

Patrimonio Virtual del Territorio: Diseño e implementación de Recursos Educativos en Realidad Aumentada y Navegación Peatonal Móvil

J. Joo Nagata, J. García-Bermejo Giner, y F. Martínez Abad

Title— Virtual Heritage of the Territory: Design and implementation of Educational Resources in Augmented Reality and Mobile Pedestrian Navigation.

Abstract— In this research we intend to establish the relationships between local heritage educational content of software Pedestrian Navigation Systems Mobile-Augmented Reality and learning processes through mobile devices. In this context, we will create a process of teaching and learning linked to urban heritage, determining their educational effectiveness with these tools. Methodological research focuses on two dimensions: technological design of mobile learning platform and in determining educational modes of understanding of the program. We hope to build a patrimonial thematic unit and determine the significance in mLearning-uLearning processes, considering elements of identity and local culture.

Index Terms—Augmented reality, Computer aided instruction, Mobile computing, Navigation.

I. INTRODUCCIÓN

LOS importantes avances tecnológicos producidos en el ámbito de los dispositivos móviles (tabletas y smartphones) y la incorporación de sensores altamente especializados y con la capacidad de captar información del medio que nos rodea. Instrumentos como sistemas de posicionamiento, sensores de luz y proximidad, barómetro, giroscopio, acelerómetro y magnetómetro, han añadido importantes valores agregados a estos dispositivos, convirtiéndolos en complejos instrumentos que se encuentran al alcance de una mano, con interfaces simplificadas, sencillas de comprender y manejar [1], entregando información que antiguamente no era posible de obtener sin medios especializados, complejos y la mayoría de las veces costosos. Este poder de procesamiento y obtención de información ha derivado en el desarrollo de técnicas como la Geolocalización y la Realidad Aumentada en un contexto de portabilidad y masificación, permitiendo

Jorge Joo Nagata es doctorando del Programa Formación en la Sociedad del Conocimiento, Universidad de Salamanca. Grupo Grial, Universidad de Salamanca (autor de contacto, e-mail: jorge.joo@usal.es).

José Rafael García-Bermejo Giner: Profesor del Departamento de Informática y Automática, Universidad de Salamanca. Grupo Grial, Universidad de Salamanca (e-mail: coti@usal.es).

Fernando Martínez Abad es Profesor Ayudante del área de Métodos de Investigación y Diagnóstico de la Facultad de Educación, Universidad de Salamanca. Grupo IUCE, Universidad de Salamanca. (e-mail: fma@usal.es).

el desarrollo de aplicaciones y contenidos en diferentes temáticas, con diversos objetivos y estructuras de implementación.

De esta manera, disciplinas como la Educación, se han visto fuertemente fortalecidas con la creación de nuevos instrumentos para la enseñanza de contenidos y su respectiva evaluación. Adicionalmente, se han generado nuevas ideas y líneas de acción, como el Aprendizaje Situado y el Aprendizaje Móvil (uLearning y mLearning), en donde confluyen campos del conocimiento en donde existe una clara complementariedad de contenidos, métodos y objetivos.

De esta manera, las técnicas que se han visto fortalecidas por los avances tecnológicos en la portabilidad que otorgan los dispositivos móviles, son los Sistemas de Navegación Peatonal Móvil (SNPM) y la Realidad Aumentada (RA), permitiendo la implementación concreta de diversos contenidos presentes en diferentes temáticas, con consecuencias en su implementación educativa.

El planteamiento de la investigación tiene como objetivo la construcción de un sistema móvil ligado a módulos de SNPM y de RA, constituyéndolo dentro de un proceso de formación educativa (eLearning y mLearning) en el marco de la información territorial sobre el patrimonio urbano histórico correspondiente a la ciudad de Salamanca (España). La investigación se contextualiza entre dos grandes dimensiones:

- En el diseño y desarrollo de una plataforma móvil SNPM-RA, definiendo su arquitectura, funcionalidad, interface e implementación (Figura 1).
- En la comprobación en los modos de presentación, comprensión y efectividad educativa del sistema desarrollado.

Así, se espera contar con un sistema informático móvil que permita una adecuada presentación de contenidos sobre patrimonio histórico, enmarcado en procesos de eLearning y mLearning. De esta manera, los objetivos se plantean desde estas dos grandes áreas:

1) *Para el ámbito tecnológico:* se analizará la implementación de las herramientas que se utilizan en uLearning y el mLearning en los contextos de desarrollo de un SNPM-RA con el fin de tener un diagnóstico de los programas existentes, sus fortalezas y debilidades, además de su implementación en contextos educativos formales. También se plantea el desarrollo del módulo

educativo mediante los frameworks adecuados de Localización, Navegación y RA presentes en programas para equipos móviles, permitiendo la generación de contenidos sobre patrimonio urbano histórico de la ciudad de Salamanca. Adicionalmente, se implementará el módulo SNPM-RA mediante el contexto tecnológico de arquitectura y programación encapsulada y adaptable a través de una serie de frameworks de desarrollo de software.

