

Tecnología educativa en el grupo GAST-UC3M: Un septenio más tarde

**Carlos Delgado Kloos, Iria Estévez-Ayres, Pedro J. Muñoz-Merino,
María Blanca Ibáñez, Carlos Alario-Hoyos, Carmen Fernández-Panadero,
Raquel M. Crespo-García, Mario Muñoz-Organero**

Universidad Carlos III de Madrid
Av. Universidad, 30, 28911 Leganés (Madrid)
{cdk, ayres, pedmume, mbibanez, calario, mcfp, rcrespo, munozm}@it.uc3m.es

Resumen:

En este artículo se pasa revista a las líneas de investigación en torno a la tecnología educativa que se realiza en el grupo de investigación GAST-UC3M del Departamento de Ingeniería Telemática de la Universidad Carlos III de Madrid, en concreto en el laboratorio GRADIENT, que es uno de los tres laboratorios de este grupo de investigación. La descripción se organiza en tres temas: (1) MOOCs, SPOCs y blended learning, (2) analítica del aprendizaje y (3) realidades mixtas (realidad aumentada y realidad virtual).

Palabras clave:

Tecnología educativa, *massive open online courses*, *small private online courses*, *blended learning*, analítica del aprendizaje, realidad aumentada, realidad virtual

Abstract:

In this paper, we review the research lines on educational technology performed by the GAST-UC3M research group of the Telematic Engineering Dept. of Universidad Carlos III de Madrid, and in particular, of the GRADIENT lab, which is one of the three labs in this research group. The description is organized in three topics: (1) MOOCs, SPOCs, and blended learning, (2) learning analytics, and (3) mixed realities (augmented reality and virtual reality).

Key words:

Educational technology, massive open online courses, small private online courses, blended learning, learning analytics, augmented reality, virtual reality

1. Introducción

En el año 2012, el grupo de investigación GAST-UC3M presentó en el número 15 de esta misma revista (Delgado Kloos et al. 2012) sus líneas de investigación en torno a la tecnología educativa. En el presente artículo, se actualiza el estado del trabajo del grupo de investigación a partir de esa fecha.

En 2012, la actividad investigadora se agrupaba en torno a 3 líneas:

- Personalización del aprendizaje con especial atención a la analítica del aprendizaje
- Uso de dispositivos móviles con fines educativos
- Aplicación de Realidad Virtual y Realidad Aumentada en educación

Un tema incipiente en el periodo anterior fue el de los MOOCs (*Massive Open Online Courses*, cursos online masivos y abiertos). El año 2012 fue declarado el año del MOOC por parte de *The New York Times*. A finales de 2012 se creó MiriadaX, a la que se asoció

inmediatamente la UC3M. Desde el grupo se desplegó un curso sobre *La educación digital del futuro* de febrero a abril 2013. La plataforma edX fue lanzada en mayo 2012 por parte de MIT y Harvard. La UC3M se incorporó al consorcio edX en febrero 2013 y desde entonces se han lanzado desde este grupo varios MOOCs. Algunos de ellos se han convertido además en SPOCs (*small private online courses*, cursos online privados y pequeños) para su uso en asignaturas regladas. Dada la importancia tanto de MOOCs como de SPOCs en la actualidad, se dedica en este artículo una sección a la investigación y trabajos relacionados con el diseño, el despliegue y la evaluación de MOOCs y SPOCs.

Si en 2012 la analítica del aprendizaje empezaba a despuntar, en los últimos años ha crecido en importancia y también la actividad del grupo de investigación al respecto. Esto ha sido así entre otras razones por la aparición de MOOCs, que han permitido recoger grandes cantidades de datos. Se dedica una sección del presente artículo específicamente al tema de *Learning Analytics*.

Si en 2012 se pudieron reportar investigaciones con tecnologías de Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV), estas tecnologías están en la actualidad mucho más maduras y se pueden realizar experiencias con mucha mayor facilidad. Se dedica una sección a revisar el trabajo relacionado a estas Realidades Mixtas.

En las siguientes secciones se tratan estos tres temas:

- MOOCs, SPOCs y *blended learning*
- *Learning analytics*
- Realidades mixtas

Varios proyectos han apoyado los desarrollos realizados en los últimos años. A nivel internacional, el grupo de investigación ha participado en 6 proyectos europeos de convocatorias Erasmus+. Se trata de los siguientes proyectos:

- MOOC-Maker (*Construction of Management Capacities of MOOCs in Higher Education*),
- COMPETEN-SEA (*Capacity to Organize Massive Public Educational Opportunities in Universities in Southeast Asia*),
- COMPASS (*Composing Lifelong Learning*

Opportunity Pathways through Standards-based Services),

- SHEILA (*Supporting Higher Education to Integrate to Integrate Learning Analytics*),
- LALA (*Building Capacity to use Learning Analytics to Improve Higher Education in Latin America*), e
- InnovaT (*Innovative Teaching Across Continents – Universities from Europe, Chile and Peru on an Expedition*).

Son dos proyectos principalmente dedicados a las metodologías de desarrollo de MOOCs (MOOC-Maker y COMPETEN-SEA), dos relacionados con Analítica del Aprendizaje (SHEILA y LALA) y otros dos relacionados con la innovación educativa (COMPASS e InnovaT). También a nivel internacional se ha desplegado la Cátedra UNESCO sobre “Educación digital escalable para todos”. La cátedra fue establecida en noviembre 2013 con una duración de 4 años. Ya ha sido renovada por otros 4 años más hasta noviembre 2021.

El proyecto nacional EEE (EEE-Virtual: Orquestando Espacios Educativos Especulares, 2012-2014) fue seguido por el proyecto RESET (RESET-UC3M: Reformulando ecosistemas escalables educativos, 2015-2017). A éste le siguió el Proyecto SmartLet (*Learning analytics to enhance the design and orchestration in scalable, IoT-enriched, and ubiquitous Smart Learning Environments*, 2018-2020). Los tres proyectos fueron coordinados por la UC3M, con subproyectos en la Universidad de Valladolid y la Universidad Pompeu Fabra. La red SNOLA (*Spanish Network of Learning Analytics*) es una red a nivel nacional que sirve para articular los esfuerzos en España sobre analítica del aprendizaje y conformar la relación con la red SOLAR (*Society for Learning Analytics Research*) a nivel internacional.

A nivel regional, a nivel de la Comunidad de Madrid, es relevante mencionar el proyecto eMadrid (Investigación y Desarrollo de tecnologías para el e-learning en la Comunidad de Madrid). Fue financiado por la Comunidad de Madrid por primera vez en 2010. Desde entonces se han financiado dos continuaciones del proyecto obtenidos en las siguientes convocatorias: de 2014 a 2018 y de enero 2019 hasta diciembre 2022. Esta red, coordinada por este grupo en la UC3M, ha permitido unir fuerzas con otras universidades de la

región (UAM, UCM, UNED, UPM y URJC) y compartir y difundir los avances realizados.

