

Autoría y analítica de aplicaciones móviles educativas multimodales

Iván Ruiz-Rube, José Miguel Mota, Tatiana Person, Anke Berns, Juan Manuel Dodero

Escuela Superior de Ingeniería

Universidad de Cádiz

Puerto Real (Cádiz), España

{ivan.ruiz | josemiguel.mota}@uca.es, tatiana.personmontero@alum.uca.es, {anke.berns | juanma.dodero}@uca.es

Resumen—Las interacciones de los estudiantes con dispositivos y aplicaciones móviles con propósitos educativos generan una gran cantidad de información que puede ser tratada con técnicas analíticas y de minería de datos para que el profesor pueda tomar decisiones relacionadas con el aprendizaje. No obstante, el desarrollo de aplicaciones móviles que sean capaces de recoger estas interacciones no es trivial para un usuario que no posea los conocimientos adecuados de programación. En este artículo se propone un componente para la captura y análisis de interacciones dentro de una herramienta de autor para la creación de aplicaciones móviles con capacidades extendidas, sin necesidad de tener amplios conocimientos de programación. La evaluación de la propuesta se ha llevado a cabo mediante el desarrollo y recogida de interacciones de una aplicación de apoyo al aprendizaje de idiomas utilizando realidad aumentada.

Palabras clave—Herramientas de autor; learning analytics; educational data mining; realidad aumentada; mobile learning

I. INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones para los dispositivos móviles cada vez juegan un papel más importante en la sociedad, ya que ofrecen soporte en muchas de nuestras actividades diarias. En los repositorios habituales de contenidos digitales, como *Google Play* o *App Store*, podemos encontrar aplicaciones de muy diversa índole: desde aplicaciones para la comunicación entre las personas, pasando por el entretenimiento, hasta el control y seguimiento del estilo de vida. También han proliferado aplicaciones con diferentes fines educativos: explicación de temas o conceptos concretos, evaluación de alumnos, realización de experimentos de laboratorio, juegos educativos, etc. Los avances técnicos en los dispositivos móviles han permitido que tecnologías como la Realidad Virtual (RV) y la Realidad Aumentada (RA) puedan ser desplegadas para crear entornos virtuales *extendidos* con los que el usuario puede interactuar. El concepto de *Virtuality Continuum* es introducido en [1] donde se describe la existencia de una escala continua para definir las composiciones entre objetos virtuales y reales, la cual oscila desde una realidad completamente virtual a una completamente real. La RV consiste en la inmersión del usuario en un mundo virtual [2], que sustituye al mundo real, mientras que en la RA los elementos virtuales se mezclan con el mundo real teniendo el usuario la percepción de que ambos coexisten en el mismo espacio [3]. Sin embargo, para que los usuarios puedan interactuar de la manera más natural posible con los elementos virtuales y lograr una mayor inmersión, se requiere la utilización de tecnologías avanzadas de Interacción Humano-Máquina (HMI). Durante los últimos años han proliferado dispositivos de

HMI preparados para la interacción multimodal [4] [5] [6] entre los que podemos destacar el uso de elementos para la interacción verbal, mediante el uso de órdenes y pistas auditivas [7]; la táctil, mediante el uso de superficies sensibles y dispositivos hápticos [8]; o la gestual, mediante la captura del movimiento humano [9]. Todas estas nuevas vías de interacción pueden mejorar la experiencia de usuario en su proceso de enseñanza/aprendizaje.

