

# ESTUDOS ARQUEOLÓGICOS DE OEIRAS

Volume 29 • 2021

ACTAS DO XIII CONGRESSO IBÉRICO DE ARQUEOMETRIA  
(Faro, 2019)



SAPaC

**Editores Científicos: Célia Gonçalves, Daniel García Rivero, M.<sup>a</sup> Isabel Dias,  
Nuno Bicho, Ruth Taylor, Manuel García-Heras, João Luís Cardoso**

INTERDISCIPLINARY CENTER FOR ARCHAEOLOGY AND EVOLUTION  
OF HUMAN BEHAVIOUR, UNIVERSIDADE DO ALGARVE  
DEPARTAMENTO DE PREHISTORIA Y ARQUEOLOGÍA, UNIVERSIDAD DE SEVILLA  
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO / INSTITUTO TECNOLÓGICO E NUCLEAR,  
UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA  
INSTITUTO DE HISTORIA, CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
SOCIEDAD DE ARQUEOMETRÍA APLICADA AL PATRIMONIO CULTURAL  
CENTRO DE ESTUDOS ARQUEOLÓGICOS DO CONCELHO DE OEIRAS /  
CÂMARA MUNICIPAL DE OEIRAS

2021

**ESTUDOS ARQUEOLÓGICOS DE OEIRAS**

Volume 29 • 2021      ISSN: 0872-6086

- DESENHO E FOTOGRAFIA – Autores ou fontes assinaladas  
PRODUÇÃO – Gabinete de Comunicação / CMO  
CORRESPONDÊNCIA – Centro de Estudos Arqueológicos do Concelho de Oeiras  
Fábrica da Pólvora de Barcarena  
Estrada das Fontainhas  
2745-615 BARCARENA

Os artigos publicados são da exclusiva responsabilidade dos Autores.  
É expressamente proibida a reprodução de quaisquer imagens sobre as quais existam direitos de autor sem o prévio consentimento dos signatários dos artigos respectivos.

*Accepta-se permuta  
On prie l'échange  
Exchange wanted  
Tauschverkehr erwünscht*

ORIENTAÇÃO GRÁFICA E

REVISÃO DE PROVAS – Editores

PAGINAÇÃO – César Antunes

IMPRESSÃO E ACABAMENTO – Grificamares, Lda. - Amares - Tel. 253 992 735

DEPÓSITO LEGAL: 97312/96

**EXPLORACIÓN GEOFÍSICA GPR EN DOS IGLESIAS RENACENTISTAS  
ANDALUZAS: SAN SEBASTIÁN DE PUERTO REAL (CÁDIZ)  
Y SAN SEBASTIÁN DE ESTEPA (SEVILLA)**

***GPR GEOPHYSICAL SURVEY IN TWO ANDALUSIAN RENAISSANCE  
CHURCHES: SAN SEBASTIÁN, FROM PUERTO REAL (CÁDIZ)  
AND SAN SEBASTIÁN FROM ESTEPA (SEVILLA)***

Jenny Pérez-Marrero<sup>1</sup>, Domingo Martín Mochales<sup>2</sup>, José-Antonio Ruiz Gil<sup>3</sup>,  
Lázaro Lagóstena Barrios<sup>4</sup>, Pedro Trapero Fernández<sup>2</sup>, Francisco Javier Catalán González<sup>2</sup>,  
Isabel Rondán Sevilla<sup>2</sup> & Manuel Ruiz Barroso<sup>2</sup>

**Abstract**

The aims of the present work is to inform in two GPR geophysical surveys carried out in the subsoil of two Andalusian Renaissance churches with a bifrequency georadar GPR equipment, which have allowed to determine the existence of events possibly associated to the Christian burial world and modern/contemporary modifications. The detection in both churches of elements such as crypts and individual burials, as well as their disposition and location within the priority spaces of the period, confirm the effectiveness of the application of non-invasive research techniques in the study of the building substrate in this type of construction. The work has also managed to identify possible structural reinforcements of pillars, extension works and/or modifications possibly undertaken in modern times, all of which are underground. The results of the geophysics of both cases allow us to conclude that there are multiple constructive similarities following their chronological parity and with the transformations that are carried out in the churches in modern times, a product of the customs and rites of the Christian world and the policies of rationalization of space.