La existencia de proyectos regionales, nacionales e internacionales han supuesto una interesante sinergia, lo que ha permitido avanzar al grupo de investigación con más fuerza en todos los niveles.

2. MOOCs, SPOCs y Blended Learning

Los MOOCs (*Massive Open Online Courses*) y los SPOCs (*Small Private Online Courses*) (Fox, 2013), estos últimos como ejemplo de aplicación de los MOOCs para la enseñanza en el campus, bien de forma aislada como cursos online cerrados autocontenidos, bien para dar soporte a experiencias híbridas o *blended* como la clase invertida, han marcado una importante tendencia en investigación en el área de tecnología educativa en los últimos años (Baepler, Walker, & Driessen, 2014). En esta sección se mencionan algunos de los avances destacados en relación con MOOCs, SPOCs y Blended Learning, agrupados en líneas de investigación del Laboratorio Gradient.

Una primera línea de investigación que ha surgido de la mano del nacimiento y desarrollo de los MOOCs se refiere al *diseño* de estos cursos. Por un lado, desarrollar un MOOC es un proceso muy costoso, especialmente en tiempo de personal docente y en tiempo de personal de apoyo a los docentes. Por ello, un diseño reflexionado y acordado entre los miembros del equipo docente a cargo del MOOC ayuda a evitar plantear MOOCs demasiado ambiciosos (que puedan llegar a ser irrealizables con el tiempo disponible) o con un contenido o sistema de evaluación que no se ajusta a los objetivos propuestos para el curso. En este sentido, el MOOC Canvas (Alario-Hoyos, Pérez-Sanagustín, Cormier, & Delgado Kloos, 2014a) es un marco conceptual acompañado de una herramienta para ayudar a los profesores a diseñar su MOOC que ha sido utilizado exitosamente en varios países de España y Latinoamérica, y que fue propuesto con la colaboración de Dave Cormier, quien acuñó el término MOOC en 2008. Por otro lado, a la hora de plantear el diseño instruccional de un MOOC es importante tener en cuenta que los docentes deben evitar caer en la tentación de reproducir los modelos clásicos de enseñanza pasiva, esta vez utilizando vídeos en lugar de un aula con pizarra y/o diapositivas. La utilización apropiada de herramientas interactivas que promuevan

el aprendizaje activo en el diseño de los cursos es fundamental para que se produzca un aprendizaje más efectivo por parte de los estudiantes (Alario-Hoyos, Delgado Kloos, Estévez-Ayres, Fernández-Panadero, Blasco, Pastrana, & Villena-Román, 2016a).

Sin embargo, las principales plataformas MOOC apenas presentan opciones a la hora de seleccionar herramientas que faciliten la interacción y promuevan el aprendizaje activo. Es por ello que una de las líneas de investigación importantes relacionadas con este tema es la *integración de herramientas de terceros* para dar soporte al diseño instruccional de MOOCs. El problema de la interoperabilidad entre plataformas educativas y herramientas no es nuevo, pero en este caso existe la dificultad añadida de que las herramientas externas deben ser capaces de escalar para permitir interacciones simultáneas de miles de estudiantes procedentes de uno o varios MOOC. Afortunadamente, estándares como IMS LTI facilitan esta integración la cual se ha podido llevar cabo a través de casos de estudio concretos, como la integración del entorno de desarrollo web Codeboard (Meyer, 2017) para promover la realización de actividades interactivas en MOOCs de programación (Alario-Hoyos, Estévez-Ayres, Delgado Kloos, Crespo-García, Villena-Román & Ruiz-Magaña, 2017a). En este sentido, merece la pena destacar que se ha estudiado cómo el modo de impartición del MOOC (síncrono, también llamado *instructor-paced*, o asíncrono, también llamado *self-paced*) puede tener un efecto en el uso que realizan los estudiantes de las herramientas externas. Concretamente, se ha comprobado que en un MOOC síncrono los estudiantes pueden estar más comprometidos que en un MOOC asíncrono (Alario-Hoyos, Estévez-Ayres, Gallego-Romero, Delgado Kloos, Fernández-Panadero, et al., 2018a), comparando los mismos MOOCs sobre introducción a la programación pero con distintos modos de impartición en los que se integró el entorno de desarrollo Codeboard.

La interacción con los contenidos del curso no es la única que se produce en los MOOCs. Otra parte muy importante es la *interacción social*, la cual se produce típicamente entre los alumnos y a través de los foros o herramientas/redes sociales asociadas al curso. La interacción entre alumnos y profesor es mucho más limitada (en comparación con cursos presenciales o virtuales cerrados), dado que el profesor no puede dar

un soporte personalizado a los miles de alumnos que se registran en un MOOC. Precisamente en esta línea de investigación sobre la interacción social, se han llevado a cabo varios estudios para concluir que el foro es la herramienta preferida por los estudiantes, dado que está integrada en la plataforma donde se ofrece el MOOC, por encima de otras posibles herramientas sociales externas como Facebook o Twitter (Alario-Hoyos, Pérez-Sanagustín, Delgado-Kloos, Muñoz-Organero, & Rodríguez-de-las-Heras, 2013). Además, una medida que puede aplicarse para aumentar las interacciones que se producen entre los estudiantes es que exista algún tipo de interacción por parte del profesor, normalmente a través del envío de un email masivo a los estudiantes, lo que sirve de reacción para incrementar la interacción global en el foro (Alario-Hoyos, Pérez-Sanagustín, Delgado Kloos, Parada G. & Muñoz-Organero, 2014b). Por otro lado, y a la hora de caracterizar a los estudiantes, hay que tener en cuenta a aquéllos que actúan con el rol de líder, preocupándose de estar pendientes de lo que sucede en los foros (y dedicando más tiempo a la supervisión de estos que los propios profesores) para ayudar de forma altruista a sus compañeros (Velo-Beascochea, Alario-Hoyos, Estévez-Ayres, & Delgado Kloos, 2016). La identificación de los estudiantes más activos que lideran la conversación es interesante desde el punto de vista del soporte apropiado al MOOC, dado que es posible asignar roles especiales a estos estudiantes más activos para ayudar en la gestión de los foros, figurando dichos roles bajo el sobrenombre de profesores ayudantes de la comunidad (*community TAs*) (Alario-Hoyos, Muñoz-Merino, Pérez-Sanagustín, Delgado Kloos, & Parada G, 2016b).