Por otro lado, las nuevas vías de interacción entre usuarios y dispositivos móviles están generando una gran cantidad de datos [10] que son susceptibles de ser capturados y posteriormente procesados mediante técnicas de Learning Analytics (LA) y Educational Data Mining (EDM). Utilizando estas técnicas, los datos pueden ser transformados en información y conocimiento que nos permitirá evaluar la experiencia y el aprendizaje de los usuarios, además de la usabilidad de las propias aplicaciones [11] [12] [13]. En este sentido, se han desarrollado varias especificaciones relacionadas con las analíticas de aprendizaje, tales como *Learning Tools Interoperability* (LTI), para facilitar la integración de herramientas de *e-learning*; *Experience API* (xAPI), para la publicación de metadatos sobre actividades reales de aprendizaje; o la más reciente *Caliper Analytics*, para la extracción de datos y cómputo de métricas [14]. No obstante, hay que tener en cuenta la dificultad intrínseca que supone la construcción de aplicaciones móviles que hagan uso de características avanzadas de RV, RA, HMI, LA o EDM, especialmente para aquellos usuarios sin amplios conocimientos de programación. En este trabajo se describe un entorno de autor para usuarios sin amplios conocimientos de programación que les permite diseñar aplicaciones móviles para el despliegue de escenarios interactivos de aprendizaje que sean fácilmente analizables. El resto del artículo se estructura de la siguiente forma: en la sección 2 se describe la propuesta para la autoría y analítica de escenarios educativos multimodales; en la sección 3 se recoge la evaluación de la propuesta en el contexto de una asignatura para el aprendizaje del alemán como lengua extranjera. Por último, se presentan las conclusiones derivadas de esta investigación.

II. AUTORÍA Y ANALÍTICA DE ESCENARIOS DE APRENDIZAJE MULTIMODALES

De forma general, los ciudadanos suelen comportarse como meros consumidores de tecnología (teléfonos inteligentes, tabletas, robots, etc.). Sin embargo, en todos los sectores de la sociedad, pero en especial, en la educación, es deseable que los profesionales de la enseñanza sean capaces de producir sus propios servicios, aplicaciones o productos digitales educativos.

La meta es, por tanto, conseguir que estos profesionales puedan poner la tecnología a su servicio, en lugar de que sean conducidos por ella [15]. Sin embargo, esta misión no es fácil de conseguir, ya que trasladar los conceptos e instrumentos docentes a una solución informática suele ser una tarea compleja que requiere la participación de expertos informáticos. En consecuencia, es vital disponer de entornos que permitan el desarrollo de soluciones informáticas para dar respuesta a los desafíos propios de la enseñanza y el aprendizaje. Por este motivo, y bajo la hipótesis de que el uso de lenguajes visuales basados en bloques (v.g. *Google Blockly*) puede aliviar las dificultades inherentes al desarrollo de aplicaciones móviles con fines educativos, hemos creado la herramienta *Visual Environment for Designing Interactive Learning Scenarios (VEDILS)*. Es importante reseñar que este tipo de lenguaje ha sido utilizado con éxito en diferentes iniciativas para la introducción de la programación en las escuelas, como *One Hour of Code*¹ o en la herramienta educativa *Scratch*².

A. Entorno de autoría

El entorno de autoría propuesto permite la construcción de escenarios interactivos de aprendizaje multimodales y fácilmente analizables. Este entorno se ha construido sobre la base *AppInventor*³, una plataforma open-source desarrollada por Google y el MIT, que permite a los usuarios noveles en la programación construir apps para dispositivos *Android*. La plataforma está compuesta por diferentes módulos:

- Una aplicación GWT para el diseño de las interfaces de usuario de las aplicaciones (véase la Figura 1).
- Un editor basado en *Blockly* para programar la lógica de comportamiento de las aplicaciones (Figura 2).
- Un motor de compilación para transformar el diseño y la lógica anterior en un fichero (.apk) para su posterior instalación en dispositivos *Android*.



Fig. 1. Vista de diseño

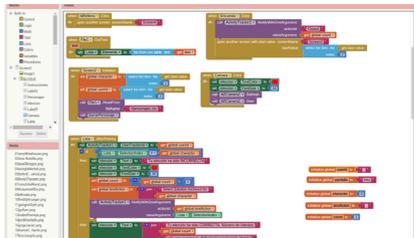


Fig. 2. Vista de bloques

- Un intérprete para depurar las aplicaciones directamente en los dispositivos móviles.

