

# Arqueología Virtual en Dispositivos Móviles. Un Caso Práctico: Patrimonio Defensivo Medieval.

José M. Noguera<sup>1</sup>, María V. Gutiérrez<sup>2</sup>, Juan C. Castillo<sup>2</sup>, Rafael J. Segura<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Gráficos y Geomática de Jaén. Departamento de Informática.

<sup>2</sup>Grupo de Investigación del Patrimonio Arqueológico de Jaén. Departamento de Patrimonio Histórico. Universidad de Jaén. Jaén, España.

## Resumen

La arqueología virtual es un interesante canal de promoción del patrimonio con fines turísticos. En este trabajo proponemos aplicar técnicas de realidad virtual en dispositivos móviles a fin de aprovechar las ventajas únicas que brindan dichas plataformas: ubicuidad y localización. Primeramente, describimos una arquitectura cliente-servidor capaz de proporcionar mapas 3D realistas en dispositivos móviles en función de la localización del usuario. A continuación, describimos un caso de estudio que consiste en aplicar dicha arquitectura para implementar una guía turística en 3D. El objetivo de esta guía es divulgar y promocionar la organización territorial y las edificaciones defensivas existentes en el "Concejo de Baeza" (España) durante la baja Edad Media. Si bien, la guía se puede extrapolar fácilmente a otros periodos y áreas geográficas.

**Palabras Clave:** COMPUTACIÓN MÓVIL, REALIDAD VIRTUAL, MAPAS 3D, TURISMO, PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO.

## Abstract

Virtual archaeology is an interesting way to promote cultural heritage with touristic purposes. This paper proposes to apply virtual reality techniques on mobile devices in order to exploit the unique features provided by these devices: ubiquity and location-awareness. Firstly, we propose a client-server framework that provides realistic 3D maps on mobile devices according to the user's location. Following, we describe a study case that applies this technology to implement a 3D touristic guide. This guide aims at promoting the territorial organization and defensive buildings during the low Middle Ages in the "Council of Baeza", Spain. However, the proposed guide can be easily expanded to cover any geographic area and historic age.

**Key words:** MOBILE COMPUTING, VIRTUAL REALITY, 3D MAPS, TOURISM, ARCHAEOLOGICAL HERITAGE.

## 1. Introducción

La utilización del patrimonio natural y cultural con fines turísticos es un importante generador de riqueza en países como España. No obstante, existe un extenso legado patrimonial ubicado en zonas rurales que queda fuera de las rutas habituales de turismo. Es por ello que urge encontrar vías atractivas para dar a conocer y poner en valor esta riqueza patrimonial oculta.

Un método de promoción habitual es la elaboración de guías turísticas impresas o multimedia (portales web, etc.). Estas guías tienen una doble utilidad: *a)* para dar a conocer destinos potencialmente interesantes; y *b)* como referencia antes y durante la visita. Las guías suelen incorporar mapas y planos para ayudar al turista a orientarse y a situarse espacialmente. Pero interpretar estos mapas requiere de ciertos conocimientos topográficos para relacionar el entorno 3D que rodea al usuario con la representación abstracta en 2D que ofrece el mapa. En cambio, una vista virtual en 3D puede asociarse inmediatamente y de manera intuitiva con el paisaje que rodea al usuario (NURMINEN, 2008). Por tanto, y dada la creciente competitividad entre destinos turísticos, la realidad virtual ha emergido como un canal de promoción y divulgación atractiva e interactiva, capaz de aportar un interesante elemento diferenciador (BAEZA, 2011).

Existen herramientas de realidad virtual aplicadas al turismo que permiten realizar vuelos interactivos sobre comarcas o lugares de interés turístico y/o patrimonial. Ejemplos son algunos portales web de turismo, puntos de información turística táctiles, aplicaciones para PC basadas en *Google Earth*, etc. Pero, por lo general, estas herramientas no se encuentran disponibles cuando más necesarias son, esto es, cuando el usuario ya se encuentra de viaje. Resulta clara la utilidad de disponer de una herramienta accesible en cualquier lugar y momento que proporcione información adecuada según la posición geográfica en la que se encuentre el usuario.