La búsqueda de ayuda, típicamente a través de los foros del MOOC, es una de las estrategias de autorregulación importantes que ayudan a los estudiantes a superar este tipo de cursos. Precisamente la *autorregulación del aprendizaje* es una línea de investigación interesante que se ha visto potenciada por el desarrollo de los MOOCs. En este sentido, un primer paso que han dado muchos investigadores ha sido tratar de caracterizar las estrategias de autorregulación y la motivación de los estudiantes de los MOOCs, permitiendo concluir que la gestión del tiempo es una de las estrategias de autorregulación del aprendizaje que peor utilizan dichos estudiantes (Alario-Hoyos, Estévez-Ayres, Pérez-Sanagustín, Delgado Kloos, & Fernández-Panadero, 2017b).

Precisamente, para tratar de mejorar ésta y otras estrategias de autorregulación que cubran las tres fases principales (antes, durante y después) del aprendizaje se han propuesto algunas herramientas, como la aplicación móvil MyLearningMentor (Alario-Hoyos, Estévez-Ayres, Pérez Sanagustín, Leony, & Delgado Kloos, 2015) o el *plug-in* para el navegador Chrome MOOCnager (Alonso-Mencía, Alario-Hoyos, & Delgado Kloos, 2019b). En cualquier caso, esta es una línea abierta que requiere una colaboración interdisciplinar con expertos en el ámbito de la psicología, educación y tecnología y que se extiende más allá del contexto de los MOOCs.

Precisamente más allá del contexto de los MOOCs, aunque partiendo de los MOOCs como base, se ha desarrollado una línea de investigación que promueve la reutilización de este tipo de cursos abiertos dentro del campus. Esta línea de investigación engloba a los denominados *SPOCs*, al *aprendizaje híbrido* o *blended* (*Blended Learning*), e incluso a la *clase invertida* (o *flipped classroom*). En este sentido, el marco H-MOOC (Pérez-Sanagustín, Hilliger, Alario-Hoyos, Delgado Kloos, & Rayyan, 2017) es un primer esfuerzo para tratar de caracterizar la reutilización de los MOOCs dentro del campus en torno a dos ejes: alineamiento curricular y apoyo institucional. En torno a estos dos ejes del marco H-MOOC se definen cuatro casos extremos: MOOC como servicio, MOOC como sustituto, MOOC como hilo conductor y MOOC como valor añadido. La reutilización de MOOCs y SPOCs para implementar clases invertidas ha sido un tema ampliamente estudiado en la literatura en los últimos años (Alario-Hoyos, Estévez-Ayres, Delgado Kloos, & Villena-Román, 2017c), apoyándose dichas clases invertidas, generalmente, en actividades colaborativas o basadas en proyectos/problemas y estrategias de gamificación mediante aplicaciones interactivas en el aula como Socrative, Mentimeter o Kahoot!, entre otras (Alario-Hoyos, Estévez-Ayres, Delgado Kloos, Villena-Román, Muñoz-Merino, & Llorente-Pérez, 2019).

Al diseñar y mejorar cursos *blended* o híbridos, el profesorado necesita recabar toda la información posible acerca del comportamiento de los estudiantes y su relación con los recursos educativos puestos a su disposición. Por otra parte, si esta ingesta de datos educativos y su análisis, se realizan en tiempo real, es decir cuando la acción está ocurriendo, el profesorado

puede tomar decisiones durante el transcurso de las clases. Así pues, una línea de investigación abierta es el desarrollo de infraestructuras que permitan esta recolección y análisis en tiempo real (Estévez-Ayres, Arias Fisteus, & Delgado Kloos, 2017), así como el análisis de dichos datos para permitir al profesorado tomar decisiones informadas respecto al diseño instruccional de sus cursos (Estévez-Ayres, Arias Fisteus, Uguina-Gadella, Alario-Hoyos, & Delgado Kloos, 2018).

Finalmente, merece la pena destacar varios proyectos asociados a las líneas de investigación en el ámbito de MOOCs, SPOCs y Blended Learning, comenzando por el proyecto nacional RESET (<http://reset.gast.it.uc3m.es/>, periodo 2015-2018), el cual se ha centrado en reformular ecosistemas educativos escalables ofreciendo tecnologías innovadoras, como algunas de las ya mencionadas en esta sección. También es importante destacar proyectos internacionales relacionados, como el exitoso proyecto Erasmus+ MOOC-Maker (<http://moocmaker.org>, periodo 2015-2018), centrado en la creación de capacidades para la gestión de MOOCs en Latinoamérica (Alario-Hoyos, Amado, Morales-Chan, Hernández-Rizzardini, & Delgado Kloos, 2016c), y que ha dado lugar a numerosas colaboraciones, incluyendo publicaciones conjuntas y eventos internacionales relacionados con el ámbito de los MOOCs (Alario-Hoyos, Pérez-Sanagustín, Morales, Delgado Kloos, Hernández-Rizzardini, et al., 2018b). También es importante destacar el proyecto Erasmus+ COMPETEN-SEA (<http://competen-sea.eu>, periodo 2016-2019), centrado en la creación de capacidades para la construcción de MOOCs orientados a grupos vulnerables del sudeste asiático (Weinberger, Alario-Hoyos, Bala, Batangan, Delgado Kloos, C., et al., 2018). Finalmente, merece la pena destacar también el proyecto Erasmus+ InnoVaT (<http://innovat.education>, periodo 2019-2022), cuyo objetivo es fomentar la innovación en docencia a través de MOOCs, SPOCs y Blended Learning. Finalmente, en los dos proyectos regionales e-Madrid (<http://www.emadridnet.org/>) de la Comunidad de Madrid (primer periodo 2014-2018, segundo periodo 2018 en adelante) hay líneas específicas sobre MOOCs, SPOCs y Blended Learning.

3. Learning Analytics

La analítica del aprendizaje ha sido definida de diferentes formas. En la primera conferencia de analítica del aprendizaje en 2011 se definió como “la medida, recolección, análisis y reporte de datos sobre los alumnos y sus contextos, para los propósitos de entender y optimizar el aprendizaje y los entornos en los que ocurre” (LAK, 2011). Van Barneveld et al. (2012) distingue entre analítica académica (del inglés “*academic analytics*”) que trata de ayudar a la toma de decisiones a gestores de las instituciones de alto nivel, y la analítica del aprendizaje propiamente dicha, que trata del análisis de datos para resolver problemas instruccionales, curriculares, etc. Aunque a veces se considera que la analítica del aprendizaje engloba en un sentido amplio estas dos concepciones.

El Laboratorio Gradient tiene a la analítica del aprendizaje como una de sus líneas de investigación principales. A continuación, se realiza un resumen de las actividades del grupo en los últimos 6 años. En los últimos años se ha trabajado en modelos para la detección más precisa de las habilidades de los alumnos, minería de procesos para detectar información de alto nivel en función de eventos de bajo nivel y de unos modelos de proceso determinados, minería de texto en foros, detectores de sentimientos, analítica visual, analítica predictiva, uso de analítica para la adaptación del aprendizaje, para evaluación del proceso educativo, y para la combinación con estrategias pedagógicas.