Los usuarios pueden desarrollar sus propias aplicaciones, para lo que disponen de un conjunto de componentes visuales para la interfaz de usuario (botones, cajas de texto, imágenes, etc.) y otros componentes (no visuales) para obtener datos de los sensores del dispositivo (acelerómetro, ubicación, etc.), interactuar con redes sociales, almacenar información de manera persistente y reproducir elementos multimedia, entre otras funciones.

VEDILS es la propuesta que hemos diseñado para ofrecer a los profesionales de la educación un conjunto de características adicionales que se pueden integrar con las ya proporcionadas en *AppInventor*. Actualmente, se ofrecen las siguientes características:

- Realidad aumentada: *VEDILS* permite desarrollar escenarios de RA gracias a una serie de componentes específicos, tales como *ARCamera*, que permite mostrar en las aplicaciones la imagen real capturada desde la cámara; componentes *ARTrackers*, que permiten disparar acciones cuando ciertos elementos como imágenes, marcadores, objetos o textos son reconocidos; y componentes *ARAssets* para insertar, rotar y mover objetos virtuales (modelos 3D, imágenes o textos) que serán superpuestos sobre la imagen real en posiciones relativas a los *ARTrackers*. En la figura 3a se puede observar la paleta de herramientas diseñada para trabajar con RA.
- Interacción gestual: se incluye un componente (*HandGestureSensor*) para capturar, mediante un dispositivo *Leap Motion*⁴, los diferentes gestos realizados con las manos y los dedos. Estas interacciones dispararán eventos que podrán ser manejados desde las aplicaciones. En la figura 3b podemos observar algunos de los bloques que permiten gestionar determinadas interacciones gestuales.

1 <https://code.org/learn>
2 <https://scratch.mit.edu/>

3 <http://appinventor.mit.edu>
4 <https://www.leapmotion.com/>

- **Análisis de aprendizaje:** se incluye un componente, denominado *ActivityTracker*, que permite recopilar fácilmente datos de las interacciones de los usuarios.

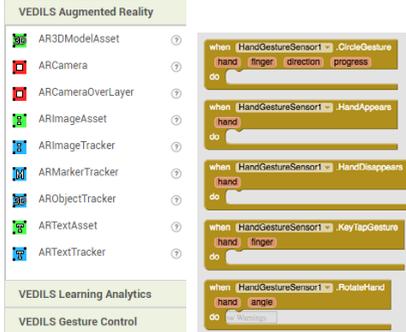


Fig. 3. (a) Componentes RA (b) Bloques para interacción gestual

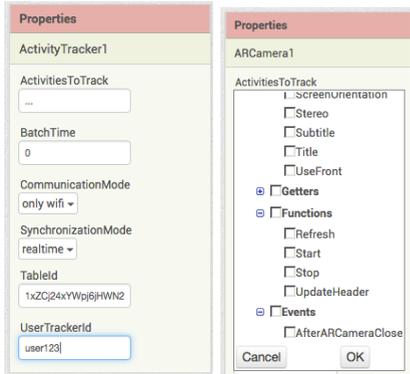


Fig. 4. (a) Configuración básica (b) Selección de actividades a registrar

B. Analítica del aprendizaje

Las analíticas de aprendizaje tienen por objetivo procesar y analizar los flujos de datos generados durante las experiencias de aprendizaje para así entender mejor y poder optimizar el proceso de aprendizaje y los entornos donde ocurren [16]. Se trata de un área emergente dentro del *e-learning* y, en general, consta de las siguientes etapas: capturar, reportar, predecir, actuar y refinar [17]. En *VEDILS* se ha desarrollado un componente (*ActivityTracker*) cuya misión es la de facilitar el proceso de captura de datos procedentes de las interacciones