At the same time, the research has allowed a significant improvement in the establishment of the methodology for obtaining GPR data inside religious buildings, with the use of relative georeference systems and other auxiliary means. Consequently, the optimal performances, the appropriate GPR data densities for the correct obtaining of results and the advantages of the use of a bifrequency GPR system 200 MHz - 600 MHz are defined.

*Keywords:* history, renaissance churches, GPR geophysics, remote sensors, crypts and burials.

## 1 – INTRODUCCIÓN

La iglesia prioral de San Sebastián de Puerto Real (provincia de Cádiz, España) es una edificación religiosa cuya fecha de construcción resulta desconocida, aunque todo parece indicar que debe ser anterior a la

---

<sup>1</sup> IVAGRO, Universidad de Cádiz, España. jenny.perez@uca.es

<sup>2</sup> IVAGRO, Universidad de Cádiz, España.

<sup>3</sup> Área de Prehistoria, Universidad de Cádiz, España.

<sup>4</sup> Área de Historia Antigua, Universidad de Cádiz, España.

de la fundación de la ciudad (IZCO & PARODI, 2001, p. 13-17). La prioral posee una orientación divergente con el urbanismo hipodámico de la ciudad, lo cual es un claro indicio de que se levanta sobre las trazas de un edificio precedente. En el caso de la Iglesia de San Sebastián de Estepa (provincia de Sevilla, España), la primera mención documental del templo es de 1460 y está asociada a la descripción del arrabal en el que se localiza (RODRÍGUEZ, 2014). Dicho arrabal se organizaba en torno a una ermita extramuros relacionada con la Orden de Santiago que tenía una única nave cuyo origen es desconocido y que posiblemente esté asociada con la fundación de la Iglesia de San Sebastián de Estepa (GÓMEZ, 2014, 208). Años más tarde, en 1498, se tiene constancia documental de la existencia del templo, según la descripción que se realiza y se registra en las Actas de los Visitadores de la Orden de Santiago de Estepa (GÓMEZ, 2014, p. 208-209). A este edificio se le añadirán dos naves laterales a principios del s. XV, pero será este un intento fallido que lo llevará a un estado de ruina (GÓMEZ, 2014, p. 209). En 1568 la iglesia sufre una intervención que le dará al edificio su planta actual, diseño del maestro de obras genovés Vicente Boyol dentro de la zona de expansión moderna de la ciudad (AGUILAR Y CANO, 1888, p. 39).

Existen noticias en ambos casos de diferentes reformas estructurales en diferentes periodos, así como de la adición de elementos procedentes de otros templos: en el templo de Estepa se incorporó la portada de la iglesia de Santa Victoria en 1760 (Cit. por PAVÓN & POZO, 2006, p. 12-15), y en el puerto realeño se documentan diversas ampliaciones que conforman el proceso de expansión de la planta original que termina en el siglo XIX con la reforma de la Capilla Sacramental (IZCO & PARODI, 2001, p. 19-23).