2) *Para el ámbito educativo:* se determinarán las líneas, características y aspectos relevantes en lo referente al desarrollo del SNPM-RA en un contexto de uLearning y mLearning. Paralelamente, se determinará la potencialidad y efectividad educativa del módulo SNPM-RA a través del ejemplo concreto de la ciudad de Salamanca y su patrimonio, mediante pruebas de usabilidad y herramientas de evaluación del aprendizaje. Finalmente, se pretende determinar y contextualizar las experiencias obtenidas de los estudiantes con el sistema SNPM-RA creado, identificando los aspectos relevantes y factores claves que se deriven de la usabilidad generada en el contexto educativo del uLearning y mLearning sobre patrimonio.

De manera paralela y debido a la naturaleza cuasiexperimental del estudio, se plantean las siguientes hipótesis de trabajo:

- La utilización de tabletas con un SNPM-RA personalizado, tiene una mayor efectividad en los procesos de aprendizaje sobre patrimonio, respecto a métodos y medios tradicionales de enseñanza como son los libros, mapas y la enseñanza directa.
- La movilidad que otorgan medios como las tabletas, en un contexto de enseñanza mediante un SNPM-RA, presentaría una mayor efectividad en los procesos de aprendizaje desde los ámbitos de uLearning-mLearning, respecto a situaciones de enseñanza similares (eLearning), pero que se encuentran establecidos en ambientes educativos tradicionales y formales (enseñanza directa en aulas).

Mediante estos planteamientos, se pretende establecer las cualidades de los elementos de hardware, software y de contenidos temáticos, planteados para el ámbito educativo, generando un sistema contextualizado en elementos y procesos locales.

II. CONTEXTO TEÓRICO

A. La Temática de Patrimonio en un contexto de mLearning y uLearning

Desde el ámbito educativo, el desarrollo e implementación digital del programa se encuentra contextualizada en torno a los procesos de uLearning y mLearning. De esta manera, se plantean un contexto educativo para la adquisición de conocimientos desde escenarios reales, en donde la temática patrimonial presente en la ciudad de Salamanca es el tema a enseñar. Desde la mirada ofrecida por el uLearning, el proceso de enseñanza y aprendizaje tendría características de ser más práctico, significativo y aplicable para la resolución de problemas, lo que maximizaría los efectos del aprendizaje en los estudiantes respecto a otros escenarios de enseñanza directa

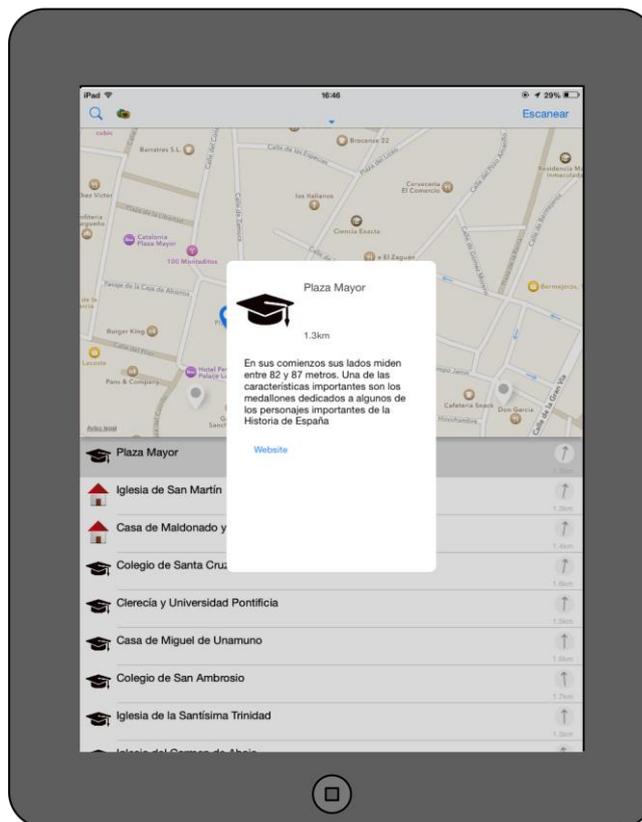


Fig. 1. Interfaz del Sistema de Navegación Peatonal

[2], [3]. De esta manera, el significado del aprendizaje estaría profundamente enraizado en un contexto situacional presente en la realidad –que para este caso corresponde al patrimonio urbano presente en la ciudad de Salamanca y su historia local representada en los artefactos urbanos–, no existiendo un único sentido del aprendizaje, sino más bien un contexto concreto y/o práctico [4]. Adicionalmente, el mLearning enfatiza dos importantes principios que se realizan en los procesos educativos [3]:

- En lo referente a la integración del aprendizaje con la práctica y el contexto con significado.
- En relación con el aprendizaje en un escenario colaborativo y social, a través de herramientas que se presentan en medios digitales y virtuales.