realizadas entre los usuarios y los dispositivos móviles, para luego volcarlos sobre un almacén de datos. Actualmente, el almacén soportado por este componente es *Google Fusion Tables*, un servicio disponible en Internet para almacenar información y realizar tareas analíticas. Gracias a este componente, es posible enviar datos con una semántica definida ad hoc por el diseñador de la aplicación o bien enviar datos directamente procedentes de las interacciones que ocurren con cada uno de los componentes incluidos en la aplicación móvil. Es preciso tener en cuenta que todos los componentes que se ofrecen en *VEDILS* para construir aplicaciones constan de una serie de propiedades, eventos y funciones. Así por ejemplo, el componente *ARCamera* dispone de una *función* para lanzar la escena de RA; el componente *ARMarkerTracker* disparará un *evento* cuando se detecte una marca de RA dentro del campo de visión de la cámara; y el componente *AR3DModel* permitirá representar el modelo 3D cuyo fichero contenedor se haya seleccionado en una de sus *propiedades*. El componente *ActivityTracker* es capaz de enviar datos de forma automática cada vez que, durante la ejecución de la aplicación en el dispositivo móvil, se realiza una invocación a alguna función, se lanza algún evento o se accede o modifica el valor de alguna de las propiedades de cualquiera de los componentes utilizados. De esta forma, se interceptará cada una de esas acciones y, para cada una, se capturará el nombre de la propiedad, la función o evento afectado y los argumentos y valores de salida obtenidos. Además de los datos anteriores, *ActivityTracker* es capaz de recopilar los siguientes datos de forma automática y transparente para el diseñador de la aplicación: fecha y hora del evento, identificador de la aplicación y de la pantalla desde la que se genera el evento, direcciones IP y MAC del dispositivo, IMEI, identificador del usuario (si lo tuviese definido) y ubicación geográfica (latitud y longitud). El componente es muy configurable (véase la figura 4a), permitiendo definir ciertos aspectos relativos a la captura de datos:

- **Modo de comunicación:** permite configurar si el envío de datos se realizará sólo cuando el dispositivo esté conectado a una red wifi (para ahorrar el consumo de datos móviles) o si es indiferente del tipo de conexión establecida.
- **Ritmo de transmisión de datos:** permite configurar si la información será enviada en tiempo real, por lotes (configurable para que sea cada cierto tiempo y así reducir el tráfico de red) o sólo bajo demanda (invocando una función específica del *ActivityTracker* desde la vista de bloques de *VEDILS*). El componente utiliza el framework *Shared Preferences* de *Android* para almacenar los datos de forma temporal.
- **Actividades a registrar:** el diseñador de la aplicación puede indicar, para cada uno de los componentes incluidos en la aplicación, qué eventos, propiedades y funciones quiere que sean interceptadas para el registro de los datos. Véase la Figura 4b, donde se muestra cómo se pueden seleccionar las actividades a interceptar, en este ejemplo, para el componente *ARCamera*. Internamente se utilizan técnicas de programación

5 <https://www.google.com/fusiontables>

orientada a aspectos [18] con *AspectJ* para entrelazar, de forma no intrusiva y en tiempo de compilación, el código fuente para la captura y envío de datos dentro del código de cada uno de los componentes.

III. EVALUACIÓN

A. Aplicación móvil para el aprendizaje de idiomas

Con el objeto de evaluar la plataforma *VEDILS* y construir un escenario de aprendizaje móvil, se desarrolló la aplicación *WerBinIch* que ayuda al aprendizaje del alemán como lengua extranjera. Esta aplicación, diseñada por profesores de alemán que imparten clase en un total de 12 titulaciones diferentes (Grado de Estudios Ingleses, Franceses, etc.) de la Universidad de Cádiz, pretende reforzar de manera dinámica los conocimientos adquiridos por los alumnos a la hora de describir las características físicas (color de pelo, altura, etc.) y no físicas (profesión, carácter, etc.) de las personas.