## 2 – PROSPECCIONES GEOFÍSICAS EN EDIFICIOS RELIGIOSOS

Los trabajos de prospección geofísica GPR en ámbitos de edificios históricos y yacimientos arqueológicos se viene acometiendo desde hace décadas (CONYERS & GOODMAN, 1997) como una técnica no invasiva auxiliar a los estudios que intentan determinar las características de los materiales constructivos en monumentos, su estado de conservación, las restauraciones realizadas sobre determinados elementos, la detección de eventos geotécnicos que comprometen la estabilidad como socavaciones, la presencia de enterramientos individuales y/o colectivos, así como la existencia de otro tipo de infraestructuras asociadas a procesos de transformación histórica propios a la construcción. La mayoría de los trabajos realizados en edificios religiosos en este sentido, han empleado equipos GPR de un solo canal con una única frecuencia central (BARBA *et al.*, 2018; BLANCH, 2016; GARCÍA, 2002) siendo escasos los ejemplos del uso de GPR multicanal. Dependiendo del tipo de investigación, bien paramental o del subsuelo, se emplea equipos con diferentes rangos de frecuencia, lo que permite obtener o un mayor alcance de la señal o una mejor resolución (GRANGEIA *et al.* 2011).

Por otra parte, se ha podido comprobar que la tendencia de este tipo de trabajos es actualmente el empleo de varias técnicas geofísicas combinadas aplicadas al mismo objeto de investigación para contrastar resultados, por citar algunos ejemplos destacan los trabajos realizados en la iglesia de San Francisco de Lorca (SÁNCHEZ *et al.*, 2011), en la catedral de Tarragona (COSENTINO *et al.*, 2009) o en la basílica de Nuestra Señora de la Salud en México (PONCE *et al.*, 2004). Lo que no se había documentado hasta la actualidad son estudios comparativos que confronten el funcionamiento y los resultados de carácter histórico de un mismo equipo GPR para edificaciones religiosas coetáneas.

### 3 – OBJETIVOS

El presente trabajo tiene tres objetivos principales: el primero, la detección en el subsuelo de ambas iglesias de construcciones asociadas a los procesos históricos de los edificios como reformas, restauraciones o ampliaciones; el segundo, avanzar en la conformación de un protocolo de la aplicación de la técnica GPR bifrecuencia en el subsuelo de edificios religiosos, en donde se planteen rendimientos, formas eficaces de adquisición de datos, las posibles interferencias en los datos obtenidos y futuras cuestiones por resolver; y el tercero, comparar los resultados obtenidos en la prospección GPR en ambas iglesias renacentistas haciendo un análisis de los mismos desde una perspectiva histórica.

