

Tecnologías para museos virtuales en dispositivos móviles

María Dolores Robles Ortega, Francisco R. Feito Higuera,
Juan José Jiménez Delgado y Rafael J. Segura Sánchez

Departamento de Informática de la Universidad de Jaén. España

Resumen

Gracias al desarrollo de las nuevas tecnologías, los museos virtuales han ido evolucionando e incorporando nuevos contenidos con el objetivo de facilitar la transmisión del conocimiento. Evidentemente, con el auge actual de los dispositivos móviles, sería conveniente que todos estos elementos pudieran ser accesibles desde este tipo de herramientas.

En este artículo se realiza un estudio de los principales lenguajes utilizados para el desarrollo de museos virtuales y su posible adaptación para su uso en dispositivos móviles. En concreto, se valorarán las siguientes tecnologías: Flash, VRML y X3D. Se describirán asimismo los trabajos iniciales realizados para adaptar el Museo Virtual de Arte Ibérico desarrollado en trabajos anteriores con el objetivo de visualizarlo en un dispositivo Samsung Galaxy Tab 10.1 con sistema operativo Android.

Palabras Clave: MUSEOS; WEBGL; X3D; X3DOM; DISPOSITIVOS MÓVILES

Abstract

Virtual museums have incorporated new contents which make the knowledge transmission easier, thanks to the development of the new technologies. Evidently, it would be desirable that all these new elements could be accessed using any mobile device.

In this paper we study the main graphical languages to create 3D virtual museums and the process to adapt it to mobile devices. Specifically, we focus on the following technologies: Flash, VRML and X3D. We also explain the initial process to migrate the Virtual Museum of Iberian Art developed in a previous work in order to be rendered using a Samsung Galaxy Tab 10.1 with Android as operative system.

Key words: MUSEUMS; WEBGL; X3D; X3DOM; MOBILE DEVICES

1. Introducción

Un museo, según el Consejo Internacional de Museos (ICOM, <http://icom.museum>), puede definirse como una institución sin fines de lucro y abierta al público cuya finalidad consiste en la adquisición, conservación, estudio y exposición de los objetos que mejor ilustran las actividades del hombre o que son culturalmente importantes para el desarrollo de los conocimientos humanos.

Tradicionalmente los museos han sido centros pasivos de exposición. Sin embargo, hoy día están en continua evolución, convirtiéndose en centros de activos de experimentación en los que la participación del público toma una especial relevancia (CABALLERO, 2011).

La mayoría de los museos reales actuales disponen de museos virtuales asociados, que permiten acceder a sus contenidos a cualquier persona desde cualquier lugar del mundo en cualquier momento y, más específicamente, a estudiantes y profesores (HANISCH, 2000). Estos contenidos virtuales preservan, asimismo, los objetos obtenidos tras las investigaciones de posibles saqueos, actos de vandalismo o incluso desastres naturales (HARNAUD, 2007), evitando también el problema de falta de espacio para las exhibiciones de piezas y elementos.

La evolución de estos museos virtuales se ha desarrollado paralelamente a la evolución de las nuevas tecnologías. Así, las primeras páginas de museos que contenían únicamente imágenes

y fotografías de las piezas y fragmentos han sido sustituidas por nuevos contenidos interactivos que permiten al usuario acceder a recursos e información adicional sobre los fragmentos. Además, en la mayoría de los casos, se han incluido modelos tridimensionales que aportan una mayor cantidad de información que sus correspondientes imágenes 2D.

El siguiente paso en este proceso es permitir que los museos virtuales sean accesibles a través de dispositivos móviles. Para ello, es necesario realizar un procedimiento de adaptación de los contenidos actuales a un formato adecuado para este tipo de herramientas.