B. Sistema de Navegación Peatonal Móvil (SNPM)

Un SNPM corresponde a un sistema de navegación digital en un contexto de representación a escala humana (1:1) asistido por un dispositivo móvil (GPS navegadores para coches, relojes inteligentes, smartphones o tabletas), en donde se combinan datos digitales presentes en servidores de mapas (cartografía digital o estructuras de datos espaciales), hitos y puntos de interés (POI por sus siglas en inglés), con un sistema de navegación y enrutamiento, los cuales se complementan y guían al usuario en su desplazamiento [5]–[8].

Estos sistemas se implementan mediante un software independiente que se ejecuta en el dispositivo móvil y lee los datos de los sensores especializados presentes aparato (GPS, WiFi, aGPS). Utilizando estos instrumentos y complementado con las capacidades multimedia del móvil para la presentación de la información, es posible iniciar un proceso de navegación asistida, visualizando información de los lugares de interés en un contexto de optimización de la

información entregada (dirección, tiempo, distancia y datos complementarios). De esta manera, con el despliegue adecuado de información es posible la adquisición de tres niveles espaciales de conocimiento y que se sintetizan en los mapas mentales: referencia del medio espacial; secuencia y guía territorial del saber a través de rutas e itinerarios de desplazamientos; y sondeo contextual del conocimiento en un marco espacial general [8]–[10].

C. Realidad Aumentada (RA) en Procesos de Aprendizaje Situado y Móvil

La RA como tecnología de visualización de datos, permite la interacción de elementos del mundo físico-real con representaciones virtuales y digitales en una única interfaz. Esta visualización que se realiza mediante dispositivos electrónicos, es complementaria a la observación real que se realiza de los fenómenos. En este proceso, el usuario mantiene un control implícito de la interactividad de los datos representados y visualizados mediante hardware [6], [11]–[14]. Esta posibilidad de combinar objetos virtuales digitales en un ambiente físico-territorial, ha permitido que los usuarios puedan visualizar conceptos abstractos, experimentar fenómenos y procesos, que son imposibles de observar desde el ámbito exclusivo del mundo real [15]–[17]. En la actualidad, la RA cuenta con la existencia de más de 70 kits de desarrollo de software (SDK por sus siglas en inglés), de los cuales 14 cuentan con tecnología que se complementa a los sistemas de geolocalización y portabilidad [18]. En las tiendas especializadas como Google Play o iTunes es posible encontrar más 500 aplicaciones¹ que incorporan la RA para el despliegue de información temática, las cuales se encuentran en categorías como la entretención, publicidad, referencia, productividad, negocios, entre otros [19], [20]. Lo anterior es un indicador de la relevancia que esta teniendo esta tecnología en la presentación de información en diversos contextos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología propuesta se enmarca en un contexto general del tipo mixto (cuantitativo-cualitativo), dividiéndose en 4 ámbitos:

- 1) La creación del contenido temático mediante la obtención de antecedentes sobre patrimonio de la ciudad de Salamanca.
- 2) El desarrollo de la arquitectura del software respectivo en un contexto de movilidad.
- 3) La recopilación de los datos y el análisis estadístico empírico de funcionalidad.
- 4) La determinación de los niveles de usabilidad y funcionamiento del programa en un contexto de aprendizaje formal.

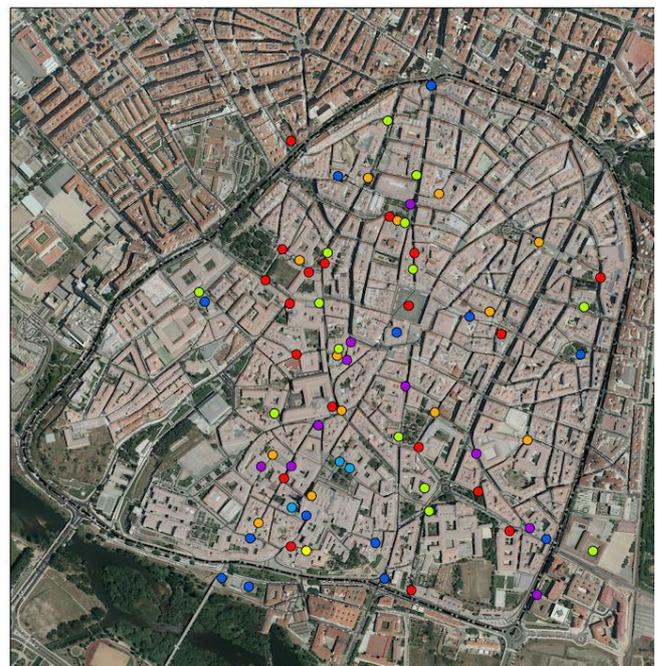
Al igual que en los procesos de creación informático, la generación e implementación de contenidos digitales sobre patrimonio para la educación requiere de las mismas fases de desarrollo: la captura y obtención de los datos iniciales; el procesamiento, análisis e interpretación de dicha información; y la difusión de los contenidos mediante la