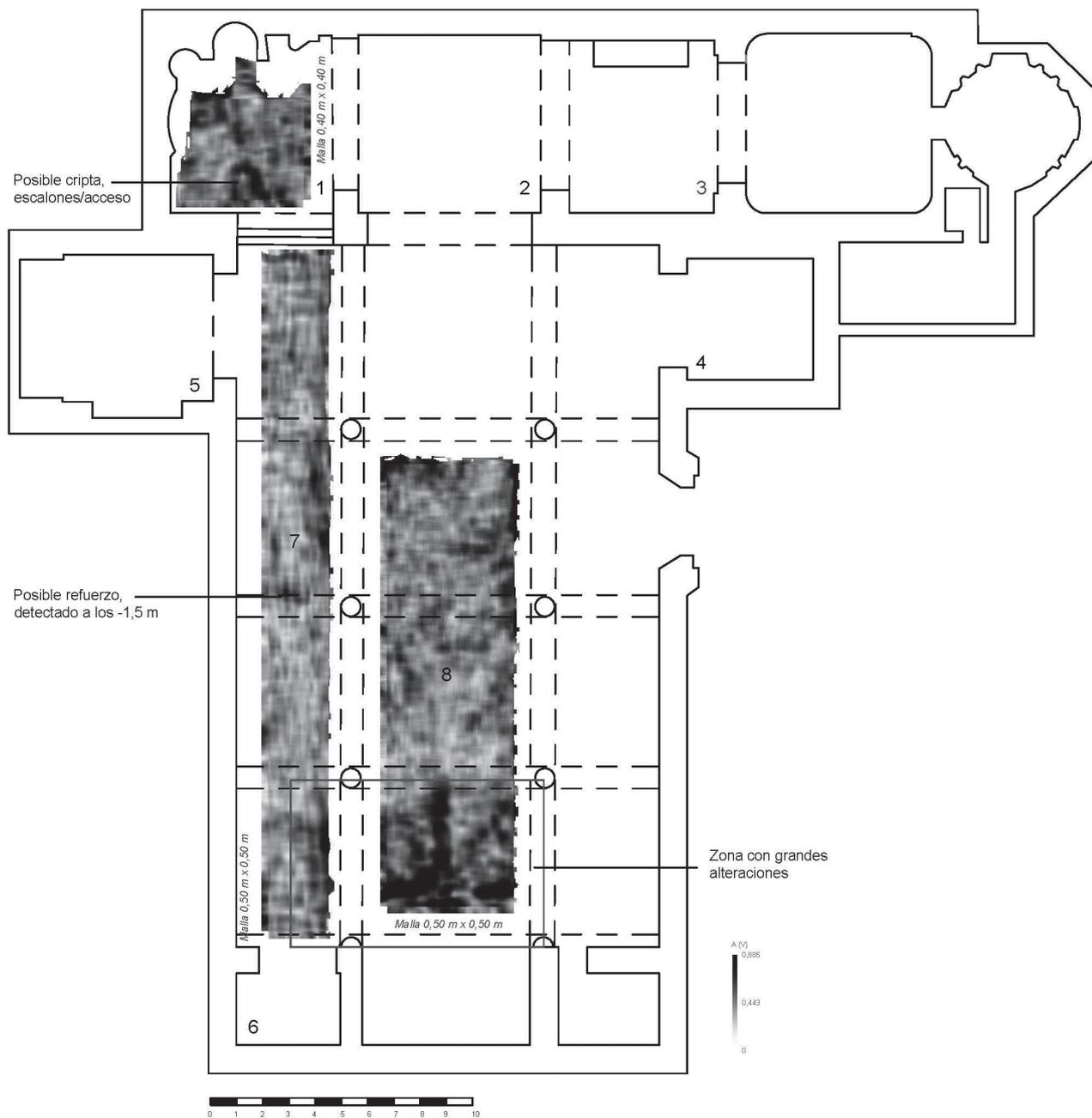
### 4 – METODOLOGÍA

El método de trabajo se puede estructurar en tres fases consecutivas: fase de adquisición de datos *in situ*, fase de postproceso en laboratorio y fase de conclusiones con comparativa de resultados. En la fase de adquisición de datos se realizaron los trabajos de configuración del equipo GPR utilizado, un Hi-Mod Ris 1A fabricado por la empresa italiana IDS geoRadar de antena blindada bifrecuencia de operación manual (200 MHz y 600 MHz). La ventana de datos requerida fue de 80 ns, con 512 muestreos por barrido para pasos de escaneo cada 4 cm. En esta fase, también se realizó la planificación previa de áreas a prospectar, que abarca: la definición de los sentidos de escaneo y la densidad de mallas de trabajo.

En el caso de la iglesia Prioral de San Sebastián se contabiliza un área explorada de unos 342,28 m<sup>2</sup> comprendidos entre la nave del evangelio, nave central y la capilla de Nuestra Señora de Lourdes. La exploración se realizó en ambos sentidos, definiéndose dos densidades de malla: la primera, de 0,40 m por 0,40 m, que se aplicó en la nave central y la capilla de Nuestra Señora de Lourdes y la segunda, de 0,50 m por 0,50 m, que fue la estipulada para la nave del evangelio.

