

# Dispositivos Móviles como Guías 3D para el Conocimiento del Patrimonio Arqueológico

José M. Noguera, Rafael J. Segura y Carlos J. Ogáyar

Departamento de Informática. Universidad de Jaén. Jaén. España

---

## Resumen

*Este trabajo describe una arquitectura cliente servidor que permite mostrar una representación 3D realista del terreno que rodea físicamente al usuario en dispositivos móviles. Sobre esta representación se superpone información georreferenciada de carácter cultural y arqueológico. Aplicando esta arquitectura, hemos construido una guía ubicua que permite divulgar y profundizar en el estudio de la organización territorial y las edificaciones defensivas existentes en el "Concejo de Baeza" (España) durante la baja Edad Media. Si bien, la aplicación fácilmente se podría extrapolar a otros periodos y áreas geográficas.*

**Palabras Clave:** COMPUTACIÓN MÓVIL, VISUALIZACIÓN DE TERRENOS, TURISMO, PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO.

---

## Abstract

*This paper describes a client-server framework that provides users with a realistic 3D representation of the terrain around them on mobile devices. This representation is populated with georeferenced cultural and historic entities. By using this framework, we have built an ubiquitous guide that facilitates the promotion and knowledge of the territorial organization and defensive buildings during the low Middle Ages in the "Council of Baeza", Spain. However, the proposed tool can be easily expanded to cover any geographic area and historic age.*

**Key words:** MOBILE COMPUTING, TERRAIN RENDERING, TOURISM, ARCHAEOLOGICAL HERITAGE.

---

## 1. Introducción

Actualmente existe una importante concienciación con la conservación y la puesta en valor del patrimonio natural y cultural. La utilización de este patrimonio con fines turísticos se está transformando en un importante generador de riqueza en zonas rurales del interior. Habitualmente, los turistas suelen valerse de guías multimedia como referencia para sus viajes (guías en papel, páginas web, etc.). Este tipo de guías se basan principalmente en información textual y visual (por ejemplo, imágenes o vídeos). Desgraciadamente, dichas guías no permiten que el usuario se sitúe espacialmente a sí mismo y a los monumentos que desea visitar. Por tanto, las guías multimedia suelen expandirse mediante mapas o planimetrías bidimensionales. Estos mapas, pese a su evidente utilidad, requieren por parte del usuario de conocimientos topográficos y de un evidente esfuerzo cognoscitivo para relacionar el entorno 3D que le rodea con la representación abstracta en 2D que ofrece el mapa. En cambio, una vista en 3D combinada con texturas reales (ortofotografías satélite o aéreas) puede asociarse inmediatamente y de manera intuitiva con el paisaje que rodea al usuario (NURMINEN, 2008).

Existen herramientas informáticas de visualización de mapas 3D que proporcionan una inestimable ayuda en la planificación y visualización previa de destinos de viaje. 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 infor-

mación adecuada a la posición geográfica en la que se encuentre el usuario.

En los últimos años, la computación móvil ha tenido un espectacular auge. Los dispositivos móviles (teléfonos móviles, agendas electrónicas, tabletas...) son cada día más potentes, pueden transportarse fácilmente, proporcionan conectividad ubicua a Internet y son capaces de detectar la localización geográfica y la orientación del usuario (CAPIN, 2008). Estas características hacen que estos dispositivos sean plataformas ideales para la implementación de guías de divulgación basadas en el contexto.

La herramienta que aquí presentamos podría resumirse como una aplicación de realidad aumentada sobre dispositivos ubicuos, de manera que éstos se conviertan en un medio de divulgación y estudio del patrimonio natural y arqueológico.

Se describe una infraestructura cliente-servidor que, empleando geo-localización, posibilita la generación de una representación realista y tridimensional del entorno que rodea al usuario en su dispositivo móvil.

Esta representación se aumenta con puntos de interés naturales y culturales (accidentes geográficos, monumentos, yacimientos arqueológicos, fortalezas, etc.) en función de la ubicación del usuario. La recreación virtual 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.