En este artículo se realiza un estudio de las principales herramientas utilizadas en el desarrollo de museos virtuales y su posible adaptación para su uso en dispositivos móviles. En concreto, se valorarán las siguientes tecnologías: Flash, VRML y X3D. Se describirán asimismo los trabajos iniciales realizados para adaptar el Museo Virtual de Arte Ibérico desarrollado en (ROBLES ORTEGA, 2011) para su uso en un dispositivo Samsung Galaxy Tab 10.1 con sistema operativo Android. En cada caso, se indicarán los problemas observados respecto a la visualización de las escenas utilizadas usando el navegador Firefox Mobile.

2. Lenguajes tradicionalmente utilizados para crear museos virtuales. Uso en dispositivos móviles

Los primeros museos virtuales estaban formados por un conjunto de páginas web (en su mayoría estáticas, aunque en algunos casos dinámicas) en las que se mostraban imágenes y fotografías de los elementos expuestos junto con una breve descripción. Estos portales, generalmente, pueden visualizarse sin ningún tipo de problema en dispositivos móviles utilizando alguno de los diferentes navegadores disponibles para este tipo de herramientas.

Sin embargo, estos primeros museos ofrecían una interactividad limitada, por lo que fue necesario incluir técnicas utilizadas en otros campos como, por ejemplo, la informática gráfica. De esta forma, se mejoró la calidad de los contenidos ofrecidos y las posibilidades de acceder a información adicional. En concreto, la utilización de técnicas de Realidad Virtual supuso una mejora en la experiencia del usuario gracias a la inclusión de modelos tridimensionales con los que el visitante podía interactuar. De esta forma, el usuario no sólo podría visualizar las piezas tal y como lo haría en un sitio tradicional, sino que también podría moverlos y observar nuevas características y detalles que no vería a través de una simple imagen. Por tanto, el uso de estos métodos permite que la visita a un museo virtual sea más realista.

Al contrario que con las páginas HTML tradicionales, en el caso de museos que incluyen contenidos 3D la visualización en dispositivos móviles no suele ser inmediata. Esto se debe a que no existe un soporte adecuado en este tipo de herramientas para algunas de las tecnologías tradicionalmente utilizadas para generar modelos tridimensionales. Además, hay que tener en cuenta la baja capacidad gráfica y de memoria de los terminales móviles frente a los tradicionales. Aunque estas herramientas cada día disponen de mejores prestaciones, en muchos casos no es posible realizar una visualización correcta de los museos ya existentes. Así, podría ser necesario reducir el tamaño de la escena original para obtener un rendimiento aceptable de la aplicación.

A continuación se expone una lista con los lenguajes más utilizados para generar museos virtuales, indicando para cada uno de ellos ejemplos reales y la posibilidad de visitarlos usando un dispositivo móvil con sistema operativo Android.