Respecto a la detección más precisa de habilidades de los alumnos, se propone PES (*Precise Effectiveness Strategy*) en (Muñoz-Merino et al., 2015a) que es una estrategia para determinar de forma más precisa el nivel de los alumnos teniendo en cuenta los diferentes recursos con los que interactúa un alumno y las características internas de ellos, y se ilustra en un caso concreto con vídeos y ejercicios que siguen una serie de reglas. Así mismo, en (Muñoz-Merino, González Novillo & Delgado Kloos, 2018a) se propone un nuevo modelo de estimación de habilidades que combina la Teoría de Respuesta al Ítem (*Item Response Theory*) y la teoría de Espacios del Conocimiento (*Knowledge Spaces*), así como la inclusión de ejercicios paramétricos para tener en cuenta los diferentes intentos en diferentes instancias de un mismo ejercicio paramétrico.

Respecto a la aplicación de minería de procesos, se han propuesto modelos para la detección de la perseverancia o persistencia de alumnos cuando están resolviendo ejercicios (Moreno-Marcos, Muñoz-Merino, Alario-Hoyos & Delgado Kloos, 2018a), de la realización de comportamientos indebidos de copia de los alumnos (Alexandron et al., 2017), de la estimación del grado de interacciones en actividades opcionales (Ruipérez-Valiente et al., 2016a), del gusto por la gamificación (Ruipérez-Valiente, 2017) o una adaptación de un modelo existente en (Aleven et al. 2006) sobre comportamiento de búsqueda de ayuda para un nuevo contexto (Muñoz-Merino, Ruipérez-Valiente & Delgado Kloos, 2013).

Respecto a la minería de textos, se ha analizado texto de mensajes en foros para tener una caracterización más precisa del alumno. En esta temática destaca el trabajo en (Moreno-Marcos et al., 2019) que de los mensajes de texto trata de inferir tres dimensiones de los alumnos (social, sentimientos y habilidades) y las intenta combinar para extraer conclusiones del aprendizaje.

En cuanto a la detección de sentimientos en base a interacciones de los alumnos con plataformas, se han utilizado también técnicas de minería de procesos, utilizando modelos escondidos de Markov para un entorno donde los alumnos aprenden programación y realizan acciones en una máquina virtual (Leony, Muñoz-Merino, Pardo, & Delgado Kloos, 2013) o en un entorno virtual donde se registran acciones en recursos como ejercicios (Leony et al., 2015).

Dentro de la analítica visual, se han elaborado diferentes paneles de visualización para facilitar a los profesores que puedan ver diferentes indicadores del aprendizaje para que puedan intervenir, y a los alumnos para que puedan reflexionar sobre su propio aprendizaje. Así se han elaborado paneles de visualización para la plataforma Open edX (Ruipérez-Valiente, Muñoz-Merino, Gascón-Pinedo, Delgado Kloos, 2016a) como extensión a la plataforma de la Khan Academy (Ruipérez-Valiente, Muñoz-Merino, & Delgado Kloos, 2015), o como herramientas externas para la visualización de diferentes aspectos relacionados con los sentimientos (Leony, Muñoz-Merino, Pardo, & Delgado Kloos, 2013; Sedrakyan et al., 2017).

Dentro de la analítica predictiva, se trata de anticipar cuál será el valor que tome en el futuro cierta variable, como la nota de un alumno, en base a diferentes interacciones y datos en el sistema, tratando de detectar el momento más temprano donde dicha predicción puede ser precisa, así como su poder predictivo comparando diferentes modelos de aprendizaje máquina. En esta línea están los trabajos de (Moreno-Marcos et al., 2018b) para el análisis en un MOOC de Java o de (Maldonado et al., 2018) en otros MOOCs y teniendo en cuenta como variables predictoras algunas relacionadas con el aprendizaje autorregulado.

Una de las formas de intervención para la mejora del aprendizaje es mediante la personalización para ofrecer diferentes recursos a los alumnos en función de diferentes características de un modelo de usuario. Se ha propuesto un modelo de ingeniería software para poder diseñar reglas adaptativas de aprendizaje que se pueden combinar como unidades atómicas (Muñoz-Merino, Delgado Kloos, Muñoz-Organero, & Pardo, 2015b). Se ha utilizado la adaptación para personalizar a cada alumno las pistas cuando no saben resolver ejercicios (Muñoz-Merino, Delgado Kloos, Muñoz-Organero, & Pardo, 2015b), los siguientes ejercicios a mostrar en una herramienta de competición (Muñoz-Merino, Fernández-Molina, Muñoz-Organero, Delgado Kloos, 2012) o los siguientes ejercicios en un entorno donde los ejercicios son paramétricos y tienen prerequisites (Muñoz-Merino, González-Novillo, & Delgado Kloos, 2018).

Las técnicas de analítica del aprendizaje se han utilizado para evaluar diferentes aspectos del proceso del aprendizaje como la evaluación de SPOCs en global (Muñoz-Merino et al., 2017b) pero también en evaluaciones más específicas para conocer el grado de uso de elementos opcionales de un curso (Ruipérez-Valiente et al., 2016b).

La combinación de analítica del aprendizaje con otros métodos pedagógicos también ha sido abordada, como la combinación de la competición (Muñoz-Merino, Fernández Molina, Muñoz-Organero, & Delgado Kloos, 2014; Muñoz-Merino et al., 2019) o la combinación con la clase invertida, ya sea para la evaluación de la clase invertida (Muñoz-Merino et al., 2017b) o bien para utilizarla junto con la clase invertida para conocer qué partes hay que reforzar en

la clase (Rubio-Fernández, Muñoz-Merino, & Delgado Kloos, 2019) o para la formación de grupos para la realización de actividades colaborativas (Rubio-Fernández, Muñoz-Merino, & Delgado Kloos, 2019).

Las diferentes contribuciones presentadas han sido parte de resultados de proyectos de investigación competitivos que han tenido lugar en los últimos 6 años. En los dos proyectos regionales e-Madrid (www.emadridnet.org) de la Comunidad de Madrid (primer periodo 2014-2018, segundo periodo 2018 en adelante) hay una línea específica sobre analítica del aprendizaje donde se han incluido, entre otros, la realización de indicadores de alto nivel a partir de datos de bajo nivel. Por otro lado, en los proyectos nacionales RESET (reset.gast.it.uc3m.es, periodo 2015-2019) se ha trabajado por ejemplo sobre cómo hacer escalables las visualizaciones presentadas para que puedan funcionar con un gran número de alumnos, mientras que en Smartlet (smartlet.gsic.uva.es, periodo 2018 en adelante) se está trabajando en cómo combinar indicadores y visualizaciones para la orquestación y rediseño del proceso del aprendizaje en entornos inteligentes. El proyecto nacional SNOLA (snola.es, periodo 2016-2018), del que el Laboratorio Gradient ha sido parte, ha tratado de conectar con grupos de investigación españoles para impulsar la analítica de aprendizaje a nivel nacional. El proyecto internacional LALA (www.lalaproject.org), coordinado por nuestro Laboratorio, está llevando varias herramientas y procedimientos realizadas en Europa a Latinoamérica (en el caso de nuestro grupo sobre todo con relación a herramientas de adaptación). El proyecto SHEILA (sheilaproject.eu) (Tsai, et al., 2018) ha tratado de definir y testear políticas de analítica de aprendizaje a nivel institucional.

