): *Roman Theatres: An architectural study*. Oxford.
- TEIXIDÓ, T., PEÑA, J.A. (2010): *Exploration avec géo-radar sur un versant du site archéologique de Zama, Siliana, Tunisie*. Informe técnico para l'Institut National du Patrimoine, République Tunisienne.
- TEIXIDÓ, T., PEÑA, J.A., FERNÁNDEZ, G., BURILLO, F., MOSTAZA, T., ZANCAJO, J. (2013): "Ultradense topographic correction by 3d-laser scanning in pseudo-3d ground-penetrating radar data: application to the constructive pattern of the monumental platform at the Segedai site (Spain)". *Archaeological Prospection. Online*.
- YILMAZ, Ö. (2001): *Seismic data analysis: processing, inversion, and interpretation of seismic data*. Estambul.