En los últimos años, la computación móvil ha tenido un espectacular auge. Según (INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION, 2011), a finales de 2010 la tasa de penetración de la telefonía móvil en los países desarrollados superaba el 100%, y el porcentaje de abonados a banda ancha móvil era del 46%.

Esta popularización de los dispositivos móviles (teléfonos inteligentes, tabletas...) ha provocado que sus características técnicas sean cada día mejores. Además, la mayoría de dispositivos modernos proporcionan conectividad ubicua a Internet y capacidad de detectar tanto la localización geográfica como la orientación del usuario (CAPIN, 2008). Estas características hacen que estos dispositivos sean plataformas

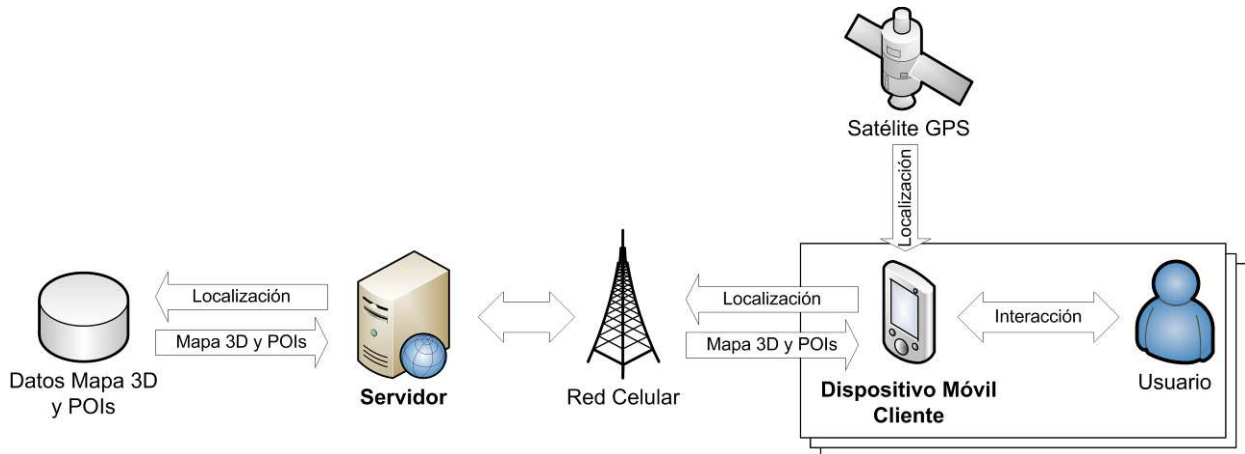


Figura 11. Arquitectura cliente-servidor.

ideales para la implementación Sistemas Basados en la Localización (LBS, de “Location Based Services”).

La herramienta que aquí presentamos podría resumirse como una aplicación de realidad virtual para dispositivos ubicuos, de manera que éstos se conviertan en un medio de divulgación y promoción del patrimonio natural y arqueológico. Las aportaciones de este trabajo son las siguientes:

- En primer lugar, se describe una infraestructura cliente-servidor que, empleando geo-localización, posibilita la generación de una representación virtual en 3D realista del entorno geográfico que rodea al usuario en su dispositivo móvil. Esta representación virtual se aumenta con puntos de interés (POIs) naturales y culturales (accidentes geográficos, monumentos, yacimientos arqueológicos, fortalezas, etc.). Dicha recreación puede sobrevolarse o visualizarse desde el mismo punto y orientación en la que se encuentra físicamente el usuario. Por tanto, el usuario puede situarse espacialmente a sí mismo y a los lugares de interés que está contemplando de una forma inmersiva y directa.
- En segundo lugar, este artículo describe un caso de estudio que utiliza esta tecnología móvil para implementar una guía turística 3D de Andalucía Oriental (España). En concreto, la guía permite visitar virtualmente las fortificaciones defensivas medievales de la provincia de Jaén (castillos, atalayas, etc). Ello permite comprender su ubicación estratégica, así como vislumbrar el terreno visible desde cada fortificación. Nótese que la aplicación puede extenderse fácilmente a otras áreas geográficas y otros elementos de interés cultural y/o natural.