En el año 2001 el Consejo Europeo publicó el Marco Común Europeo de Referencia para las Lenguas (MCERL) describiendo, entre otros, la competencia oral a alcanzar en el nivel A2: "Saber hacer una descripción o presentación sencilla de personas, condiciones de vida o trabajo, actividades diarias, cosas que le gustan o no le gustan en una breve lista de frases y oraciones sencillas" [19]. Así pues, la app *WerBinIch* fue diseñada en línea con las directrices propuestas por el MCERL proporcionando a los estudiantes una herramienta lúdica de aprendizaje para fortalecer su competencia oral. La aplicación propone el popular juego *¿Quién soy yo?*, pero enriquecido con RA. En este juego cada alumno debe intentar averiguar el personaje que le ha sido asignado, y para ello debe realizar una serie de preguntas a sus compañeros sobre las características que podría tener su personaje y a su vez ayudar a sus compañeros respondiendo las preguntas sobre sus personajes.

A continuación se detallan los pasos principales para participar en la actividad. En primer lugar, el alumno debe seleccionar al azar una marca de RA, que deberá colocar de forma visible sobre su pecho (Figura 5a). Cada una de estas marcas está asociada a un determinado personaje popular. A continuación debe iniciar la aplicación e introducir su nombre (Figura 5b). Posteriormente, la aplicación necesita saber cuál es el personaje que tiene asignado el participante. Para ello, se le solicita que capture la marca con la aplicación (Figura 6a), emitiéndose un sonido cuando ésta ha sido capturada correctamente. A partir de ese momento, los participantes pueden empezar a interactuar entre ellos, respondiendo a las preguntas que les hagan sus compañeros sobre las características de sus personajes y preguntando sobre aquellas otras características que les ayude a adivinar el suyo. Los participantes podrán visualizar las imágenes de los personajes capturando las marcas de sus compañeros (Figura 6b), teniendo en cuenta que la aplicación nunca mostrará la imagen del personaje que tuviese asignado. Una vez que el alumno se siente preparado para responder cuál es su personaje, la aplicación le permite seleccionarlo a partir de una lista (Figura 7a). Cuando la selección es correcta, la aplicación notifica el acierto y, en caso contrario, la aplicación vuelve a mostrar la cámara de RA para que el alumno pueda continuar interactuando con sus compañeros y seguir con la dinámica del juego. Al finalizar el

juego, la aplicación insta al usuario a rellenar una encuesta de satisfacción (figura 7b) siguiendo un modelo Technology Acceptance Model (TAM) [20].



Fig. 5. (a) Etiqueta de RA

(b) Identificación de alumno



Fig. 6. (a) Captura personaje del alumno

(b) Captura personaje compañeros

Para la implementación del juego con *VEDILS* se emplearon los componentes de RA para el reconocimiento de las marcas y el renderizado de las imágenes de los personajes; y el componente *ActivityTracker* para recoger en tiempo real las interacciones de los estudiantes. De esta forma, el componente registra las siguientes interacciones: identificación del usuario, reconocimiento del personaje asignado a su marca personal, reconocimiento de las marcas de los compañeros, selección correcta o incorrecta del personaje y salida de la aplicación.

B. Despliegue de la aplicación y análisis de los resultados

Una vez desarrollada la aplicación *WerBinIch* se llevó a cabo una prueba piloto con estudiantes reales. La prueba, que duró alrededor de 45 minutos, se llevó a cabo en la asignatura de Alemán II (nivel A2 del MCERL) con un total de 41 estudiantes. El objetivo de la asignatura es familiarizar a los estudiantes con las estructuras y estrategias básicas para poder comunicarse en

situaciones cotidianas y sencillas.