Además, en el periodo de los últimos seis años se han realizado multitud de contratos en el grupo con diferentes empresas para transferir el conocimiento de analítica del aprendizaje al entorno empresarial. Se ha realizado un proyecto del tipo RETOS Colaboración con una empresa financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad. Así mismo, se han realizado otros seis proyectos artículo 83 con cuatro empresas diferentes. Todo ello también ejemplifica el interés por estas tecnologías en el mundo empresarial.

4. Realidades mixtas

Una de las definiciones más reconocidas en la literatura del término Mundo Virtual es la acuñada por Bell (Bell, 2008) “*Una red síncrona y persistente de personas representadas por avatares y facilitada por una red de ordenadores*” pero la evolución constante de la tecnología ha puesto de manifiesto la necesidad constante de actualizar el término para no dejar fuera ninguna de las tecnologías y experiencias de usuario que permite la virtualidad (Girvan, 2018). Por ello en lugar de mundos virtuales nos centraremos en el término realidad virtual (RV) que es más amplio y hace referencia a la tecnología que permite a un usuario o varios explorar un entorno simulado (Girvan, 2018).

El término realidad aumentada (RA), se refiere a la tecnología que mejora la percepción sensorial del usuario del mundo real con una capa contextual de la información (Azuma, 1997). La realidad aumentada y la realidad virtual están estrechamente relacionadas; ambas están contenidas dentro del continuo de la virtualidad de Milgram (Milgram y Kishino, 1994) y reflejan diferentes niveles de inmersión del usuario en entornos donde los objetos físicos y digitales coexisten. La tecnología RV reemplaza completamente la parte visual de un entorno real con un entorno sintético, mientras que RA trae información virtual al contexto del usuario (Azuma, 1997). Según R. Azuma et al. (Azuma et al., 2001), los sistemas RA se caracterizan por tres propiedades:

1. Combinar objetos reales y virtuales en un entorno real.
2. Alinear objetos reales y virtuales entre sí.
3. Ejecutar de forma interactiva, y en tiempo real.

La realidad aumentada y la realidad virtual comparten algunas características comunes como la inmersión, la navegación y la interacción (Dunleavy, Dede, & Mitchell, 2009; Kye & Kim, 2008). Estas características se derivan de las propiedades RA de Azuma.

4.1. Realidad virtual y Rehabilitación

En el laboratorio Gradient, durante el proyecto regional eMadrid (emadridnet.org), y los proyectos nacionales EEE (TIN2011-28308-C03) y RESET (TIN2014-53199-C3) se diseñaron dos experiencias

basadas en la metodología PhYMEL (Fernández-Panadero, 2013a) con el objetivo de experimentar físicamente el mundo virtual, ambas aplicables en el mundo de la rehabilitación.

En la primera experiencia se recreó un escenario de exterior para permitir a la persona experimentar físicamente a través de un simulador de silla de ruedas las barreras arquitectónicas de la ciudad¹. De este modo los usuarios sentados en una silla de ruedas podían visualizar a través de una pantalla o unas gafas de realidad virtual el escenario y al mismo tiempo sentir a través de la silla las vibraciones debidas a las irregularidades del terreno, y los movimientos experimentados al atravesar una rampa, subir en un ascensor, pasar por lugares estrechos e incluso subir al autobús (Fernández-Panadero, 2013b), (Fernández-Panadero, 2014). De este modo se pueden experimentar situaciones de riesgo potencial como choques o caídas en condiciones de seguridad con fines de concienciación o entrenamiento. Esta experiencia se llevó a cabo con diferentes usuarios y se presentó en el Hospital de Paraplégicos de Toledo donde se recogieron las opiniones de pacientes, familiares y terapeutas, vinculados con el uso de sillas de ruedas para analizar desde diferentes puntos de vista el potencial de esta tecnología².

En la segunda experiencia se plantearon nuevas formas de interacción física con el mundo virtual, en este caso usando los movimientos del cuerpo recogidos a través del dispositivo KinectTM o utilizando los sensores incorporados en un móvil cuando se requería de movimientos más rápidos o más precisos. Esta segunda experiencia se llevó a cabo en un colegio de educación primaria durante unas experiencias de fomento a la lectura (Morán-Iturbide, 2016). En este caso en lugar de recrear la aventura completa del libro en el mundo virtual se recreó únicamente la experiencia de encarnar el personaje en una actividad puntual. De este modo los alumnos experimentaban unos minutos la sensación de ser un protagonista del libro (un pegaso volando o un elfo luchando con su espada) con el objetivo de que quisieran saber más sobre sus aventuras. En esta segunda experiencia los movimientos repetitivos de los brazos recogidos con el dispositivo KinectTM permitían variar la velocidad de

vuelo del pegaso, mientras el movimiento de la cabeza, recogido por las gafas de realidad virtual Oculus RiftTM, permitía decidir la dirección de movimiento. En el caso del segundo personaje los alumnos sujetaban el móvil con su mano en el mundo físico para recrear la orientación y velocidad de la espada en el mundo virtual. La experiencia con ambos personajes se recoge en este vídeo³. Dado que uno de los principales problemas de rehabilitación en pacientes crónicos es la constancia y la adherencia al tratamiento (Rodríguez-Hernández, 2017) consideramos que este tipo de experiencias que combinan movimientos repetitivos con una experiencia visual motivadora podrían contribuir a mejorar el tiempo dedicado a los ejercicios más monótonos y repetitivos.

Estas dos experiencias ponen de manifiesto que el mundo virtual se puede experimentar no sólo de forma visual sino también a través de dispositivos físicos haciendo este mundo alcanzable incluso para personas con diversidad funcional de diferentes tipos que también pueden reconocer el espacio a través de otros sentidos (Fernández-Panadero, 2015).