El artículo se estructura de la siguiente forma. La Sección 2 describe la metodología empleada en el diseño y construcción de la aplicación de visualización terrenos en dispositivos móviles. La Sección 3 muestra cómo esta tecnología puede aplicarse en el conocimiento y estudio del patrimonio arqueológico. La Sección 4 muestra un estudio empírico que permite validar el rendimiento de la solución propuesta. Finalmente, la Sección 5 concluye el trabajo.

## 2. Herramientas y Métodos

En esta sección describimos el sistema de navegación en tiempo real sobre mapas 3D que forma la base de nuestra guía interactiva. Este sistema ha sido diseñado atendiendo a dos criterios principales: usabilidad y eficiencia en dispositivos móviles con prestaciones limitadas.

### 2.1. Visualización de Mapas en 3D

La computación móvil ofrece una serie de ventajas inéditas en otros entornos y que ha sido la razón de su éxito: ubicuidad, conectividad y localización geográfica. No obstante, los dispositivos móviles requieren de una batería para su funcionamiento, por lo que procesador, unidad de procesamiento gráfico (GPU), memoria, sistema operativo, etc. son diseñados anteponiendo la eficiencia energética al rendimiento (CAPIN, 2008). Por tanto, el software también debe diseñarse con esta limitación en mente.

El elevado tamaño de los modelos de mapas 3D manejados en la actualidad (del orden de gigabytes o terabytes) hace inviable su almacenamiento en la limitada memoria de un dispositivo móvil. Para solucionar este problema, empleamos una técnica de visualización cliente-servidor que permite que tan solo sea preciso almacenar un pequeño subconjunto del mapa 3D disponible en la memoria del dispositivo móvil (NOGUERA, 2011). La Figura 11 ilustra nuestro marco de trabajo.

Existe un servidor remoto que almacena todo el conjunto de datos del terreno. Entonces, el dispositivo móvil cliente obtiene su localización mediante GPS y la comunica mediante red celular (3G ó 2G) al servidor. Finalmente, el cliente procede a descargar progresivamente una representación simplificada de la geometría 3D del terreno situado en la inmediación del turista. Este terreno se visualiza de forma local y en tiempo real por el dispositivo móvil. Para ello, utilizamos una estructura de datos multiresolución conocida como quadtree (SAMET, 1984), (PAJAROLA, 1998). La representación del mapa utilizada por el cliente se actualiza progresivamente conforme el usuario se desplaza a lo largo del entorno virtual, descargando nuevas partes de terreno desde el servidor conforme sean necesarias.

No obstante, hemos de tener en cuenta que muchos dispositivos móviles carecen de la capacidad gráfica suficiente como para visualizar entornos grandes y complejos. Para solventar este



Figura 12. La aplicación ejecutándose en un teléfono iPhone. Se muestra el territorio guardado desde el castillo de Albánchez de Mágina (Jaén, España) y los principales municipios visibles.

problema, proponemos efectuar una visualización distribuida mediante la utilización de impostores (imágenes 2D empleadas para reemplazar geometría 3D real) generados por el servidor remoto bajo demanda.

La tarea de visualización de la escena se reparte entre el cliente y el servidor de la siguiente forma. El cliente descarga del servidor la geometría del terreno cercano al observador, y la visualiza de forma local según se ha explicado anteriormente. En cambio, el servidor tiene la responsabilidad de dibujar el terreno alejado según la posición del cliente. Este terreno alejado se proyecta en una imagen panorámica bidimensional, la cual se comprime y se envía al cliente. La imagen final mostrada al usuario se obtiene mediante composición de imágenes, tal y como se muestra en la Figura 13.

La parte dibujada por el cliente se redibuja en tiempo real cada vez que el usuario se mueve. En cambio, la parte alejada solo se vuelve a recalcular cuando el usuario se desplaza una distancia que supere cierto umbral. Esta actualización retrasada ahorra ancho de banda y recursos del servidor.

Este método de visualización distribuido permite ampliar la distancia de visionado sin con ello incrementar la complejidad geométrica de la escena. Por tanto, permite incrementar la velocidad de visualización en dispositivos menos potentes,

proporcionando una experiencia de usuario más homogénea entre distintos modelos de dispositivos.

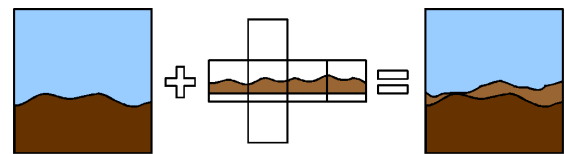


Figura 13. Síntesis del terreno cercano (dibujado por el cliente) y el terreno lejano (dibujado por el servidor).