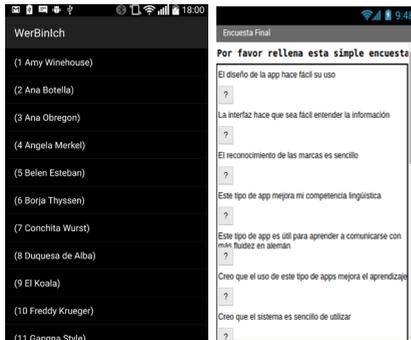


Fig. 7. (a) Lista de personajes

(b) Encuesta

Durante el transcurso de la experiencia piloto, multitud de datos fueron capturados y almacenados, a partir de los cuales pudimos extraer algunos resultados interesantes. En la figura 8 podemos comprobar el promedio de fallos por juego en el que participaron los alumnos. Según estos datos, casi dos tercios de los participantes fueron capaces de adivinar el personaje secreto sin cometer ni un sólo fallo, mientras que un 22% cometió uno y el resto dos o más. Además, en la Figura 9 podemos observar los datos relativos a cada uno de los personajes que formaban parte del juego. Para cada uno de ellos se indica en cuántas ocasiones ese personaje ha sido visualizado mediante RA en los dispositivos móviles, en cuántas ocasiones los alumnos han asumido ese personaje, el número de veces que los alumnos han adivinado o fallado el personaje y, por último, el promedio de fallos (cociente entre el número de intentos fallidos y el de participaciones). A partir de una primera exploración de estos resultados, podemos destacar que los personajes P4, P9 y P11 han sido los que han presentado un mayor promedio de intentos fallidos. Esto puede dar una indicación de que los alumnos presentan mayores dificultades a la hora de describir y comprender en alemán las características físicas (o no físicas) que identifican a esos personajes. A partir de esta información, el profesor podría plantear actividades específicas de refuerzo de vocabulario para la descripción de ciertas características de las personas.

Con respecto a la encuesta planteada, los resultados fueron en general positivos, especialmente en lo relativo a la sensación de disfrute y de utilidad percibida. El aspecto menos positivo fue el relativo a la facilidad de instalación, ya que algunos estudiantes tuvieron problemas debido a las restricciones de seguridad existentes en los dispositivos *Android* por las que se impide instalar aplicaciones desde sitios diferentes del repositorio oficial.

El acceso al entorno de autoría, la aplicación *WerBinch* y los resultados del caso de estudio se encuentran disponibles en el sitio web de *VEDILS*.

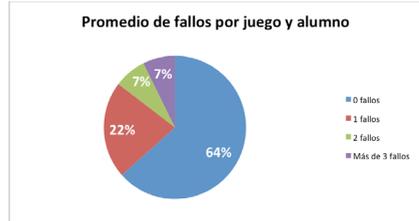


Fig. 8. Promedio de fallos

ID	Personaje	Visualizaciones	Participaciones	Intentos correctos	Intentos fallidos	Promedio de fallos
1	Amy Winehouse	44	12	5	7	0,8
2	Ana Botella	108	6	4	3	0,5
3	Ana Obregon	57	8	1	1	0,1
4	Angela Merkel	64	7	4	27	3,9
5	Belen Esteban	47	5	0	0	0
6	Borja Thyssen	95	5	2	1	0,2
7	Conchita Wurst	58	4	3	2	0,5
8	Duquesa de Alba	33	3	2	1	0,3
9	El Koala	58	4	3	6	1,5
10	Freddy Krueger	49	3	2	1	0,3
11	Ginama Sista	49	2	1	5	2,5
12	Gollum	55	0	0	0	0
13	Isabel Pantoja	1	0	0	0	0
14	Jordi Murodo	25	6	0	3	0,5
15	Jorge Javier	29	2	1	0	0
16	Karmele Marchante	25	2	0	0	0
17	Kim Jongun	13	1	0	0	0
18	King Kong	31	1	1	0	0
19	Marc Marquet	31	0	1	0	0
20	Paseo	35	0	0	0	0