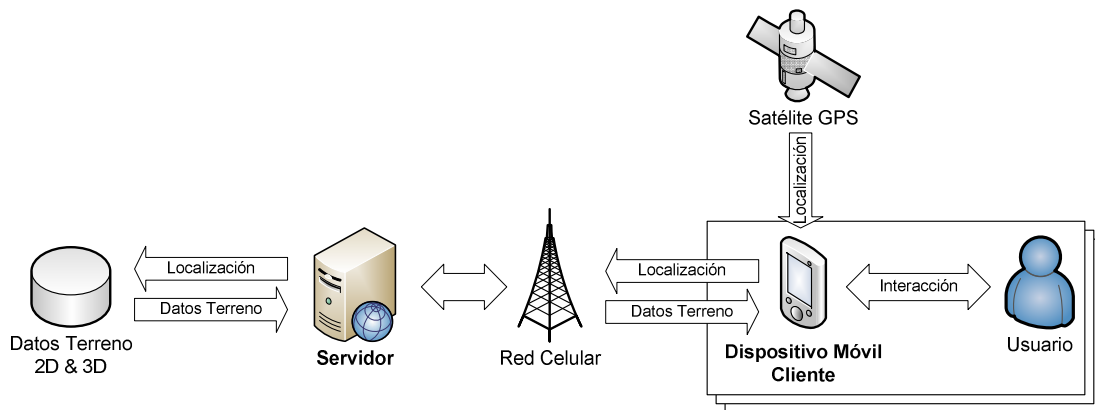


Figura 1. Arquitectura cliente-servidor.

Actualmente estamos aplicando esta tecnología para la realización de visitas virtuales en Andalucía Oriental y como guía interactiva de las fortificaciones defensivas medievales de la provincia de Jaén (España): castillos, torres, etc. Si bien, 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 la eficiencia de la solución propuesta. Finalmente, la Sección 5 concluye el trabajo.

## 2. Metodología

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

### 2.1. Eficiencia

La computación móvil ofrece una serie de ventajas inéditas en otros entornos 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 terreno 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 terreno 3D disponible en la memoria del dispositivo móvil (NOGUERA, 2010).

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 multirresolución conocida como quadtree (SAMEY, 1984), (PAJAROLA, 1998). La representación del terreno 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 la mayoría de dispositivos móviles carecen de la capacidad gráfica suficiente como para visualizar entornos grandes y complejos. Para solventar este 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 2.

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.

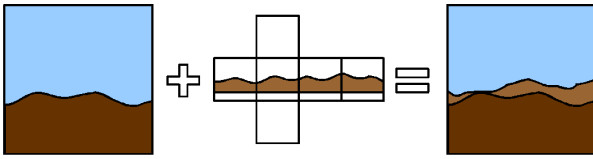


Figura 2. Síntesis del terreno cercano (dibujado por el cliente) y el terreno lejano (dibujado por el servidor).

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 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 una amplia variedad de dispositivos, incluyendo iOS (iPhone, iPad), Symbian OS, Windows Mobile, Win32 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 3 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. Aplicaciones

En la Sección anterior hemos descrito una tecnología capaz de proporcionar una visualización inmersiva y realista de entornos 3D en dispositivos móviles. En esta Sección explicamos cómo esta tecnología puede utilizarse para la divulgación y el estudio del patrimonio natural y arqueológico.

A tal fin, hemos almacenado en nuestro servidor el modelo digital del terreno de Andalucía Oriental (provincias españolas de Jaén, Granada y Almería), con una superficie aproximada de 34800km<sup>2</sup>. 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.

Esta representación por sí misma ya sirve para mostrar con gran fidelidad el patrimonio natural de la zona representada. Pero para enriquecer la aplicación, hemos introducido la metáfora del punto de interés (POI). Un POI sirve para representar gráficamente sobre el mapa 3D a un elemento de interés (en nuestro caso arqueológico) georreferenciado.

El territorio de la actual provincia de Jaén fue un lugar fronterizo en tiempos medievales, y tal condición ha dejado un importante legado defensivo en forma de castillos, atalayas, etc. Este legado nos ha motivado a desarrollar una guía interactiva 3D sobre entornos naturales y fortificaciones edificadas durante la baja Edad Media en dicha provincia.