visualización interactiva que otorgan los dispositivos móviles [21]. Desde la dimensión cualitativa, este estudio se encuentra enmarcado por las metodologías de la Investigación-Acción y el Caso de Estudio [4], [22], [23], debido a la naturaleza de los contenidos y los elementos presentes dentro del marco temático de estudio (educación en un contexto de portabilidad, movilidad y localidad). Desde esta perspectiva, se desarrollarán las fases esenciales de observación del problema; su interpretación, la evaluación o análisis; y resolución de problemas o la implementación de mejoras. Desde la dimensión cuantitativa la investigación se establece desde un contexto cuasi-experimental [23]–[25] en donde diferentes dimensiones (aprendizaje, usabilidad, comprensión de fenómenos, etc.) se medirán mediante el software creado en grupos previamente establecidos.

B. Contextualización del Contenido Patrimonial: la Ciudad de Salamanca

Para la unidad temática sobre patrimonio, se utilizará la ciudad de Salamanca (España) debido a su fuerte carácter y contenido histórico, lo cual se expresa en la cantidad de inmuebles e hitos urbanos presentes en su planta más antigua. El centro urbano tiene sus orígenes en la época de la primera Edad de Hierro, hace aproximadamente 2700 años [26]. Hacia el año 1102 se presentan los primeros cimientos para lo que se conoce como la ciudad actual, la cual tiene importantes influencias de culturas diversas, con estilos artísticos de diversa índole [27]. De esta manera, para los propósitos de esta investigación, el casco antiguo de Salamanca con sus 125,28 hectáreas de extensión, fue definido como el límite de contenidos temáticos y peatonales, con 72 inmuebles patrimoniales definidos (Figura 2).

Los 72 hitos patrimoniales relevantes han sido seleccionados de diversas fuentes y autores, los cuales se encuentran presentes dentro del casco histórico de la ciudad.



Edificaciones y estilos arquitectónicos predominantes

- Románico
- Plateresco
- Modernista
- Barroco
- Renacimiento
- Neoclásico
- Gótico
- Límite casco histórico

Fig. 2. Área de estudio: casco histórico de la ciudad de Salamanca

¹ Se contabilizaron las aplicaciones para móviles y tabletas presentes hasta el mes de enero de 2015.

Estas edificaciones y estructuras presentan diversas influencias de estilos arquitectónicos como el románico, gótico, mudéjar, del renacimiento, el barroco, el neoclasicismo y el modernismo [27], [28]. Esta información temática es la que se agrupa e interrelaciona, definiendo las rutas de desplazamiento posibles teniendo en consideración elementos como los objetivos de aprendizaje, tiempo y relevancia.

C. Etapa de Desarrollo e Implementación de Software de SNPM-RA

En esta fase se creará e implementará la aplicación SNPM-RA en un ambiente portable y móvil (tabletas²). Los contenidos sobre patrimonio urbano de la ciudad serán incorporados mediante la localización de los lugares y edificaciones iconográficos principales de la ciudad de Salamanca. Además, se considera la creación e implementación de los contenidos de RA respectivos destacando la incorporación de recursos multimedia con las edificaciones monumentales seleccionadas (Figura 3).

Es importante considerar que la implementación y diseño de recursos digitales para RA para los contextos educativos móviles, debe considerar los principios de integración, apropiación, sensibilización, flexibilidad y síntesis de los contenidos temáticos e interfaces que se incluyen en el desarrollo final del programa [29], [30].

Paralelamente, el software SNPM será implementado en función de la extensión territorial definida y las características de la información patrimonial utilizada (estilos arquitectónicos dominantes, relevancia histórica, significado para la cultura local) y considerándose factores como la cercanía espacial, la relevancia de los fenómenos a mostrar, la interacción con otros elementos dentro del área previamente definida y los objetivos pedagógicos perseguidos. Con lo anterior, se generará una propuesta de navegación que guíe al estudiante en el proceso educativo en torno a la temática patrimonial de Salamanca. Con ello se implementa [17]:

- 1) Una visión territorial general de la ruta propuesta y que es desplegada en un mapa digital.
- 2) Una adaptación automática de la visión territorial en base a la posición del dispositivo.
- 3) La posibilidad de generación de diversas escalas de representación espacial según los requerimientos del usuario.
- 4) La posibilidad de la visualización y consulta de otros fenómenos urbanos representados.