Por otro lado, y exceptuando la interfaz de usuario 2D, la aplicación móvil cliente no ha sido programada para ninguna plataforma concreta. En el desarrollo hemos empleado el lenguaje de programación C++ y la librería gráfica OpenGL|ES. Estas herramientas software nos proporcionan una eficiencia máxima en dispositivos móviles y una óptima portabilidad del software. Actualmente, nuestra aplicación cliente soporta diversas plataformas, incluyendo iOS (iPhone, iPad), Windows y GNU/Linux.

## 2.1. Usabilidad

Nuestra aplicación permite mostrar al usuario una representación virtual 3D del mundo donde éste se encuentra físicamente emplazado. Para incrementar la sensación de inmersión, nuestra aplicación hace coincidir la vista sobre el mundo virtual con la vista que tiene el usuario del mundo físico. Esto se lleva a cabo obteniendo la localización y orientación del usuario mediante el receptor de GPS y la brújula incorporada en la mayoría de dispositivos móviles actuales. Estos valores se emplean para dirigir la posición y orientación de la cámara virtual. La Figura 12 ilustra estas ideas.

Este movimiento automático reduce y simplifica la interacción requerida por el usuario para manejar la aplicación. No obstante, el usuario también tiene la posibilidad de utilizar el teclado o la pantalla táctil para controlar explícitamente la navegación a lo largo del espacio geográfico, a fin de localizar zonas u elementos de su interés.

Nuestra aplicación visualiza el mapa bajo una vista en perspectiva, permitiendo a los usuarios visualizar grandes áreas incluso en pantallas de dimensiones reducidas. En consecuencia, los usuarios pueden familiarizarse con la zona que están visitando.

## 3. Un Caso Práctico: la Arqueología Defensiva Medieval en nuestro Dispositivo Móvil.

En la Sección anterior nos hemos centrado en explicar de manera pormenorizada la metodología a seguir para visualizar grandes mapas 3D en dispositivos móviles. Sin embargo, este trabajo no estaría completo si no se adjunta un caso práctico que haga uso de la tecnología desarrollada, que es lo que a continuación planteamos desde este estudio.

### 3.1. Justificación

La herramienta que estamos presentando es un software eficaz y útil para la divulgación y el conocimiento del patrimonio paisajístico en el que nos vemos inmersos. Por ello, es muy interesante en aquellas disciplinas científicas que cuentan con el medio natural como punto de partida para su investigación, entre los que citar biólogos, naturalistas, etc. Pero igualmente pueden beneficiarse de esta nueva técnica informática otros colectivos de “a pie”, es decir, senderistas, y turistas en general, que se acercan al territorio rural como una actividad recreativa, sin más interés que el propio disfrute del rico patrimonio natural, arqueológico y etnológico del lugar.

Es por ello, que hemos considerado oportuno tratar de explicar la utilidad de esta nueva herramienta desde el campo de la arqueología, y de manera más detallada desarrollaremos nuestra investigación desde la rama de la arqueología defensiva medieval, un tema bastante atractivo para el turismo rural en general.

Nuestro marco de actuación se sitúa en la provincia de Jaén, por ser considerado el espacio con más castillos, torres o atalayas diseminadas por el territorio por kilómetros cuadrados de toda la Península Ibérica dado su carácter fronterizo durante buena parte de la Edad Media. Además, junto a este factor meramente divulgativo, debemos tener en cuenta que Jaén, ha sido

considerada desde tiempos remotos como un “lugar de paso”, como ha sido denominada por grandes eruditos de los siglos XVIII y XIX.

Durante la Edad Media tuvo lugar una Batalla de gran magnitud que puso en jaque el dominio musulmán en la península, denominada por grandes cronistas de la época como “*La Batalla de las Navas de Tolosa o al-Iqab*” (1212) (GARCÍA, 2008), que enfrentó en las estribaciones de Sierra Morena a dos coaliciones militares, un ejército cruzado comandado por el rey de Castilla Alfonso VIII, que contó con el apoyo de los reyes Pedro II de Aragón y Sancho VII de Navarra, y de la otra parte un contingente islámico bajo la dirección del Califa almohade *Muhammad al-Nasir*. Un enfrentamiento que trajo consigo multitud de consecuencias, entre ellas el traslado de la frontera al Sur de la infranqueable Sierra Morena, el establecimiento definitivo de los ejércitos cristianos en el Valle del Guadalquivir, el inicio de la conquista de Andalucía y sus principales centros urbanos.