- **QuickTime** (<http://www.apple.com/es/quicktime/>) Aunque realmente no muestra contenido 3D, permite visualizar fotos panorámicas de las salas reales del museo. La interactividad que permite es reducida y limitada al giro de la cámara. Es común en muchos museos como, por ejemplo, el de Louvre incluye visitas virtuales utilizando esta tecnología. Aunque actualmente QuickTime no dispone de una versión para Android, existen otros programas que podrían utilizarse para visualizar este tipo de contenidos. (<http://www.louvre.fr/llv/commun/home.jsp>)
- **Flash** (<http://www.adobe.com/es/products/>) Es una de las tecnologías más utilizadas actualmente para la creación de contenidos interactivos en Internet. La página del Museo del Prado, por ejemplo, incluye esta clase de elementos (<http://www.museodelprado.es/>). Existe una versión que puede descargarse e instalarse en Android, tal y como se explica en la Sección 3.
- **XVR** (<http://www.vrmedia.it/>) Tiene una arquitectura modular y proporciona un lenguaje de script orientado a realidad virtual para programadores, lo que permite generar contenidos más complejos con dispositivos avanzados como trackers, sistemas de proyección estéreo o HMDs. Un ejemplo de aplicación que utiliza esta tecnología es la Piazza dei Miracoli en Pisa, que puede consultarse a través de la página <http://piazza.opapisa.it/3D/index.html>. Actualmente el plugin sólo está disponible para sistemas operativos Windows 98/Me, 2000/XP y Vista.
- **VRML** (Virtual Reality Modeling Language) Ha sido un estándar para el intercambio de contenido 3D en sistemas web hasta su reemplazo por X3D. Se ha utilizado en la creación de numerosos sitios de museos virtuales como, por ejemplo, INUIT3D (CORCORAN, 2002), en la que los usuarios pueden visitar tres salas de exposiciones e interactuar con doce modelos tridimensionales o el sistema Minerva (AMIGONI, 2009), que facilita la organización de los museos estableciendo diferentes colecciones o exposiciones. Asimismo se puede utilizar con sistemas de proyección estéreo (ROBLES ORTEGA, 2010).
- **X3D** (Extensible 3D, <http://www.web3d.org/x3d/>) Desarrollado por el Consorcio Web3D, es el sucesor de VRML. Permite generar contenidos 3D interactivos, tanto estáticos como dinámicos. Está basado en XML y puede utilizarse conjuntamente con tecnologías como Ajax y PHP para el acceso a bases de datos. Se ha utilizado para crear museos dinámicos como el prototipo de museo virtual de Arte Ibérico desarrollado por los autores que puede consultarse en la página <http://150.214.97.135/X3D/English/indexEng.htm>.
- **3DVia** (<http://www.3dvia.com/downloads>) Permite crear modelos y entornos 3D de los que el usuario puede obtener algún tipo de información adicional. Existen versiones disponibles tanto para iPad como para iPhone. El museo de Louvre incluye elementos de este tipo.
- **WebGL** (<http://www.khronos.org/webgl/>) Permite incluir modelos 3D en páginas web a través de HTML5 sin necesidad de instalar ningún plugin adicional. Ya existen algunos museos que lo utilizan como Wikipedia Art Gallery (<http://www.wikiartgallery.org/about.html>). Se prevé que en un futuro todos los navegadores soporten esta tecnología. Actualmente es compatible con navegadores móviles como Ópera, Chrome y Firefox Mobile.
- **O3D** (<http://code.google.com/intl/es-ES/apis/o3d/>) Se trata de una API web de software libre que permite crear aplicaciones 3D completas e interactivas. Inicialmente se creó como un plugin pero actualmente existe una nueva versión implementada sobre WebGL. La Universidad de Queensland ha desarrollado un proyecto (3DSA) que permite realizar anotaciones en modelos tridimensionales utilizando O3D. Existe una versión accesible en Internet desde la dirección <http://itee.uq.edu.au/~eresearch/projects/3dsa/>.

Aunque existan programas que soporten las tecnologías utilizadas en el desarrollo de un museo virtual, en muchos casos será necesario realizar un proceso de adaptación de los contenidos a los dispositivos móviles. En este artículo se describen los trabajos iniciales realizados para visualizar el Museo Virtual de Arte Ibérico desarrollado en (ROBLES ORTEGA, 2011) usando un dispositivo Samsung Galaxy Tab 10.1 con sistema operativo Android. El objetivo final es que el

museo de Arte Ibérico pueda ser visitado utilizando cualquier dispositivo móvil.

En las siguientes secciones se describen los problemas encontrados para cada una de las tecnologías utilizadas: Flash, VRML y X3D.

3. Utilización de Flash en dispositivos móviles con sistema operativo Android

Flash es una de las tecnologías más utilizadas actualmente para la creación de contenidos interactivos en Internet. Existen muchos museos que la utilizan como, por ejemplo, el Museo del Prado (<http://www.museodelprado.es>) o el Museo Reina Sofía (<http://www.museoreinasofia.es/>), entre otros.

Aunque la aplicación Adobe Flash Player no está disponible para todos los dispositivos móviles, en el caso del dispositivo Samsung Galaxy Tab 10.1 puede ser utilizada sin problemas.