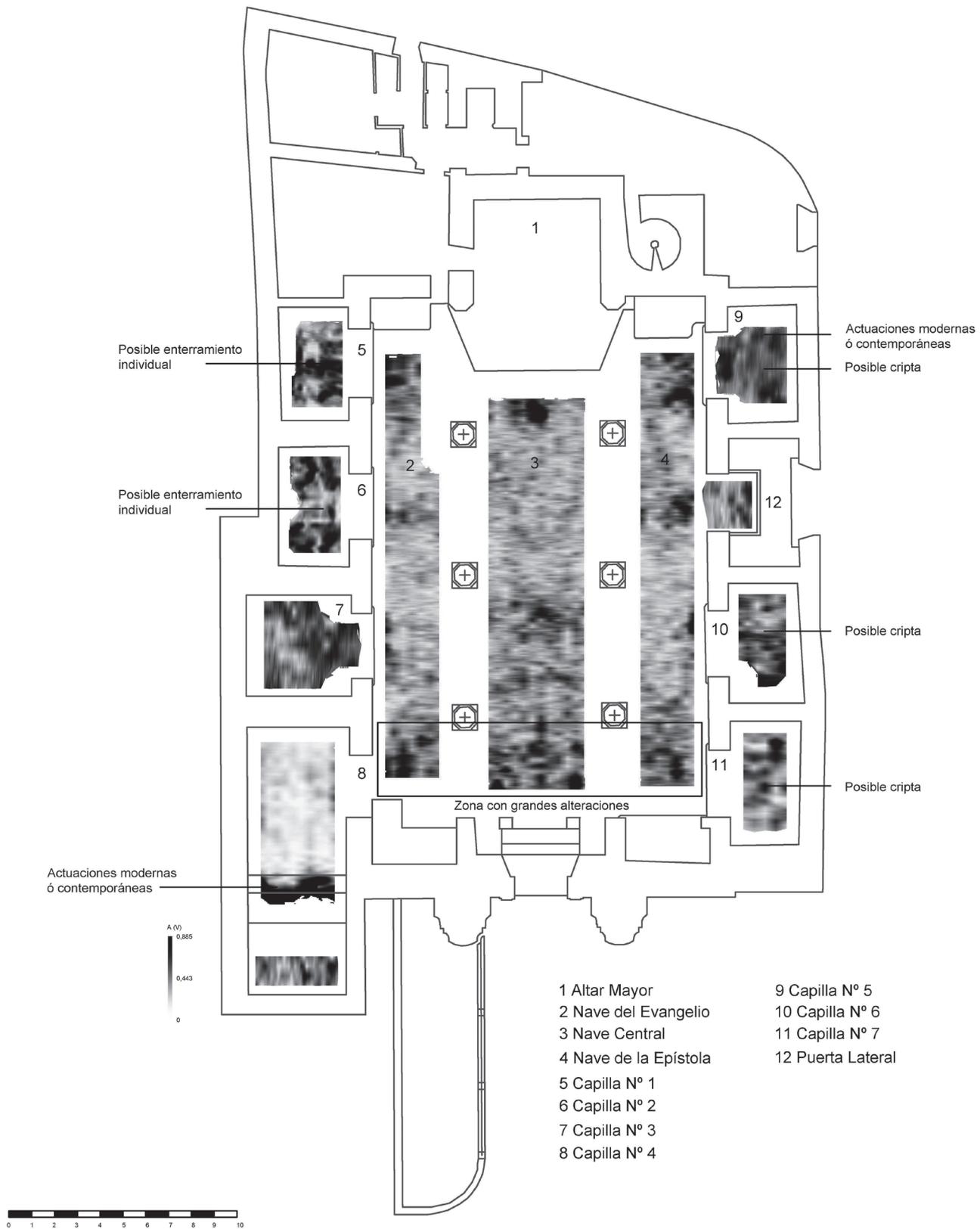
En el caso de la iglesia de San Sebastián de Estepa el área total explorada fue de 396,56 m<sup>2</sup> aproximadamente que incluye las plantas parciales de siete capillas, la nave del evangelio, la nave central, la nave de la epístola y una de las puertas de acceso al templo. La adquisición de datos GPR se realizó de forma unidireccional en todos los espacios, variando únicamente la distancia entre perfiles que, para la capilla 1 y 2 fue de 0,20 m mientras que en el resto de zonas fue de 0,40 m. Como medios auxiliares para la correcta alineación de los perfiles y mallas, se emplearon marcas deblebles en el suelo libre de mobiliario, con la correspondiente medición de distancias desde los puntos de inicio de exploración a referencias conocidas para su posterior georreferenciación.