Dichas implementaciones podrían tener consecuencias en la comprensión de la información espacial por parte de los estudiantes y con ello, en la forma que se desarrolla el proceso aprendizaje en el ámbito de la navegación y la contextualización territorial de los fenómenos con la mediación de tecnología móvil.

La interfaz de la aplicación despliega la información de geolocalización de los datos de patrimonio definidos, además de la ubicación del dispositivo. La información de la cartografía base es obtenida de servidores de mapas previamente implementados (Google Maps, Apple Maps, OpenStreetMap, Nokia Here o Bing Maps), los cuales son

² El hardware escogido corresponde a las tabletas iPad de Apple Inc. Estos dispositivos tienen pantallas que van de las 7,9 hasta las 9,7 pulgadas. Su sistema operativo iOS, se adapta a los requerimientos de movilidad que se plantea para el software SNPM-RA.



Fig. 3. Catedral de Salamanca en Realidad Aumentada

complementados con la información territorial patrimonial de la ciudad de Salamanca previamente seleccionada para los fines educativos planteados. De manera complementaria, el framework de RA presenta los recursos realizados para la plataforma, en función de los datos de localización y los puntos de interés previamente definidos. Dichos contenidos corresponden a los modelos 3D, audio, texto y video de cada inmueble patrimonial (Figura 4).

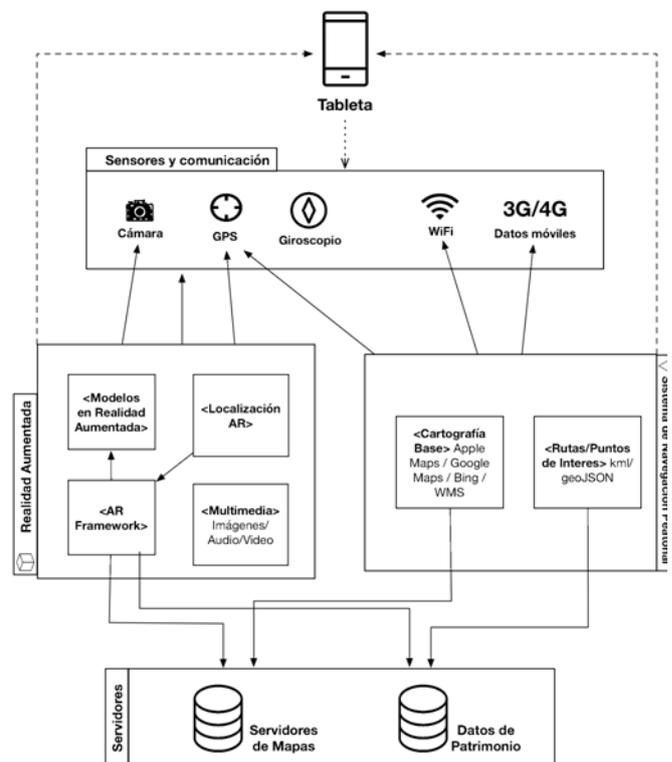


Fig. 4. Diagrama de la aplicación móvil en donde se despliegan el Sistema de Navegación Peatonal, Realidad Aumentada y la información almacenada en servidores.

Estas implementaciones digitales son el valor agregado funcional y temático que se establecerá como base del proceso de enseñanza-aprendizaje propuesto mediante esta herramienta móvil. El resultado de esta etapa corresponde a la realización del software SNPM-RA sobre patrimonio territorial en Salamanca, el cual será evaluado en la etapa siguiente.

D. Diseño y Aplicación del Instrumento de Evaluación

Para la dimensión cuantitativa el principal instrumento para la toma de datos será el mismo software creado e implementado en las tabletas para los usuarios (estudiantes). Las mediciones se realizarán mediante las respectivas adquisiciones que hace el sistema informático:

- 1) Indirectamente, y en relación con la interfaz implementada, las consultas realizadas, la conectividad utilizada, el traspaso de datos, la consulta de los recursos presentados y la navegación realizada.
- 2) Las mediciones directas estarán referidas a una evaluación aplicada a los estudiantes con el objetivo de obtener datos sobre la usabilidad, la percepción y del proceso de aprendizaje recibido (efectividad y significancia).