En los momentos previos a la actuación, los almohades, decidieron reforzar y construir estructuras defensivas con un claro control visual del territorio, distribuidas en zonas estratégicas, con el fin de frenar las escaramuzas castellanas que, cruzando Jaén, pretendían llegar hasta la ciudad de la Alhambra. Sin embargo, la victoria castellana dio paso a una enorme reestructuración de estas defensas almohades a la vez que se iban construyendo nuevos recintos defensivos, que se han ido conservando, (algunos en pésimo estado) hasta la actualidad.

Este legado, nos ha motivado a desarrollar una guía interactiva 3D de estas fortificaciones, siendo para ello imprescindible un estudio histórico-arqueológico previo, que posteriormente será volcado en nuestro software, de manera que el visitante no sólo podrá obtener una imagen estática del elemento seleccionado, sino que igualmente obtendrá una descripción detallada de dicha estructura defensiva.

### 3.2. Implementación

El primer paso para construir la guía fue almacenar en nuestro servidor el modelo digital del terreno del área geográfica estudiada y sus alrededores. En nuestro caso, ésta cubre Andalucía Oriental (provincias españolas de Jaén, Granada y Almería), con una superficie aproximada de 34800km<sup>2</sup>, ver Figura 14. El modelo digital del terreno se ha extraído de (JUNTA DE ANDALUCÍA, 2005). La resolución del mapa de alturas es de 10m entre muestras adyacentes, con una resolución vertical de 0,1m. La resolución de la ortofotografía es de 5m por píxel.

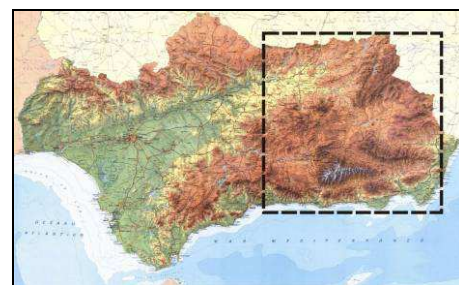


Figura 14. Área geográfica representada en 3D. Fuente: (JUNTA DE ANDALUCÍA, 2005).

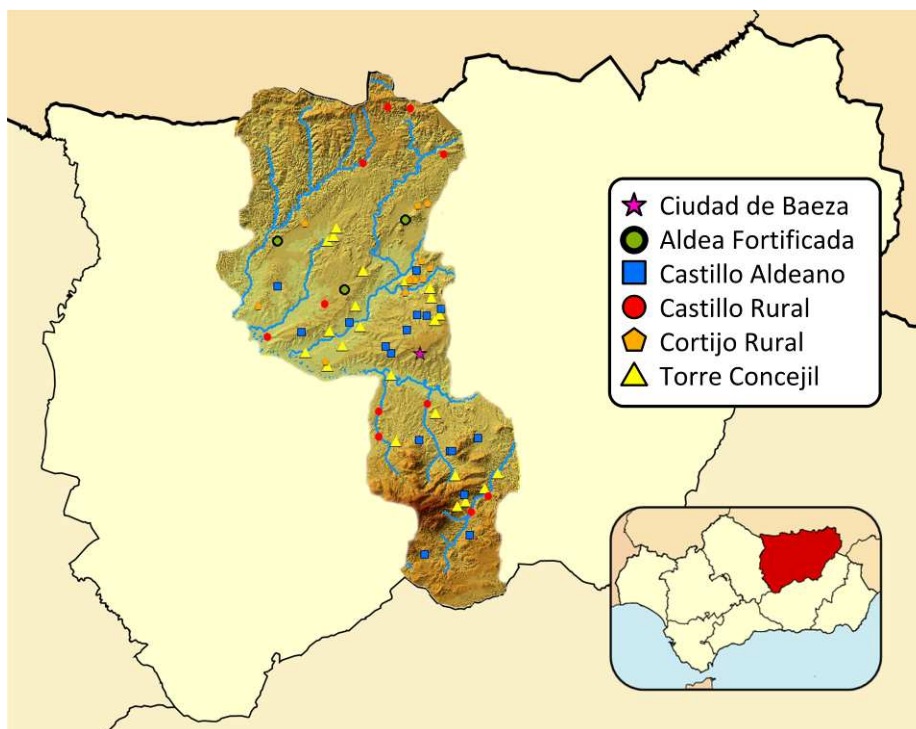


Figura 15. Puntos de interés arqueológicos en el Concejo de Baeza.