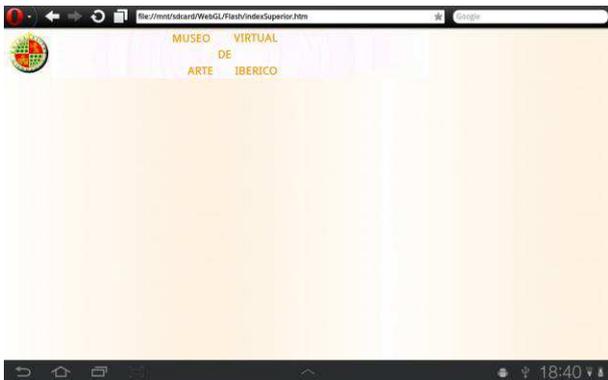


Figura 1: Visualización de un archivo Flash usando el navegador Ópera en un dispositivo Samsung Galaxy Tab 10.1

Sin embargo, en el caso del navegador Firefox actualmente no está disponible el plugin para visualizar este tipo de archivos. Esto supone una limitación cuando se visitan muchos de los museos actuales. Para Ópera Mobile, en cambio, es posible habilitar una extensión para mostrar estos contenidos, como se puede apreciar en la Figura 1.

4. Utilización de VRML en dispositivos móviles con sistema operativo Android

Tal y como se ha comentado anteriormente, VRML (Virtual Reality Modeling Language) ha sido un estándar para el intercambio de contenido 3D en sistemas web hasta su reemplazo por X3D.

Aunque existen diferentes visores y plugins para visualizar archivos VRML en distintos navegadores y sistemas operativos, la mayoría de éstos no disponen de una versión operativa para Android. Entre las aplicaciones disponibles, puede destacarse el plugin de BS-Contact (<http://www.bitmanagement.de/>).

A pesar de que las versiones para PC de BS-Contact pueden mostrar tanto modelos en VRML como en X3D, en el caso de la versión para Android utilizada (versión 7.220), sólo es posible visualizar archivos VRML. Para ello, se debe escribir en el navegador la dirección `bscontact:file.wrl`, donde `file.wrl` es la url del fichero VRML que se desea visualizar. En la Figura 2 se puede observar una captura de pantalla que muestra un modelo tridimensional usando un dispositivo Samsung Galaxy Tab 10.1 y la aplicación BS-Contact para Android.

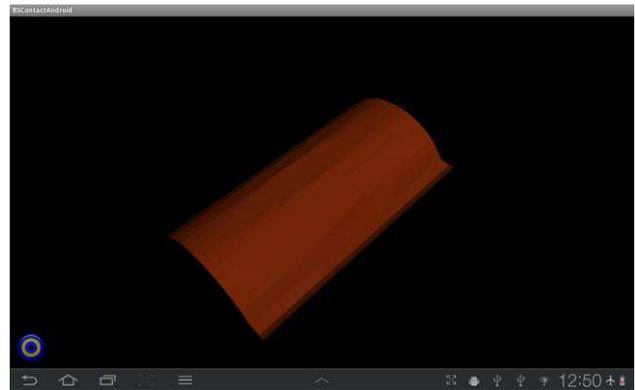


Figura 2: Visualización de un modelo VRML usando BS-Contact en un Samsung Galaxy Tab 10.1

El principal problema de esta versión de BS-Contact es que proporciona una interactividad limitada y la imposibilidad de mostrar archivos en X3D. Tal y como se ha comentado anteriormente, VRML ha sido sustituido en la mayoría de los museos virtuales por modelos X3D, por lo que esta aplicación no resulta válida para realizar una visita a museos ya disponibles.

La alternativa propuesta en este artículo para realizar esta tarea es visualizar los modelos X3D utilizando la tecnología WebGL, tal y como se describe en la siguiente sección.