4.2. Realidad aumentada y STEM

Los proyectos desarrollados en el Laboratorio Gradient utilizando la tecnología de realidad aumentada han tenido como objetivo mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje en el área educativa conocida como STEM. Se eligió STEM como área de aplicación por su importancia en el desarrollo económico de los países, y las dificultades que los estudiantes encuentran para comprender temas abstractos en esta área. Por otro lado, la tecnología de realidad aumentada tiene potencial para fomentar motivación e implicación de los estudiantes en actividades de aprendizaje, brinda posibilidades que permiten minimizar carga cognitiva en el aprendizaje y tiene ventajas interactivas que permiten realizar Los proyectos desarrollados en el Laboratorio Gradient utilizando la tecnología de realidad aumentada han tenido como objetivo mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje en el área educativa conocida como STEM. Se eligió STEM como área de aplicación por su importancia en el desarrollo económico de los países, y las dificultades que los estudiantes

¹ <http://www.rtve.es/alacarta/videos/la-aventura-del-saber/aventura-del-saber-25-03-15/3061107/>

² <https://www.youtube.com/watch?v=RUKSOeeOOzQ>

³ <https://www.elsecretodemarcos.com/realidad-virtual/>

encuentran para comprender temas abstractos en esta área. Por otro lado, la tecnología de realidad aumentada tiene potencial para fomentar motivación e implicación de los estudiantes en actividades de aprendizaje, brinda posibilidades que permiten minimizar carga cognitiva en el aprendizaje y tiene ventajas interactivas que permiten realizar actividades en las que los estudiantes puedan aprender-haciendo (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018).

Un primer caso de estudio consistió en un ejercicio guiado para que estudiantes de Bachillerato resolvieran un ejercicio práctico de electromagnetismo. Al comparar dos grupos experimentales que utilizaron como plataformas de trabajo (a) Web y (b) RA, el grupo que usó RA presentó mejoras significativas en términos de concentración y satisfacción hacia la actividad que el grupo que usó web. La tendencia positiva de RA se manifestó también cuando se midieron las mejoras en aprendizaje (Ibáñez, Di Serio, Villarán, & Delgado-Kloos, 2014a).

Se realizó un segundo experimento que consistió en un módulo de aprendizaje acerca de los principios básicos de electricidad. El módulo constaba de ocho simulaciones acompañadas de información básica para aprender y/o repasar conceptos, donde además estaban incluidas instrucciones necesarias para llevar a cabo las simulaciones. En un primer experimento, se midió la motivación de los estudiantes, su mejora en el aprendizaje y el grado de atención de los estudiantes hacia la actividad. Se obtuvieron medidas muy alentadoras en cuanto a la motivación y la mejora en el aprendizaje al comparar los resultados de un pre y un post test. Sin embargo, se encontró que algo más de un 30% de las interacciones realizadas por los estudiantes no estuvieron orientadas al aprendizaje (Ibáñez, Di-Serio, Villarán-Molina, & Delgado-Kloos, 2014b).

Con el fin de paliar el efecto distractor de la tecnología se diseñó una nueva experiencia en donde un grupo de estudiantes eran guiados por la aplicación para realizar las simulaciones de aquellos temas que resultaban más difíciles para cada uno de ellos. La medida personalizada de dificultad venía dada por los resultados de un pretest presentado por los estudiantes justo antes de realizar la actividad. Como resultado se obtuvo que aquellos estudiantes que fueron guiados realizaron menos interacciones inefectivas y

mejoraron significativamente su aprendizaje con relación al pretest (Ibáñez, Di-Serio, Villarán-Molina, & Delgado-Kloos, 2015a).

Todas las aplicaciones desarrolladas con realidad aumentada fueron diseñadas para permitir al estudiante seguir flujos de trabajo con varias alternativas, con funcionalidades de navegación equivalentes a las que ofrecen aplicaciones web de simulación educativas. Además, la realidad aumentada fue utilizada para definir formas de evaluación adaptadas a este nuevo medio interactivo (Ibáñez, Villarán, & Delgado-Kloos, 2015b).

5. Conclusión

Vivimos tiempos muy interesantes en el que continuamente están apareciendo nuevas tecnologías y avanzando las existentes. Las tecnologías se hacen más inteligentes, más omnipresentes y más ubicuas y tienen también un impacto en educación, por ejemplo, a través de los *Smart Learning Environments* (Carruana Martín, Alario-Hoyos, Delgado Kloos, 2019), siendo éste un tema preferente en la investigación actual y futura. Estos rápidos cambios tecnológicos introducen inestabilidad en las líneas de investigación, pero también hace que sean apasionantes y sugerentes. Las posibilidades de aplicación son múltiples, pero debemos de tener cuidado de no olvidar los aspectos éticos y humanos, pues la frontera en ocasiones es muy fina. Para nosotros como investigadores y profesores universitarios resulta un campo muy fértil pues combina las dos funciones principales, investigación y docencia, y las enriquece mutuamente.

Agradecimientos

Muchas personas han contribuido a estos resultados a lo largo de los años, demasiadas como para mencionarlas explícitamente sin el riesgo de olvidarse a alguien. Muchas gracias a todos. Algunos de sus nombres aparecen en los artículos que se citan en las referencias. Este artículo ha recibido financiación parcial de FEDER/Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades–Agencia Estatal de Investigación, a través del proyecto Smartlet (TIN2017-85179-C3-1-R). Este proyecto ha recibido además apoyo de la red eMadrid, financiada por la Comunidad de Madrid (S2018/TCS-4307). Además, se ha recibido apoyo

parcial también de los proyectos europeos Erasmus+ COMPETEN-SEA (574212-EPP-1-2016-1-NL-EPPKA2-CBHE-JP), LALA (586120-EPP-1-2017-1-ES-EPPKA2-CBHE-JP), e InnovaT (598758-EPP-1-2018-1-AT-EPPKA2-CBHE-JP).