Para ambos planos se construirá un instrumento ad-hoc con la respectiva evaluación de especialistas y fuentes pertinentes a la investigación en un contexto educativo real: estudiantes de nivel secundario con planes y programas que incluyan los conceptos abordados en la herramienta. La metodología de Estudio de Caso se utilizará con el fin de comprender el contexto y significado de la experiencia educativa propuesta con el software, utilizando entrevistas en profundidad a los actores relevantes, documentación formal y la utilización de contenidos de otras fuentes relacionadas: redes sociales y foros que se implementarán para complementar el proceso propuesto.

E. Procesamiento y Análisis de los Datos Obtenidos

Luego de obtenida la información base, se procederá al procesamiento de los datos conseguidos a través de los softwares para el desarrollo de los modelos espaciales representativos [31], [32]. Paralelamente se ingresarán y codificarán los valores del instrumento para su análisis estadístico. Los resultados obtenidos serán interpretados y analizados en el contexto de la investigación, estableciendo las dimensiones educativas, las características del aprendizaje, los patrones de la usabilidad y las relaciones de la estructura informática desarrollada en un ambiente de uLearning-mLearning [3], [33], [34], [35].

IV. RESULTADOS ESPERADOS

En los resultados esperados se encuentra la construcción de un software adaptable en el marco de la estructura modular y en el ámbito de la movilidad, la navegación y de la interacción virtual, teniendo en cuenta los aspectos educativos y temáticos de referencia (educación para el patrimonio local). De esta manera, la mejora de todos los componentes del sistema, facilitaría y optimizaría su construcción digital, lo que se traduciría en el beneficio de 4 grandes áreas:

- 1) En el desarrollo de optimizaciones de acuerdo a los avances y requerimientos necesarios como instrumento planteado para un contexto educativo informal o formal.

- 2) En la funcionalidad y efectividad educativa de la RA y los modelos digitales generados en un marco de recursos para la educación.

- 3) En la comprensión del aprendizaje de la espacialidad digital (cartografía-localización) mediante un sistema asistido.

- 4) En la información territorial y patrimonial dentro de la movilidad y portabilidad que ofrecen las tabletas como dispositivos aplicados en la formación.

Paralelamente, y desde la dimensión educativa, sería posible plantear que la herramienta desarrollada (SNPM-RA para móviles) tenga una mayor efectividad en el plano educativo, respecto a metodologías y herramientas habituales análogas: libros, mapas y enseñanza directa. La utilización de esta herramienta se desarrollará dentro del contexto de uLearning-mLearning, estableciéndose que es un método adecuado para la adquisición de conocimiento espacial y patrimonial dentro un marco de portabilidad que permiten los dispositivos móviles como las tabletas.

V. CONCLUSIONES

La utilización y generación de un programa SNPM-RA con la temática del patrimonio urbano y con un importante sentido en la identidad local, se plantea como una nueva modalidad de presentar contenidos en los contextos de uLearning-mLearning. Adicionalmente, la necesidad de establecer las fortalezas, potencialidades, debilidades y limitaciones de los dispositivos móviles (tabletas) para la implementación de procesos educativos formales, es otra de las líneas importantes a considerar en el desarrollo investigativo para su posible implementación. La evaluación y desarrollo de este conjunto tecnológico permitiría el adecuado acceso a contenidos específicos y a una mayor personalización en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Además, la investigación tiene un fuerte énfasis en aspectos de implementación y desarrollo tecnológico, complementado con la determinación de sus consecuencias pedagógicas, permitiendo establecer una mejora continua en cada elemento que constituye el sistema SNPM-RA. Se quiere dejar en evidencia que el Aprendizaje Situado y el Aprendizaje Móvil (uLearning-mLearning) son las áreas que han tenido un mayor impacto con el desarrollo de las tecnologías móviles, en la difusión de la información y en el acceso a los datos personalizados. La personalización de los contenidos y procesos en áreas como el patrimonio, permiten una mejora en los procesos de aprendizaje, contextualizándolos a los contenidos y la identidad cultural local.

AGRADECIMIENTOS

Nuestros agradecimientos al proyecto MECESUP UMC0803 “Mejoramiento de la docencia y el aprendizaje a través de la incorporación de estrategias metodológicas TIC, con el fin de fortalecer el curriculum en la formación inicial docente en la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación (FID-UMCE, Chile)”.

Esta investigación se encuentra inserta dentro del Programa de Doctorado “Formación en la Sociedad del Conocimiento” de la Universidad de Salamanca, España, institución académica a la cual expresamos nuestros agradecimientos.