5. Utilización de X3D y WebGL en dispositivos móviles con sistema operativo Android

El lenguaje X3D, desarrollado por el consorcio Web3D, permite generar contenidos 3D interactivos, tanto estáticos como dinámicos. X3D está basado en XML y puede utilizarse conjuntamente con tecnologías como Ajax y PHP para el acceso a bases de datos. Al igual que para VRML, se necesita un plugin que permita visualizar el contenido 3D en una página web. En el caso de dispositivos de escritorio existen varias herramientas disponibles. Para móviles, en cambio, en este momento no se han desarrollado programas de este tipo.

Para evitar estos problemas, se propone utilizar WebGL (<http://www.khronos.org/webgl/>). Este nuevo estándar para visualización de gráficos 3D en Internet permite incluir modelos 3D en páginas web sin necesidad de instalar ningún plugin adicional. Para ello, se complementa con otras tecnologías como el futuro estándar HTML5 (MARRIN, 2011). En cuanto a navegadores compatibles, la mayoría de ellos pueden mostrar este tipo de contenidos, tanto en dispositivos móviles como de escritorio.

WebGL, por tanto, parece ser la solución para poder visitar los museos virtuales ya existentes en móviles o tabletas. Sin embargo, surge un problema adicional: WebGL no puede visualizar directamente los modelos X3D, sino que es necesario un proceso de migración a la nueva tecnología. Este procedimiento es complejo, puesto que no existe una correspondencia directa entre ambos lenguajes.

Para evitar este proceso de traducción puede utilizarse la librería X3DOM [BEHR, 2009] que permite la integración directa de la escena X3D en la estructura DOM (Document Object Model) de HTML5 con ciertas limitaciones (ROBLES-ORTEGA, 2012). X3DOM se está utilizando actualmente en diferentes proyectos (ZOLLO, 2011; BEHR, 2011).

A continuación se describen los trabajos iniciales realizados para mostrar el Museo de Arte Ibérico utilizando WebGL y X3DOM usando el navegador Firefox Mobile.

El primer cambio que debe realizarse es modificar la página de inicio para que incluya el fichero X3D de la escena que se desea visualizar. Para ello, en la cabecera del archivo xhtml debe incluirse el fichero JavaScript de la librería: el x3dom.js, tal y como se muestra en la Tabla 1. El resultado final tras visualizar el código de este ejemplo en el navegador Firefox Mobile se puede apreciar en la Figura 3.

Además de la modificación de la página inicial, es necesario realizar un proceso previo de adaptación del museo en X3D para su correcta visualización usando X3DOM. Así, se debe comprobar la compatibilidad de los distintos tipos de nodos y campos utilizados en la escena. En los siguientes apartados se explican los problemas encontrados para los distintos tipos de nodos: geometría, realismo y navegación

```
<html >
  <head>
    <title>Hello World</title>
    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="x3dom.css" />
    <script type="text/javascript" src="x3dom.js"></script>
  </head>
  <body>
    <X3D xmlns="http://www.web3d.org/specifications/x3d-namespace" showStat="false" showLog="false" x="0px" y="0px"
width="1200px" height="600px" altImg="helloX3D-alt.png">
      <Scene>
        <Viewpoint description="Camera1" fieldOfView="0.75" orientation="0.0 1.0 0.0 0" position="-12.27975 4.0 25.0"/>
        <Inline DEF="fichero" url="UrlFicheroX3D.x3d" />
      </Scene>
    </X3D></body>
</html>
```

Tabla 1: Código para visualizar un fichero X3D en una página web usando X3DOM



Figura 3: Visualización del ejemplo de la tabla 1 usando X3DOM

5.1. Geometría

X3D admite diferentes nodos de geometría, que pueden clasificarse como objetos primitivos simples (esferas, cilindros, conos, cajas y texto) o bien complejos (nubes de puntos, mallas de polígonos, extrusiones, etc.). En general, X3DOM admite soporte para la mayoría de estos elementos, aunque en algunos casos existen problemas de compatibilidad para algunos campos en concreto.