En la fase de postproceso se realizaron los tratamientos de datos en laboratorio: la aplicación de filtros para la visualización de resultados, la obtención de radargramas, *timeslices* y tomografías. En éste caso se ha trabajado de forma exclusiva con el programa de postproceso del mismo fabricante, el software GRED HD. Los datos obtenidos en la fase de laboratorio han sido georreferenciados en las plantas de ambas iglesias a partir de las medidas de distancias a referencias conocidas, tanto en los planos de planta como en los de perfil, vectorizados para el presente trabajo en Autocad de Autodesk. De esta forma, se visualizan las alteraciones localizadas en planos de energía a escala con su continuidad en todo el ámbito explorado. Los filtros empleados y su orden de aplicación en ambos casos han sido: *bandpass* vertical (200-1500 MHz), *soil simple*, *background remove*, ganancia y migración.



- 1 Capilla de Nuestra Señora de Lourdes
- 2 Altar Mayor
- 3 Capilla del Sagrario
- 4 Capilla de los Dolores
- 5 Capilla de Nazareno
- 6 Capilla Bautismal
- 7 Nave del Evangelio
- 8 Nave Central

**Fig. 1** – Planta de la iglesia Prioral de San Sebastián (Puerto Real, España) con los resultados de la exploración geofísica GPR a -2,50 m de profundidad.



**Fig. 2** - Planta de la iglesia de San Sebastián (Estepa, España) con los resultados de la exploración geofísica GPR a -2,50 m de profundidad.

En la última fase, se hace un análisis de los elementos estructurales detectados en el subsuelo, las ventajas e inconvenientes de la aplicación de esta técnica, la definición espacial de las infraestructuras, su contextualización en la historia del monumento y los paralelos entre los dos edificios. Las comparaciones entre ambas edificaciones se han realizado en función de la detección de eventos en el subsuelo dispuestos en los planos energéticos a diferentes profundidades, del estudio particular de las señales detectadas en los perfiles individuales o radargramas y desde el conocimiento histórico de determinados acontecimientos que marcaron puntos de inflexión y que afectaron de alguna manera las decisiones adoptadas sobre la materialidad de las iglesias.

## 5 – CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido la detección y geolocalización de diferentes infraestructuras existentes en el subsuelo de ambos edificios religiosos a partir del empleo de una técnica de prospección geofísica no invasiva GPR. La profundidad alcanzada con el equipo ha sido de unos 4 m aproximadamente. En ambas iglesias se han detectado las diferentes tipologías de enterramientos típicas en los espacios religiosos cristianos. Especial interés han tenido las capillas, en donde se comprueba casi de forma sistemática la ejecución de criptas de enterramiento colectivo con la formulación arquitectónica empleada para estos espacios: abovedados, con acceso mediante escaleras de fábrica (tres a cuatro escalones) que descienden y avanzan en sentido longitudinal al eje de la central de la bóveda, bancos secaderos y nichos. En el presente trabajo ha sido viable la detección de una cripta relacionada con la cabecera de la nave del Evangelio y situada en la actual capilla de la Virgen de Lourdes de la prioral Puerto Real y otras cuatro en las capillas de la iglesia de San Sebastián de Estepa, pudiendo incluso detectarse su acceso, número de escalones, forma y dimensiones de la bóveda de cubrición. De igual forma se han identificado dos enterramientos individuales en capillas de la iglesia de San Sebastián de Estepa, específicamente las denominadas 1 y 2 en el presente trabajo. En estos casos, fue posible la determinación de las dimensiones de la fosa donde reposa el féretro y su profundidad con respecto al suelo de la capilla. Adicionalmente, la exploración ha permitido detectar posibles obras de restauración, como el refuerzo existente en la nave del evangelio de la iglesia de prioral de Puerto Real que al parecer puede asociarse a la estabilización de la cimentación de un pilar a través de su conexión con el muro de carga perimetral del sureste, cierre original de la iglesia antes de la construcción de las capillas laterales. También se han detectado obras de intervención contemporánea, con la presencia de escalones de hormigón armado, siendo destacable el existente en la capilla 4 de San Sebastián de Estepa. Existen también eventos que señalan una importante modificación del espacio subterráneo en los pies de las naves centrales, situación que se evidencia en ambos templos y que posiblemente sean obras de época moderna y que pueden estar asociadas bien al mundo funerario o a otro tipo de infraestructura tipo coros.