Referencias

- Alario-Hoyos, C., Pérez-Sanagustín, M., Delgado-Kloos, C., Muñoz-Organero, M., & Rodríguez-de-las-Heras, A. (2013). Analysing the impact of built-in and external social tools in a MOOC on educational technologies. *European Conference on Technology Enhanced Learning* (pp. 5-18). Springer, Berlin.
- Alario-Hoyos, C., Pérez-Sanagustín, M., Cormier, D., & Delgado Kloos, C. (2014a). Proposal for a conceptual framework for educators to describe and design MOOCs, *Journal of Universal Computer Science*, 20(1):6-23.
- Alario-Hoyos, C., Pérez-Sanagustín, M., Delgado Kloos, C., Parada G. H. A., & Muñoz-Organero, M., (2014b). Delving into participants' profiles and use of social tools in MOOCs, *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 7(3):260-266,
- Alario-Hoyos, C., Estévez-Ayres, I., Pérez Sanagustín, M., Leony, D., & Delgado Kloos, C. (2015). MyLearningMentor: A Mobile App to Support Learners Participating in MOOCs, *Journal of Universal Computer Science*, 21(5):735-753.
- Alario-Hoyos, C., Delgado Kloos, C., Estévez-Ayres, I., Fernández-Panadero, C., Blasco, J., Pastrana, S., & Villena-Román, J. (2016a). Interactive activities: the key to learning programming with MOOCs. *Fourth European MOOCs Stakeholders Summit, EMOOCs 2016*, (pp. 319-328).
- Alario-Hoyos, C., Muñoz-Merino, P. J., Pérez-Sanagustín, M., Delgado Kloos, C., & Parada G, H. A. (2016b). Who are the top contributors in a MOOC? Relating participants' performance and contributions. *J. Computer Assisted Learning*, 32(3), 232-243.
- Alario-Hoyos, C., Amado, H., Morales-Chan, M., Hernández-Rizzardini, R., & Delgado Kloos, C. (2016c). MOOC-Maker: Construcción de Capacidades de Gestión de MOOCs en Educación Superior de Latinoamérica, *XXI Congreso Int. de Informática Educativa, TISE 2016*, (pp. 354-359).
- Alario-Hoyos, C., Estévez-Ayres, I., Delgado Kloos, C., Crespo-García, R. M., Villena-Román J., & Ruiz-Magaña, J. (2017a). Integration of External Tools to Foster Learner Interaction in MOOCs: The Example of Codeboard, *International Conference MOOC-Maker 2017*, (1-10).
- Alario-Hoyos, C., Estévez-Ayres, I., Pérez-Sanagustín, M., Delgado Kloos, C., & Fernández-Panadero, C. (2017b). Understanding learners' motivation and learning strategies in MOOCs. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 18(3), 119-137.
- Alario-Hoyos, C., Estévez-Ayres, I., Delgado Kloos, C., & Villena-Román, J. (2017c). From MOOCs to SPOCs... and from SPOCs to flipped classroom. In *European Conference on Technology Enhanced Learning* (pp. 347-354). Springer, Cham.
- Alario-Hoyos, C., Estévez-Ayres, I., Delgado Kloos, C., Crespo-García, R. M., Villena-Román J., & Ruiz-Magaña, J. (2017c). Integration of External Tools to Foster Learner Interaction in MOOCs: The Example of Codeboard, *International Conference MOOC-Maker 2017*, (1-10).
- Alario-Hoyos, C., Estévez-Ayres, I., Gallego-Romero, J. M., Delgado Kloos, C., Fernández-Panadero, C., Crespo-García, R. M., et al. (2018a). A Study of Learning-by-Doing in MOOCs through the Integration of Third-Party External Tools: Comparison of Synchronous and Asynchronous Running Modes. *Journal of Universal Computer Science*, 24(8), 1015-1033.
- Alario-Hoyos, C., Pérez-Sanagustín, M., Morales, M., Delgado Kloos, C., Hernández-Rizzardini, R., et al. (2018b). Tres Años Construyendo Capacidades de Gestión de MOOCs en Latinoamérica, *International Conference MOOC-Maker 2018*, (pp. 5-14).
- Alario-Hoyos, C., Estévez-Ayres, I., Delgado Kloos, C., Villena-Román, J., Muñoz-Merino, P. J., & Llorente-Pérez, E. (2019). Redesigning a freshman engineering course to promote active learning by

- flipping the classroom through the reuse of MOOCs. *International Journal of Engineering Education*, 35(1), 385-396.
- Alonso-Mencía, M. E., Alario-Hoyos, C., Maldonado-Mahauad, J., Estévez-Ayres, I., Pérez-Sanagustín, M., & Delgado Kloos, C. (2019a). Self-regulated learning in MOOCs: lessons learned from a literature review. *Educational Review*, 1-27.
- Alonso-Mencía, M. E., Alario-Hoyos, C., & Delgado Kloos, C. (2019b). Chrome Plug-in to Support SRL in MOOCs. In *European MOOCs Stakeholders Summit* (pp. 3-12). Springer, Cham.
- Aleven, V., McLaren, B., Roll, I., & Koedinger, K. (2006). Toward meta-cognitive tutoring: A model of help seeking with a Cognitive Tutor. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 16(2), 101-128.
- Alexandron, G., Ruipérez-Valiente, J. A., Chen, Z., Muñoz-Merino, P. J., & Pritchard, D. E. (2017). Copying@ Scale: Using harvesting accounts for collecting correct answers in a MOOC. *Computers & Education*, 108, 96-114.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6, 355-385.
- Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6), 34-47, IEEE Computer Society.
- Baepler, P., Walker, J. D., & Driessen, M. (2014). It's not about seat time: Blending, flipping, and efficiency in active learning classrooms. *Computers & Education*, 78, 227-236.
- Bell, M. W. (2008). Towards a definition of "virtual worlds". *Journal of Virtual Worlds Research*, 1(1).
- Carruana Martín, A., Alario-Hoyos, C., Delgado Kloos, C. (2019). Smart Education: A Review and Future Research Directions. In *13th International Conference on Ubiquitous Computing & Ambient Intelligence, UCAmI 2019*, (pp. 1-10).
- Delgado Kloos, C., Pardo, A., Muñoz-Organero, M., Ibáñez, M. B., Muñoz-Merino, P. J., Fernández-Panadero, C., Crespo, R. M., García Rueda, J. J., de la Fuente, L., Pérez-Sanagustín, M., Parada G., H. A., Leony, D., Gutiérrez, I., Maroto, D. (2012). Gradient, UC3M, *Revista Iberoamericana de Informática Educativa*, 15, 75-84.
- Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning, *Journal of Science Education and Technology*, 18, 7-22.
- Estévez-Ayres, I., Fisteus, J. A., & Delgado-Kloos, C. (2017). Lostrego: A distributed stream-based infrastructure for the real-time gathering and analysis of heterogeneous educational data. *Journal of Network and Computer Applications*, 100, 56-68.
- Estévez-Ayres, I., Fisteus, J. A., Uguina-Gadella, L., Alario-Hoyos, C., & Delgado Kloos, C. (2018). Uncovering Flipped-Classroom Problems at an Engineering Course on Systems Architecture Through Data-Driven Learning Design. *The International Journal of Engineering Education*, 34(3), 865-878.
- Fernández-Panadero, C., & Kloos, C. D. (2013). PhyMEL. A framework to integrate physical, mental and emotional learning in meaningful experiences and multidimensional reports. *3rd European Immersive Education Summit*, (pp. 203-208).
- Fernández-Panadero, C., de-la-Cruz-Barquero, V., Morán-Nuñez, D., & Kloos, C. D. (2013). PhyMEL-WS Wheelchair Simulator: A Preliminary Study to Increase Awareness about the Problems of Living the City in a Wheelchair. *3rd European Immersive Education Summit*, (pp. 210-221).
- Fernández-Panadero, C., de-la-Cruz-Barquero, V., Morán-Nuñez, D. (2014). PhyMEL-WS: Physically experiencing the virtual world. Insights into mixed reality and flow state on board a wheelchair simulator. *Journal of Universal Computer Science*, 20(12), 1629-1648.
- Fernández-Panadero, C. (2015) PhyMEL: Tu cerebro y tú. Enrique Varela (Presidencia). *22th Simposio del Club de Amigos Tecnología Social CATS-MAD_22*.