Figura 3. La aplicación ejecutándose en un teléfono iPhone. Se muestra el castillo de Bujaraiza en el pantano del Tranco (Jaén, España).

Para nuestro trabajo hemos empleado un corpus arqueológico de más de 50 elementos defensivos empleados durante dicho periodo histórico en el “Concejo de Villa y Tierra de Baeza” (Jaén, España) (CASTILLO, 2010). Todos estos elementos han sido georreferenciados in situ e introducidos en nuestro sistema. Según la tipología de la obra defensiva, los puntos de interés introducidos se categorizan de la siguiente forma: ciudad amurallada, aldea fortificada, castillo rural, castillo aldeano y torre concejil.

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 situado en dicha localización. Esta recreación es enriquecida mediante la adición de los citados puntos de interés arqueológicos. La Figura 3 muestra un ejemplo de la aplicación. Esta recreación se actualiza en tiempo real conforme el usuario se desplace o gire su línea de visión.

La aplicación brinda la interesante posibilidad de permitir al usuario visualizar de manera eficaz e intuitiva el área geográfica en la que se encuentra. Esto permite:

- Comprender la distribución espacial de los asentamientos humanos, 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.

Estos datos constituyen una información de gran interés desde el punto de vista didáctico y arqueológico.

#### 4. Resultados

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 viables. 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<sup>2</sup>, conjunto de datos ampliamente utilizado en la literatura para validar técnicas de visualización de terrenos.

Las curvas de la Figura 4 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.

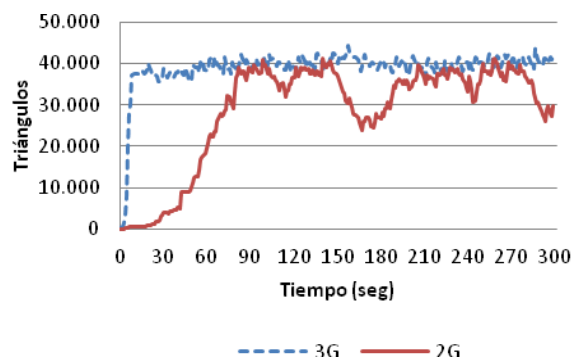


Figura 4. Triángulos visualizados durante el vuelo para distintos tipos de redes celulares.

En ambos casos, el rendimiento de la aplicación se mantiene sobre los 20 fotogramas por segundo. Obsérvese que éste es un rendimiento muy elevado considerando que estamos dibujando 40.000 triángulos por marco de animación. Esta complejidad geométrica es muy superior a la necesaria para un tamaño de pantalla tan reducido, y se ha empleado para estudiar el rendimiento de la aplicación en situaciones de alta carga. Como ejemplo la Figura 3 se compone de aproximadamente 10.000 triángulos. Un estudio más detallado del rendimiento puede encontrarse en (NOGUERA, 2010).

#### 5. Conclusiones

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.

Nuestros experimentos demuestran que nuestra solución es verdaderamente realista y ubicua, al ser capaz de proporcionar un rendimiento satisfactorio incluso con redes tan limitadas como las 2G.

<sup>2</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) [Consulta: 14-Marzo-2011].

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia del Reino de España y por la Unión Europea (fondos FEDER) mediante el proyecto de investigación TIN2007-67474-C03-03, y por la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía y la Unión Europea (fondos FEDER) mediante los proyectos de investigación P06-TIC-01403 y P07-TIC-02773.

## Bibliografía

- CAPIN, T. et al. (2008): “The state of the art in mobile graphics research”, en: *Computer Graphics and Applications*, IEEE 28 (4) pp. 74–84. doi:10.1109/MCG.2008.83.
- CASTILLO, J. C. et al. (2010): “El control del Territorio en la Comunidad de Villa y Tierra de Baeza. (Jaén). Apuntes desde la Arqueología Espacial”, en: *Resumen del II Simposio Internacional sobre Castelos, fortificações e territorio na Península Ibérica e no Magreb*. Óbidos (Portugal).
- NOGUERA, J. M. et al. (2010): “Navigating large terrains using commodity mobile devices”, en *Computers & Geosciences* (aceptado, pendiente de publicación). doi: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.
- 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.