En resumen, se comprueba en ambos edificios que el uso funerario es el protagonista del espacio subterráneo y sus aledaños, una corriente de práctica habitual desde el bajo medioevo hasta bien entrado el siglo XVIII, cuando se asuma la introducción del modelo napoleónico de cementerio que ha llegado hasta nuestros días. Es necesario entender que, en la mentalidad de la época, la posibilidad de obtener un espacio sepulcral en suelo consagrado llevó incluso a la especulación durante este periodo con el consecuente cambio en estos edificios, en el afán de optimizar el aprovechamiento del subsuelo.

Otro hecho histórico a tener en cuenta sobre las criptas es que paulatinamente fueron despojadas de restos y destinadas a diferentes menesteres, todo ello tras la implantación progresiva de la Real Cédula<sup>5</sup> de Carlos III por la que se prohibían las inhumaciones en las iglesias (excepto prelados y patronos religiosos). Es por ello que estos espacios actualmente se pueden encontrar reaprovechados como contenedores de escombros de las diferentes obras de reforma (interiores y exteriores) que se producirían en los templos hasta bien avanzado el siglo XX.

En cuanto a la aplicación de técnicas no invasivas se recomienda que sean abordadas por un equipo multidisciplinar, con una metodología de obtención de datos que se adapte a los espacios, a la densidad de datos requerida y a la profundidad de los elementos a localizar en el subsuelo. Se debe contar de un estudio previo histórico y geológico del edificio que permita entender las alteraciones detectadas bajo la superficie explorada.

Se evidencia una mejora significativa de los resultados de la prospección GPR con mallas de trabajo densas y bidireccionales. En los casos en los que el registro sólo pueda realizarse en una dirección se recomienda acortar el espacio entre perfiles, en torno a 20 cm, siendo rigurosos en mantener el alineamiento en la captura de datos a través del empleo de medios topográficos auxiliares de precisión centimétrica. En los casos en los que las estructuras a detectar se encuentren a poca profundidad se debe explorar la reducción de la ventana de datos a menos de 80 ns y la visualización de datos obtenidos a 600 MHz. Se debe avanzar en la combinación de esta técnica con otras de carácter geofísicas no invasivo para contrastar resultados.