A continuación, y puesto que la provincia de Jaén es bastante extensa en lo que a estructuras defensivas se refiere, nos hemos centrado tan sólo en un determinado espacio que a *grosso modo* abarca desde Sierra Morena hasta la serranía de Mágina, que ha pasado a denominarse como el “*Concejo de Villa y Tierra de Baeza*” (RODRÍGUEZ, 1978), actualmente en proceso de investigación y revisión histórica (CASTILLO et al., 2010).

De esta manera, el segundo paso en la construcción de nuestra guía fue representar y analizar los diferentes recintos defensivos distribuidos por el territorio. Se efectuó una primera aproximación *in situ* a las distintas fortificaciones, se georreferenciaron todos los elementos (GUTIÉRREZ et al., 2011) y finalmente se introdujeron en nuestro sistema. La Figura 15 muestra gráficamente el territorio del Concejo de Baeza y el emplazamiento de los recintos defensivos georreferenciados contemplados.

Con esto conseguimos un corpus arqueológico de más de 50 estructuras defensivas, cuya tipología se desglosa en la Tabla 1. Estas estructuras son representadas en nuestro dispositivo móvil mediante la metáfora del “*punto de interés*” (POI, del inglés “*point of interest*”). Un POI servirá para ubicar gráficamente sobre el mapa 3D el elemento de interés (en este caso arqueológico) georreferenciado.

Tipología	Número de POIs
Ciudad amurallada (Baeza)	1
Aldea fortificada	3
Castillo aldeano	17
Castillo rural	13
Torre concejil	20

Tabla 1. Distribución de POIs utilizados en nuestro sistema atendiendo a su tipología.

La clasificación de cada uno de estos elementos defensivos ha sido objeto de un arduo proceso de estudio, atendiendo a la estructura piramidal en la que se distribuye el territorio durante la Baja Edad Media. En la cúspide estaría la ciudad amurallada, Baeza, como cabeza de un amplio distrito administrativo y político, de la que dependerán una serie de aldeas, y en un escalón inferior se situarían los cortijos y otras entidades menores de población, entre las que se incluirían torres y atalayas diseminadas por el territorio.

Un caso aparte, son las Aldeas Fortificadas, éstas son identificadas como parte de la estructura territorial de Baeza, pero a diferencia de las otras aldeas, en este caso, no dependen política y administrativamente de la ciudad, sino que van adquiriendo un rango mayor de autonomía, y por lo tanto deben ser consideradas histórica y arqueológicamente como una entidad aparte (GUTIÉRREZ et al., 2011).

### 3.3. Funcionalidad de la Guía 3D

Una vez el usuario ejecute la aplicación, el dispositivo móvil obtiene las coordenadas físicas del usuario mediante GPS, establece una conexión con el servidor y le envía las coordenadas. En respuesta, el servidor le proporciona una representación virtual del territorio centrado en dicha localización. Esta recreación es enriquecida mediante la adición de los citados POIs histórico-arqueológicos y se actualiza en tiempo real conforme el usuario se desplace o gire su línea de visión. El usuario también tiene posibilidad de desplazarse a voluntad sobre el mapa 3D deslizando su dedo sobre la pantalla, para así sobrevalorar la zona de su interés. Pulsar sobre un POI permite acceder a información adicional de carácter multimedia, tal y como se ilustra en la Figura 16.