REFERENCIAS

- [1] BBC Mundo, "Ocho maneras de darle usos insospechados a tu celular," *BBC Mundo*. [Online]. Available: http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2015/01/150102_tecnologia_uso_dis_tinto_de_sensores_celular_ig. [Accessed: 07-Jan-2015].
- [2] J. R. Anderson, L. M. Reder, and H. A. Simon, "Situating Learning and Education," *Educ. Res.*, vol. 25, no. 4, pp. 5–11, May 1996.
- [3] J. Lave and E. Wenger, *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge University Press, 1991.
- [4] D. Kember and L. Gow, "Action research as a form of staff development in Higher Education," 1992. [Online]. Available: http://ipes.anep.edu.uy/documentos/libre_asis/materiales/Investigacion%20accion.pdf. [Accessed: 24-Jul-2014].
- [5] Barradas Pereira, Rui, "Pedestrian Navigation - Navipedia," 2011. [Online]. Available: http://www.navipedia.org/index.php/Pedestrian_Navigation. [Accessed: 18-Feb-2014].
- [6] T.-L. Chou and L.-J. ChanLin, "Augmented Reality Smartphone Environment Orientation Application: A Case Study of the Fu-Jen University Mobile Campus Touring System," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 46, pp. 410–416, 2012.
- [7] G. Gartner, "Location-based mobile pedestrian navigation services—the role of multimedia cartography," *JCA UPIMap Tokyo-Jpn.*, 2004.
- [8] L.-S. Pei, S. Cai, and P.-F. Shi, "Mobile Campus Touring System based on AR and GPS," in *Proceedings of the 21st International Conference on Computers in Education*, Indonesia, 2013.
- [9] T.-C. Huang, Y.-W. Chou, Y. Shu, and T.-C. Yeh, "Activating Natural Science Learning by Augmented Reality and Indoor Positioning Technology," in *Advanced Technologies, Embedded and Multimedia for Human-centric Computing*, Y.-M. Huang, H.-C. Chao, D.-J. Deng, and J. J. (Jong H. Park, Eds. Springer Netherlands, 2014, pp. 229–238.
- [10] A. W. Siegel and S. H. White, "The development of spatial representations of large-scale environments," *Adv. Child Dev. Behav.*, vol. 10, pp. 9–55, 1975.
- [11] T. N. Arvanitis, A. Petrou, J. F. Knight, S. Savas, S. Sotiriou, M. Gargalakos, and E. Gialouri, "Human Factors and Qualitative Pedagogical Evaluation of a Mobile Augmented Reality System for Science Education Used by Learners with Physical Disabilities," *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 13, no. 3, pp. 243–250, Mar. 2009.
- [12] R. T. Azuma, "A survey of augmented reality," *Presence*, vol. 6, no. 4, pp. 355–385, 1997.
- [13] J. Joo and J. R. García-Bermejo, "Model of Augmented Reality and Pedestrian Navigation About the Territorial Heritage: Design, Implementation and Evaluation," in *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturalism*, New York, NY, USA, 2014, pp. 633–637.
- [14] D. Ruiz Torres, *La realidad aumentada y su aplicación en el patrimonio cultural*. Gijón: Trea, 2013.
- [15] C. Creed, J. Sivell, and J. Sear, "Multi-Touch Tables for Exploring Heritage Content in Public Spaces," in *Visual Heritage in the Digital Age*, E. Ch'ng, V. Gaffney, and H. Chapman, Eds. Springer London, 2013, pp. 67–90.
- [16] A. Galani, A. Mazel, D. Maxwell, and K. Sharpe, "Situating Cultural Technologies Outdoors: Empathy in the Design of Mobile Interpretation of Rock Art in Rural Britain," in *Visual Heritage in the Digital Age*, E. Ch'ng, V. Gaffney, and H. Chapman, Eds. Springer London, 2013, pp. 183–204.
- [17] H. Huang, M. Schmidt, and G. Gartner, "Spatial Knowledge Acquisition with Mobile Maps, Augmented Reality and Voice in the Context of GPS-based Pedestrian Navigation: Results from a Field Test," *Cartogr. Geogr. Inf. Sci.*, vol. 39, no. 2, pp. 107–116, 2012.
- [18] SocialCompare - Comparison tables, "Augmented Reality SDK Comparison." [Online]. Available: <http://socialcompare.com/en/comparison/augmented-reality-sdks>. [Accessed: 20-Jan-2015].
- [19] Apple Inc., *Aplicaciones de Realidad Aumentada*. Apple Inc., 2015.
- [20] Google, "realidad aumentada - Aplicaciones Android en Google Play." [Online]. Available: <https://play.google.com/store/search?q=realidad+aumentada&c=apps&docType=1&rating=0>. [Accessed: 21-Jan-2015].
- [21] E. Chang and V. L. Gaffney, "Seeing Things: Heritage Computing, Visualisation and the Arts and Humanities," in *Visual Heritage in the Digital Age*, E. Ch'ng, V. Gaffney, and H. Chapman, Eds. Springer London, 2013, pp. 1–11.
- [22] L. Atkins and S. Wallace, *Qualitative Research in Education*. SAGE, 2012.
- [23] R. Hernández, C. Fernández, and P. Baptista, *Metodología de la investigación*, 5ta ed. México: McGraw Hill, 2010.
- [24] D. T. Campbell, *Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social*, 1a. ed., 6a. reimp. Buenos Aires: Amorrortu, 1993.
- [25] S. Nieto, *Principios, métodos y técnicas esenciales para la investigación educativa*. Editorial Dykinson, S.L., 2011.
- [26] M. G. García, *Salamanca en la Baja Edad Media*. Universidad de Salamanca, 1982.
- [27] T. González and J. L. de Celis, *Salamanca: patrimonio de la humanidad* □ : *guía artística* Salamanca: Colegio de España, 1998.
- [28] P. Nuñez Paz, P. Redero Gómez, and J. V. García, *Salamanca: guía de arquitectura*. Colegio Oficial de Arquitectos de León, 2001.
- [29] A. Delić, M. Domančić, P. Vujević, N. Drljević, and I. Botički, "AuGeo: A geolocation-based augmented reality application for vocational geodesy education," in *56th International Symposium ELMAR-2014*, 2014.
- [30] S. Cuendet, Q. Bonnard, S. Do-Lenh, and P. Dillenbourg, "Designing augmented reality for the classroom," *Comput. Educ.*, vol. 68, pp. 557–569, Oct. 2013.
- [31] C. S. Colls and K. Colls, "Reconstructing a Painful Past: A Non-Invasive Approach to Reconstructing Lager Norderney in Alderney, the Channel Islands," in *Visual Heritage in the Digital Age*, E. Ch'ng, V. Gaffney, and H. Chapman, Eds. Springer London, 2013, pp. 119–146.
- [32] S. Fotheringham and P. Rogerson, *Handbook of spatial awareness*. London: SAGE, 2007.
- [33] M. Á. Conde, C. Muñoz, and F. J. García, "Sistemas de Adaptación de contenidos para dispositivos móviles," in *Proc. Actas del congreso de IX Congreso Internacional de Interacción Persona-Ordenador*, Albacete, 2008, pp. 143–147.
- [34] J. C. Sánchez Prieto, S. O. Migueláñez, and F. J. García-Peñalvo, "Mobile Learning: Tendencies and Lines of Research," in *Proceedings of the First International Conference on Technological Ecosystem for Enhancing Multiculturalism*, New York, NY, USA, 2013, pp. 473–480.
- [35] J. C. Sánchez Prieto, S. Olmos Migueláñez, and F. J. García-Peñalvo, "Understanding mobile learning: devices, pedagogical implications and research lines," *Revista Teoría de la Educación: Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, vol. 15, pp. 20–42, 2014.