## REFERENCIAS

- AGUILAR Y CANO, A. (1888) – *Memorial ostipense : extracto de varios curiosos libros que se ocupan de la antigua Ostippo u Stippo y actual Estepa / arreglado para darlo á la estampa por Antonio Aguilar y Cano*. Tomo II. Estepa: Imprenta de Antonio Hermoso Cordero, p. 372.
- JIMÉNEZ MATA, J. J. (2007) – *Proyecto Básico y de Ejecución de Rehabilitación de las Fachadas. Iglesia San Sebastián - Puerto Real*. Cádiz. Archivo Municipal de Puerto Real. L. 8401-4 Exp. 0635.
- BLANCH PUERTES, L. (2016) – *Una nueva perspectiva del cartografiado del subsuelo para Restauración y Conservación del Patrimonio Histórico: Modelización y Catalogación de Registros de Georradar en Edificios Singulares Religiosos*, Tesis Doctoral, Universidad de Valencia.
- BARBA, L.; BLANCAS, J.; PECCI, A.; MIRIELLO, D.; CURA, M.; CRISCI, G.; CAPPA, M.; AGELIS DE, D. & BORA, Y. H. (2018) – Georadar investigations in the central nave of Hagia Sofia, Istanbul (Turkey). En: *Archaeological and Anthropological Sciences*, 10 (2), p. 259-268.
- CONYERS, L.; GOODMAN, D. (1997) – *Ground-penetrating radar: an introduction for archaeologists*. Colorado: Altamira Press, p. 232.
- COSENTINO, P. L.; CASAS, A.; CAPIZZI, P.; DIAZ, Y.; FIANDACA, G.; GARCÍA, E.; HIMI, M.; MARTORANA, R. & SALA, R. (2009) – Integrated Geophysical Surveys in the Tarragona Cathedral. En *Conference Proceedings, Near Surface 2009 – 15th EAGE European Meeting and Engineering Geophysics*. Dublin Ireland, 7 – 9 September 2009.
- GARCÍA CASTILLO, L. M.<sup>a</sup> (2002) – La antigua Catedral románica de Burgos. En: *Revistas de Obras Públicas* 3.424, p. 51-57.

---

<sup>5</sup> Real Cédula de 3 de abril de 1787.

- GÓMEZ DE TERREROS, M.<sup>a</sup> (2014) – El maestro Lorenzo Suárez de Figueroa y la arquitectura de la Orden de Santiago en Andalucía: Estepa y su castillo como referentes. *Cuadernos de Estepa* [En línea]. Estepa 3, p.188-225. [Consult. 11 febr. 2020]. Disponible en: <http://www.estepa.es/export/sites/estepa/.galleries/DOCUMENTOS-general/DOCUMENTOS-cuadernos/cuadernosdeestepa03.pdf>
- GRANGEIA, C.; MATIAS, M.; FIGUEIREDO, F.; HERMOZILHA, H.; CARVALHO, P. & SILVA, R. (2011) – A multi-method high-resolution geophysical survey in the Machado de Castro museum, central Portugal. En: *Journal of Geophysics and Engineering* 8 (2011), p. 351-365.
- IZCO REINA, M. & PARODI ÁLVAREZ, M. (2001)– *La iglesia Parroquial de San Sebastián de Puerto Real (Medio Milenio de Historia)*. Sevilla: Padilla Libros Editores & Libreros, p. 157.
- RODRÍGUEZ BLANCO, D. (2014) – La Encomienda Santiaguista de Estepa en la política del reino de Sevilla. *Cuadernos de Estepa* [En línea]. Estepa 3, p. 22-57. [Consult. 11 febr. 2020]. Disponible en: <http://www.estepa.es/export/sites/estepa/.galleries/DOCUMENTOS-general/DOCUMENTOS-cuadernos/cuadernosdeestepa03.pdf>
- PAVÓN TORREJÓN, G. & POZO BARAJAS, A. DEL (2006) – Un Diálogo en el Tiempo. En *Iglesia de San Sebastián. El renacer de un templo*. Estepa: Ayuntamiento de Estepa, p. 28-31.
- PONCE, R.; ARGOTE, D.; CHÁVEZ, R. & CÁMARA, M. E. (2004) – Empleo de los métodos geofísicos en la prospección arqueológica urbana: la basílica de nuestra señora de la salud, Patzcuaro, México. En: *Trabajos de Prehistoria*, 61 (2), p. 11-23.
- SÁNCHEZ URIOS, J.; SÁNCHEZ SÁNCHEZ, A. & SÁNCHEZ MARÍN, R. (2011) – Georradar y tomografía eléctrica capacitiva para la determinación de anomalías geofísicas en el subsuelo de la iglesia de San Francisco tras el terremoto de Lorca. En: *Tierra y Tecnología* 40 (Segundo semestre 2011), p. 15-20.