Fig. 9. Análisis exploratorio de resultados

IV. CONCLUSIONES

En los últimos años ha habido un crecimiento extraordinario en cuanto al número de dispositivos y aplicaciones móviles para dar servicio y ofrecer entretenimiento a los usuarios. Asimismo, los numerosos avances en tecnologías de realidad virtual/aumentada y de interacción multimodal (verbal, táctil y gestual) están llevando la experiencia de usuario a cotas antes no imaginables. En este sentido, el sector de la educación no es ajeno a ello, ya que todos estos elementos pueden resultar clave para desarrollar nuevos productos digitales que mejoren el proceso de enseñanza/aprendizaje. Por otra parte, el uso masivo de aplicaciones que incluyan todas esas nuevas vías de interacción genera una gran cantidad de datos que son susceptibles de ser capturados y posteriormente procesados mediante técnicas analíticas. Sin embargo, la construcción de aplicaciones móviles educativas que hagan uso de todas esas características avanzadas por parte de los propios profesionales de la enseñanza resulta, a menudo, una tarea demasiado compleja.

En este trabajo se describe *VEDILS*, una herramienta para la creación de escenarios interactivos de aprendizaje sobre dispositivos móviles. Las aplicaciones generadas con este entorno pueden incluir elementos de realidad aumentada y reconocimiento gestual, a la vez que pueden recopilar datos

sobre las interacciones que realiza el usuario final. Todo ello se hace mediante un entorno de autoría muy sencillo y apto para personas sin amplios conocimientos de programación. El entorno incluye el componente *ActivityTracker*, que permite recopilar, de manera no intrusiva y transparente, todas las interacciones que se producen durante la ejecución de las aplicaciones y enviarlas a un almacén de datos remoto. El componente permite configurar el modo de comunicación a emplear para el envío de datos (sólo mediante redes wifi o con cualquier tipo de red), el ritmo de transmisión de datos (bajo demanda, en tiempo real o por lotes) y la tipología de interacciones que se quieren registrar (llamadas a funciones, recepción de eventos y modificación o acceso a propiedades de los componentes).

Con *VEDLS* se ha desarrollado una aplicación lúdica de aprendizaje para el fortalecimiento de la competencia oral en estudiantes de alemán *WerBinch*. La realización de la prueba piloto permitió recopilar información relativa al uso de la aplicación por parte de los alumnos, a partir de la cual el profesor podría tomar determinadas medidas como, por ejemplo, el refuerzo de cierto tipo de vocabulario específico. Asimismo, este caso de estudio preliminar permitió detectar debilidades y posibilidades de mejora, tanto en la propia app diseñada, como en el componente para la captura de datos. Como trabajo futuro, se pretende seguir evolucionando ambos elementos y conseguir una evaluación más completa y detallada, repitiendo la experiencia con un mayor número de estudiantes. Entre otras actuaciones de mejora, se tiene previsto la generalización del componente *ActivityTracker* para dar soporte a diferentes tipos de almacenes de datos e incluir compatibilidad con las especificaciones xAPI y *Caliper Analytics*.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado a través del programa de actuaciones avaladas para la mejora docente de la Universidad de Cádiz, con los proyectos sol-201500054605-tra "La Realidad Aumentada como recurso didáctico para la mejora del aprendizaje de una lengua extranjera" y sol-201500054613-tra "Herramienta para el despliegue de manuales virtuales secuenciales en dispositivos móviles", con fondos provenientes de la Junta de Andalucía.