En el caso de la geometría del museo, ésta es relativamente sencilla y se genera mediante mallas de polígonos (nodo *IndexedFaceSet*) de X3D. Los diferentes atributos posibles de este nodo son compatibles con X3DOM, salvo el campo *conv*. Este atributo indica si los puntos que definen una cara están ordenados en sentido horario (valor verdadero) o antihorario (falso). En las pruebas realizadas no ha sido posible visualizar correctamente los objetos que tenían activado este campo, por lo que se ha eliminado de todos los modelos del museo. En la Figura 4 se puede observar la correcta visualización de la

geometría de una sala del museo en el dispositivo Samsung Galaxy Tab 10.1 usando X3DOM y Firefox Mobile.

Otro factor que influye en la visualización de los modelos de X3D en un dispositivo móvil es su tamaño. Así, para fragmentos con un excesivo tamaño sería conveniente utilizar técnicas que permitan reducir la complejidad del modelo. Por ejemplo, podrían usarse técnicas de niveles de detalle (LODs) que permitan eliminar detalles de las piezas que no son visibles en una pantalla más reducida. Como X3D admite soporte para esta técnica, la adaptación de las escenas se podría realizar de una forma sencilla y eficiente. En el caso del museo, el proceso consistiría en generar modelos de piezas equivalentes a las originales, pero más simples y con un menor número de puntos y nodos. De esta forma se mejoraría el tiempo de carga de la aplicación en el dispositivo móvil.

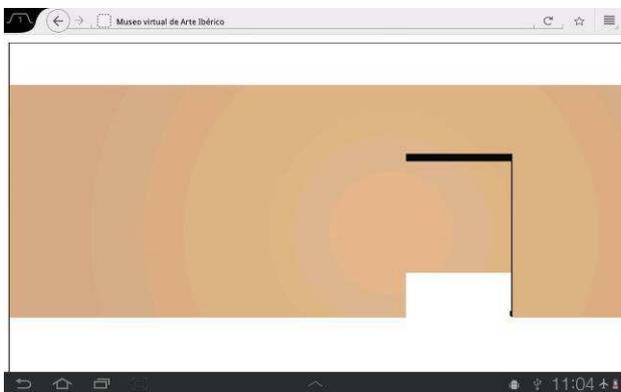


Figura 4: Visualización de la geometría de una sala del museo usando X3DOM

5.2. Realismo

En X3D el realismo de una escena puede mejorarse principalmente de tres maneras: utilizando colores, añadiendo texturas o incluyendo fuentes de luz (direccionales o puntuales). En el caso del museo, se han utilizado estos tres tipos de recursos, por lo que se ha estudiado su compatibilidad con X3DOM en el Samsung Galaxy.

El primero de ellos, los colores, se consigue gracias al nodo *Appearance* de X3D. Tal y como se puede observar en la Figura 4, los atributos de este nodo son compatibles con el dispositivo móvil y X3DOM, manteniéndose así la apariencia de la escena original.

En el caso de las texturas se usa generalmente el nodo *ImageTexture*, que es compatible con X3DOM. Sin embargo, actualmente existen ciertas restricciones en las imágenes que deben considerarse para obtener resultados correctos. En concreto, para poder mostrar una textura que no sea potencia de dos (*NPOT texture, non-power-of-two texture*), los campos *repeatS* y *repeatT* deben establecerse a un valor falso. Las texturas con tamaño potencia de dos, en cambio, pueden mostrarse sin problemas. Por tanto, existen dos posibles soluciones para visualizar modelos que utilicen texturas que no sean potencia de dos: establecer el valor de los dos campos *repeat* a falso o bien sustituir la textura por otra cuyo tamaño sea potencia de dos. Tal y como se puede observar en la Figura 5, tras realizar los

cambios necesarios se obtienen resultados similares al modelo inicial.

Respecto a la iluminación, en las salas del museo se usan luces puntuales que simulan lámparas reales. El nodo utilizado, *PointLight*, es completamente compatible con X3DOM, tal y como se puede observar en la Figura 6, en la que se muestra una pared de una sala iluminada.