La aplicación brinda la interesante posibilidad de permitir al usuario visualizar de manera eficaz e intuitiva el área geográfica en la que se encuentra. Gracias a ello, nuestra herramienta permite al turista lo siguiente:

- Comprender la distribución espacial de los distintos asentamientos ubicados por el territorio y la estrategia social y política seguida para su organización, facilitando al usuario la construcción de un mapa cognitivo del área en la que se encuentra.
- Identificar los accidentes geográficos que motivaron la construcción de los distintos asentamientos y entidades defensivas del territorio, ofreciendo de esta forma una ingente cantidad de información de incalculable valor desde el punto de vista didáctico y en este caso, del Patrimonio Histórico, en general, y de la arquitectura militar en particular.
- Recrear la vista panorámica desde cualquier emplazamiento. De esta forma, es posible visualizar el territorio guardado por cada estructura defensiva, lo que permite comprender su función defensiva. Por ejemplo, en la Figura 12 se muestra una comparación entre la vista real desde el castillo de Albánchez de Mágina y la recreación virtual proporcionada por nuestra herramienta móvil.
- Obtener *in-situ* anotaciones explicativas desde cualquier emplazamiento arbitrario del territorio, lo que facilita la interpretación del paisaje observado. Por ejemplo, en la Figura 12 el sistema señala los principales elementos visibles desde el castillo (asentamientos humanos, otros castillos, cumbres, etc.). En este sentido, nuestra herramienta permite reemplazar a los paneles descriptivos emplazados habitualmente en lugares con vistas pintorescas.



Figura 16. Información multimedia asociada a un POI arqueológico.

#### 4. Resultados y Discusión

La solución propuesta ha sido implementada y sometida a experimentación a fin de demostrar que su rendimiento, interactividad y consumo de ancho de banda son adecuados y

viabiles. Las redes inalámbricas 3G (por ejemplo, UMTS) proporcionan mayor ancho de banda y tiempos de respuesta que las 2G (como GPRS). No obstante, en áreas rurales GPRS suele ser la única red disponible.

Nuestra experimentación ha consistido en realizar vuelos rectilíneos a altitud constante sobre el terreno y velocidad constante de 150 km/h en un dispositivo iPhone 3GS. Para la experimentación, se ha empleado el terreno *Puget Sound*, conjunto de datos ampliamente utilizado en la literatura para validar técnicas de visualización de terrenos.

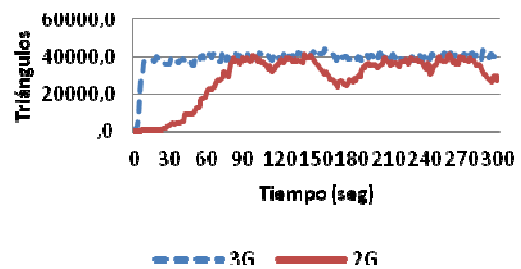


Figura 17. Triángulos visualizados durante el vuelo para distintos tipos de redes celulares.

Las curvas de la Figura 17 muestran el número de triángulos visualizados para representar la escena a lo largo del experimento. Se comparan los resultados al emplear una red 3G (UMTS) y una red 2G (GPRS). Puede apreciarse como con ambos tipos de redes, nuestro sistema es capaz de mantener un número estable de triángulos a lo largo del experimento, lo que se traduce en una calidad constante. Únicamente se aprecian diferencias en el tiempo de carga inicial de la escena, sensiblemente menor con red UMTS.

En ambos casos, el rendimiento de la aplicación se mantiene sobre los 20 fotogramas por segundo. Obsérvese que éste es un rendimiento muy satisfactorio considerando que estamos dibujando 40.000 triángulos por marco de animación en un dispositivo iPhone 3GS. Esta complejidad geométrica es muy elevada considerando el reducido tamaño de pantalla, y se ha empleado para estudiar el rendimiento de la aplicación en situaciones de alta carga. Como ejemplo, la Figura 12 se compone de aproximadamente 31.000 triángulos. Un estudio más detallado del rendimiento puede encontrarse en (NOGUERA, 2011).

#### 5. Conclusiones y Trabajos Futuros

En este artículo hemos presentado una arquitectura software cliente-servidor capaz de proporcionar una recreación virtual realista del entorno paisajístico que rodea al usuario en un dispositivo móvil. Se han descrito las estrategias y métodos empleados para facilitar una experiencia de usuario fluida e intuitiva.

<sup>5</sup> Disponible para su descarga en la dirección: [http://www.cc.gatech.edu/projects/large\\_models/ps.html](http://www.cc.gatech.edu/projects/large_models/ps.html) [Último acceso: 20-Junio-2012].