Jorge Joo Nagata es doctorando del programa "Formación en la Sociedad del Conocimiento" de la Universidad de Salamanca y becario del programa MECESUP UMC0803 "Mejoramiento de la docencia y el aprendizaje a través de la incorporación de estrategias metodológicas TIC, con el fin de fortalecer el currículum en la formación inicial docente en la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación (FID-UMCE, Chile)". Sus líneas de investigación son las tecnologías aplicadas al estudio del territorio, los Sistemas de Información Geográfica y las herramientas Geomáticas en contextos educativos. En la actualidad realiza su tesis doctoral sobre Realidad Aumentada y Sistemas de Navegación Móvil aplicados a contextos educativos.

José Rafael García-Bermejo Giner es doctor en Física (1989, Universidad de Salamanca, España) y posee la Certificación Apple ACTC T3 (Snow 100, Snow 101, Snow 201). Actualmente desarrolla su actividad académica como Profesor Titular del Departamento de Informática y Automática de la Universidad de Salamanca en el área de Lenguajes y Sistemas Informáticos. Ha realizado estancias como docente e investigador

en diferentes universidades de Alemania y Finlandia. Es coordinador Erasmus de los estudiantes de Ingeniería Informática. Sus principales líneas de investigación incluyen programación estructurada, programación orientada a objetos, interfaces Hombre-Máquina, interfaces de usuario, dispositivos móviles y administración de sistemas. Es autor y traductor técnico de un gran número de libros.

Fernando Martínez Abad es Profesor Ayudante en el Área de Métodos de Investigación y Diagnóstico en Educación de la Universidad de Salamanca. Doctor en Ciencias de la Educación (2013, Universidad de Salamanca, España), ha participado como investigador en proyectos de investigación tanto nacionales como de carácter internacional. Coautor en varias publicaciones nacionales e internacionales de impacto relacionadas con la evaluación y el desarrollo de competencias básicas en la educación obligatoria.