Figura 5: Visualización de la textura de la puerta de entrada del museo usando X3DOM

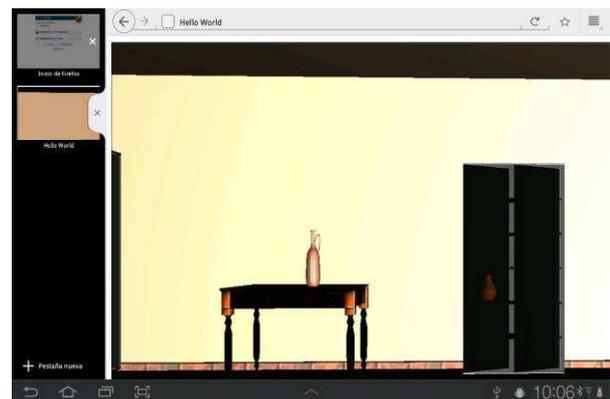


Figura 6: Visualización de una sala del museo iluminada usando X3DOM

5.3. Navegación

La implementación actual de WebGL conjuntamente con JavaScript proporciona algunos métodos básicos de navegación e interacción, aunque es posible también definir nuevos mecanismos de movimiento personalizados.

En el caso de la navegación, se permiten los modos *Examine*, *Walk*, *Fly* y *LookAt* de X3D, por lo que deberían ser compatibles con las escenas originales. No obstante, cuando se ha visualizado el museo utilizando el dispositivo Samsung Galaxy Tab, se han observado problemas relativos al movimiento en la escena y a la posibilidad de cambiar el tipo de navegación. Por ello, en el futuro se desea realizar un estudio en profundidad de estos problemas para determinar una solución adecuada a los mismos.

6. Resultados

A continuación se muestran algunas capturas de pantalla obtenidas tras adaptar una de las salas del Museo Virtual de Arte Ibérico para su visualización en un dispositivo móvil Samsung Galaxy Tab 10.1 con sistema operativo Android.

Tal y como se puede observar en las Figuras 7 – 10, todos los elementos de la escena se muestran de forma correcta en la posición adecuada. Por tanto, se puede concluir que es posible visualizar una escena X3D en un dispositivo móvil utilizando WebGL, manteniendo la estructura original.

En la siguiente sección se describirán las principales líneas de investigación futuras que permitan incorporar la interacción al museo de forma que, al igual que en el portal original, se pueda obtener información adicional sobre las piezas simplemente pulsando sobre ellas.



Figura 7: Visualización de una sala del museo usando X3DOM



Figura 8: Visualización de una sala del museo usando X3DOM



Figura 9: Visualización de una sala del museo usando X3DOM



Figura 10: Visualización de una sala del museo usando X3DOM

7. Conclusiones y trabajos futuros

En este trabajo se han descrito algunas de las tecnologías más importantes que pueden utilizarse para visualizar contenidos tridimensionales en dispositivos móviles con sistema operativo Android. En concreto, se han evaluado las siguientes tecnologías: Flash, X3D y WebGL utilizando X3DOM.

Se ha explicado además el procedimiento seguido para adaptar una escena previamente creada en X3D para su visualización mediante X3DOM. Tal y como se ha descrito en la sección de resultados, se han obtenido resultados correctos respecto a la escena inicial.

Sin embargo, para incrementar la funcionalidad de la aplicación es necesario llevar a cabo un estudio de los métodos de navegación de X3DOM en dispositivos móviles, así como de los mecanismos de interacción. De esta forma, se podrá adaptar completamente el museo original para su visualización en un dispositivo móvil, manteniendo la funcionalidad inicial.

Acknowledgments

Este trabajo ha sido parcialmente subvencionado por la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía bajo el proyecto P07-TIC-02773 y por el Ministerio de Educación y Ciencia de España y la Unión Europea a través de los Fondos FEDER, bajo el proyecto de investigación TIN2011-25259.