REFERENCIAS

- [1] P. Milgram and F. Kishino, "Taxonomy of mixed reality visual displays," *IEEE Transactions on Information and Systems*, vol. E77-D, no. 12, pp. 1321–1329, 1994.
- [2] M. Palomo-Duarte, A. Berns, A. Cejas, J. M. Dodero, J. A. Caballero, and I. Ruiz-Rube, "Assessing foreign language learning through mobile game-based learning environments," *International Journal of Human Capital and Information Technology Professionals*, vol. 7, no. 2, pp. 53–67, 2016.
- [3] M. Billinghurst and A. Duenser, "Augmented reality in the classroom," *Computer*, no. 7, pp. 56–63, 2012.
- [4] M. Turk, "Multimodal interaction: A review," *Pattern Recognition Letters*, vol. 36, pp. 189–195, 2014.
- [5] J. Shen, and M. Pantic, "A software framework for multimodal human-computer interaction systems," *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 43, no. 6, pp. 1593–1606, Dec 2013.
- [6] J. Cruz-Benito, R. Therón and F. J. García-Peñalvo, "Software architectures supporting human-computer interaction analysis: A literature review," in *Learning and Collaboration Technologies: Third International Conference, LCT 2016, Held as Part of HCI International 2016, Toronto, ON, Canada, July 17–22, 2016. Proceedings*, P. Zaphiris and I. Ioannou, Eds., Switzerland: Springer International Publishing, 2016.
- [7] K. Bain, S. H. Basson and M. Wald, "Speech recognition in university classrooms: liberated learning project," in *Proceedings of the 5th International ACM Conference on Assistive Technologies*. ACM, 2002, pp. 192–196.
- [8] G. Esteban, C. Fernández, M. A. Conde and F. J. García-Peñalvo, "Playing with shule: 2nd surgical haptic learning environment," in *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*. ACM, 2014, pp. 247–253.
- [9] L. Wei, H. Zhou, A. K. Soe and S. Nahavandi, "Integrating kinest and haptics for interactive stem education in local and distributed environments," in *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechanisms*. IEEE, 2013, pp. 1058–1065.
- [10] J. K. Laurila, D. Gatica-Perez, I. Aad, O. Bornet, T.-M.-T. Do, O. Dousse, J. Eberle, M. Miettinen et al., "The mobile data challenge: Big data for mobile computing research," in *Pervasive Computing*, no. EPFL-CONF-192489, 2012.
- [11] R. S. d. Baker and P. S. Inventado, "Educational data mining and learning analytics," in *Learning Analytics*. Springer, 2014, pp. 61–75.
- [12] P. Blikstein, "Multimodal learning analytics," in *Proceedings of the 3rd International Conference on Learning Analytics and Knowledge*. ACM, 2013, pp. 102–106.
- [13] B. Biel, T. Grill, and V. Grluh, "Exploring the benefits of the combination of a software architecture analysis and a usability evaluation of a mobile application," *Journal of Systems and Software*, vol. 83, no. 11, pp. 2031–2044, Nov. 2010.
- [14] A. Corbi and D. Burgos, "Review of current student-monitoring techniques used in learning-focused recommender systems and learning analytics: the experience api & lime model case study," *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 2, no. 7, pp. 44–52, 2014.
- [15] D. Rushkoff, *Program or be programmed: Ten commands for a digital age*. OR Books, 2010.
- [16] L. Johnson, S. Becker, V. Estrada, and A. Freeman, *Horizon Report: 2014 Higher Education*. The New Media Consortium, 2014.
- [17] J. P. Campbell, D. G. Oblinger et al., "Academic analytics," *EDUCAUSE review*, vol. 42, no. 4, pp. 40–57, 2007.
- [18] A. Colyer, A. Clement, G. Harley, and M. Webster, *Eclipse AspectJ: Aspect-oriented Programming with AspectJ and the Eclipse AspectJ Development Tools*. Addison-Wesley Professional, 2004.
- [19] N. Verhelst, P. Van Avermaet, S. Takala, N. Figueras, and B. North, *Common European Framework of Reference for Languages: learning, teaching, assessment*. Cambridge University Press, 2009.
- [20] V. Venkatesh and F. D. Davis, "A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies," *Management Science*, vol. 46, no. 2, pp. 186–204, 2000.