A continuación, se ha presentado un caso práctico que utiliza esta arquitectura para implementar una guía turística móvil en 3D para la provincia de Jaén (España). Esta guía ha requerido una exhaustiva catalogación de elementos patrimoniales medievales de naturaleza defensiva y su introducción en el sistema. La guía brinda interesantes posibilidades, como una visualización interactiva y didáctica que facilita la comprensión y motivación de los emplazamientos defensivos.

Finalmente, nuestros experimentos demuestran que nuestra solución es verdaderamente realista desde un punto de vista

tecnológico, al ser capaz de proporcionar un rendimiento satisfactorio incluso con redes tan limitadas como las 2G y en dispositivos móviles de amplio uso.

Como trabajos futuros, planeamos mejorar nuestra guía con la introducción de información vectorial como por ejemplo, rutas de interés turístico. También planeamos realizar una prueba piloto con usuarios reales que nos permita evaluar la aceptación de nuestra herramienta, así como obtener información que nos permita seguir mejorándola.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía y la Unión Europea (fondos FEDER) mediante el proyecto de investigación P07-TIC-02773.

## Referencias

- BAEZA, U. (2011): “Realidad Virtual para la dinamización de entornos rurales. Un caso práctico: Red Parque Cultural”, en *Virtual Archaeology Review*, Volumen 2, Número 3, Abril 2011, pp. 105-108.
- CAPIN, T., PULLI, K., AKENINE-MÖLLER, T. (2008): “The state of the art in mobile graphics research”, en *IEEE Computer Graphics and Applications*, 28 (4) pp. 74–84. doi:10.1109/MCG.2008.83.
- CASTILLO ARMENTEROS, JC; GUTIÉRREZ CALDERÓN, MV. (2010): “El Control del Territorio en la Comunidad de Villa y Tierra de Baeza (Jaén). Apuntes desde la Arqueología Espacial”, en *II Simposio Internacional sobre Castelos. Fortificações e território na península Iberica e no Magreb. Séculos VI-XVI*. Óbidos (Portugal), 2010.
- GARCÍA FITZ, F. (2008): *Las Navas de Tolosa*. Editorial Ariel.
- GUTIÉRREZ CALDERÓN, MV; CASTILLO ARMENTEROS, JC. (2011): “Los sistemas de Información Geográfica como herramienta arqueológica: La aplicación en el Concejo de Villa y Tierra de Baeza en la Baja Edad Media”, en *I Congreso Internacional “El patrimonio Cultural y Natural como motor de desarrollo: investigación e innovación”*. Jaén, 2011.
- INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (2011): “Measuring the Information Society”. ISBN 92-61-13801-2. Disponible en World Wide Web: <http://www.itu.int/ITU-D/ict/publications/idi/index.html> [último acceso: 17-Mayo-2012].
- JUNTA DE ANDALUCÍA (2005): “Modelo Digital del Terreno de Andalucía: Relieve y Orografía a resolución 10 m”. Consejería de Obras Públicas y Transportes, Consejería de Agricultura y Pesca, Consejería de Medio Ambiente. DVD.
- NOGUERA, J.M., SEGURA, R.J., OGÁYAR, C.J., JOAN-ARINYO, R. (2011): “Navigating large terrains using commodity mobile devices”, en *Computers & Geosciences*, Volume 37, Issue 9, September 2011, pp. 1218-1233. doi: 10.1016/j.cageo.2010.08.007.
- NURMINEN, A. et al. (2008): “Designing interactions for navigation in 3D mobile maps”, en *Map-based Mobile Services, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 198–227.
- PAJAROLA, R. (1998): “Large scale terrain visualization using the restricted quadtree triangulation”, en *VIS '98: Proceedings of the conference on Visualization '98*, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA, 1998, pp. 19–26.
- RODRIGUEZ MOLINA, J. (1978): *El reino de Jaén, en la Baja Edad Media. Aspectos demográficos y económicos*. Editorial Universidad de Granada.
- SAMET, H. (1984): “The quadtree and related hierarchical data structures”, en *ACM Computing Surveys* 16 (2), pp 187–260. doi:<http://doi.acm.org/10.1145/356924.356930>.