References

- AMIGONI, F. et al. (2009): “*The Minerva system: A step toward automatically created virtual museums*”, en *Applied Artificial Intelligence*, vol. 23. pp. 204-232.
- BEHR, J. et al. (2011): “*Dynamic and interactive aspects of X3DOM*”. En *Proceedings of the 16th International Conference on 3D Web Technology, ACM*, pp. 81-87.
- BEHR, J. et al. (2009): “*X3DOM: a DOM-based HTML5/X3D integration model*”. En *Proceedings of the 14th International Conference on 3D Web Technology, ACM*, pp. 127-135.
- CABALLERO, F.J. (2011): “*Nuevos métodos de difusión del arte. Espacios expositivos virtuales: proyecto UMUSEO*”. En *Actas de El Patrimonio Cultural y Natural como motor de desarrollo: Investigación e Innovación*.
- CANO, J. (2011): “*Nuevas Tecnologías: Recursos emocionales para la exhibición del conocimiento en los Museos*”. En *Actas de El Patrimonio Cultural y Natural como motor de desarrollo: Investigación e Innovación*.
- CARROZZINO, M. et al. (2010): “*Beyond virtual museums: Experiencing immersive virtual reality in real museums*”, en *Journal of Cultural Heritage*, vol. 11 (4). pp. 452-458
- CORCORAN, F. et al. (2002): “*Inuit3d: An interactive virtual 3d web exhibition*”. En *Proceedings of the Museums and the Web*, [online] <http://www.archimuse.com/mw2002/papers/corcoran/corcoran.html> [Consulta: 15-03-2011].
- FORTE, M. (2011): “*Cyber-Archaeology: Notes on the simulation of the past*”. En *Virtual Archaeological Review (VAR)*, vol. 2(2), pp. 7-18.
- GÓMEZ, J.L. (2011): “*La comunicación de la Arqueología Virtual*”. En *Virtual Archaeological Review (VAR)*, vol. 2(1), pp. 39-41.
- HANISCH, F. et al. (2000): “*Reconstruction and virtual model of the Schikard calculator*”. En *Journal of Cultural Heritage*, vol. 1, pp. 335-340.
- HARNAUD, C.H. (2007): “*Protecting our cultural heritage*”. En *Chemical & Engineering news*, vol. 85 (50), pp. 34-36.
- HERNÁNDEZ, L. (2010): “*Galicia Dixital. Una exposición de patrimonio e-tangible. El Museo Vacío*”. En *Virtual Archaeological Review (VAR)*, vol. 1(1), pp. 35-39.
- FLORES, J. et al. (2010): “*Sistemas de visualización inmersiva, interactivos y de bajo coste en Museos y Espacios Públicos*”. En *Virtual Archaeological Review (VAR)*, vol. 1(1), pp. 93-97.
- MARRIN, C. (2011): “*WebGL Specification Khronos*”. WebGL Working Group (2011)
- PALOMBINI, A. et al. (2011): “*Virtual archaeology and museums, an Italian perspective*”. En *Virtual Archaeological Review (VAR)*, vol. 2(2), pp. 151-154.
- ROBLES-ORTEGA, M.D. et al. (2011): “*Web technologies applied to virtual heritage: An example of an Iberian Art Museum*”. En *Journal of Cultural Heritage*. doi: 10.1016/j.culher.2011.10.001
- ROBLES-ORTEGA, M.D. et al. (2012): “*Navigation and interaction in urban environments using WebGL*”. En *International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP 2012)*, pp. 493-496.
- SAGASTI D. et al. (2010): “*Gestión integral de un Proyecto de Reconstrucción Virtual para una exposición en un Museo*”. En *Virtual Archaeological Review (VAR)*, vol. 1(2), pp. 171-175.
- ZOLLO, F. et al. (2011): “*X3DMMS: an X3DOM tool for molecular and material sciences*. En *Proceedings of the 16th International Conference on 3D Web Technology, ACM*, pp. 129-136.