BBVA Innovation Center, Madrid.
https://www.funteso.com/2015/01/23/phymel-tu-cerebro-y-tu-sorprendente-cats_mad-22/

Fox, A. (2013). From MOOCs to SPOCs. *Comm. ACM*, 56(12), 38-40.

Girvan, C. (2018). What is a virtual world? Definition and classification. *Educational Technology Research and Development*, 66(5), 1087-1100.

Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109-123.

Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., Villarán, D., & Delgado Kloos, C. (2014a). Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. *Computers & Education*, 71, 1-13.

Ibáñez, M. B., Di-Serio, Á., Villarán-Molina, D., & Delgado-Kloos, C. (2014b). Augmented reality-based simulators as discovery learning tools: An empirical study. *IEEE Transactions on Education*, 58(3), 208-213.

Ibanez, M. B., Di-Serio, A., Villaran-Molina, D., & Delgado-Kloos, C. (2015a). Support for augmented reality simulation systems: The effects of scaffolding on learning outcomes and behavior patterns. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 9(1), 46-56.

Ibáñez, M. B., Villarán, D., & Delgado-Kloos, C. (2015b). Integrating assessment into augmented reality-based learning environments. In 2015 *IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp. 218-222). IEEE.

Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109-123.

Kye, B., & Kim, Y. (2008). Investigation of the relationships between media characteristics, presence, flow, and learning effects in augmented reality based learning. *International Journal for Education Media and Technology*, 2(1), 4-14.

LAK (2011). 1st International Conference on Learning Analytics and Knowledge.

Leony, D., Muñoz-Merino, P. J., Pardo, A., & Delgado Kloos, C. (2013). Provision of awareness of learners' emotions through visualizations in a computer interaction-based environment. *Expert Systems with Applications*, 40(13), 5093-5100.

Leony, D., Muñoz-Merino, P. J., Ruipérez-Valiente, J. A., Pardo, A., & Delgado Kloos, C. (2015). Detection and Evaluation of Emotions in Massive Open Online Courses. *Journal of Universal Computer Science*, 21(5), 638-655.

Maldonado-Mahauad, J., Pérez-Sanagustín, M., Moreno-Marcos, P. M., Alario-Hoyos, C., Muñoz-Merino, P. J., & Delgado-Kloos, C. (2018). Predicting learners' success in a self-paced mooc through sequence patterns of self-regulated learning. In *ECTEL 2018* (pp. 355-369). Springer, Cham.

Meyer, B. (2017). Fourteen years of software engineering at ETH Zurich. *arXiv preprint arXiv:1712.05078* (pp. 1-118).

Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.

Morán, M. F., Iturbide, J. Á. V., Monroy, F. J., Panadero, M. D. C. F., & Ibáñez, M. B. Proyecto eMadrid: Juegos Serios y Simulaciones Educativas. In *XVIII Simposio Internacional de Informática Educativa, SIIE 2016* (p. 501).

Moreno-Marcos, P. M., Alario-Hoyos, C., Muñoz-Merino, P. J., Estevez-Ayres, I., & Delgado Kloos, C. (2018a). A learning analytics methodology for understanding social interactions in MOOCs. *IEEE Transactions on Learning Technologies* (accepted).

Moreno-Marcos, P. M., Muñoz-Merino, P. J., Alario-Hoyos, C., Estévez-Ayres, I., & Delgado Kloos, C. (2018b). Analysing the predictive power for anticipating assignment grades in a massive open online course. *Behaviour & Information Technology*, 37(10-11), 1021-1036.

- Moreno-Marcos, P. M., Muñoz-Merino, P. J., Alario-Hoyos, C., & Delgado Kloos, C. (2019). Analyzing Students' Persistence using an Event-Based Model. In: *LASI-Spain 2019*.
- Muñoz-Merino, P. J., Fernández Molina, M., Muñoz-Organero, M., & Delgado Kloos, C. (2012). An adaptive and innovative question-driven competition-based intelligent tutoring system for learning. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 6932-6948.
- Muñoz-Merino, P. J., Valiente, J. A. R., & Delgado Kloos, C. (2013). Inferring higher level learning information from low level data for the Khan Academy platform. In *Proceedings Third Int. Conf. Learning Analytics and Knowledge* (pp. 112-116). ACM.
- Muñoz-Merino, P. J., Fernández Molina, M., Muñoz-Organero, M., & Delgado Kloos, C. (2014). Motivation and emotions in competition systems for education: An empirical study. *IEEE Transactions on education*, 57(3), 182-187.
- Muñoz-Merino, P. J., Ruipérez-Valiente, J. A., Alario-Hoyos, C., Pérez-Sanagustín, M., & Delgado Kloos, C. (2015a). Precise Effectiveness Strategy for analyzing the effectiveness of students with educational resources and activities in MOOCs. *Computers in Human Behavior*, 47, 108-118.
- Muñoz-Merino, P. J., Delgado Kloos, C., Muñoz-Organero, M., & Pardo, A. (2015b). A software engineering model for the development of adaptation rules and its application in a hinting adaptive e-learning system. *Computer Science and Information Systems*, 12(1), 203-231.
- Muñoz Merino, P. J., Méndez Rodríguez, E. M., Delgado Kloos, C., & Ruipérez Valiente, J. A. (2017a). Design, implementation and evaluation of SPOCs at the Universidad Carlos III de Madrid. *Journal of Universal Computer Science*, 23(2), 167-186.
- Muñoz-Merino, P. J., Ruipérez-Valiente, J. A., Delgado Kloos, C., Auger, M. A., Briz, S., de Castro, V., & Santalla, S. N. (2017b). Flipping the classroom to improve learning with MOOCs technology. *Computer Applications in Engineering Education*, 25(1), 15-25.
- Muñoz-Merino, P. J., Gonzalez-Novillo, R., & Delgado Kloos, C. (2018a). Assessment of skills and adaptive learning for parametric exercises combining knowledge spaces and item response theory. *Applied Soft Computing*, 68, 110-124.
- Muñoz-Merino, P. J., Alario-Hoyos, C., Muñoz-Organero, M., Delgado Kloos, C., & Fernández Molina, M. (2018b). The Effect of Different Features for Educational Computer-based Competition Environments. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 11(4), 468-477.
- Pérez-Sanagustín, M., Hilliger, I., Alario-Hoyos, C., Delgado Kloos, C., & Rayyan, S. (2017). H-MOOC framework: reusing MOOCs for hybrid education. *J. Comp. Higher Ed.*, 29(1), 47-64.
- Rodríguez-Hernández, M., Fernández-Panadero, C., López-Martín, O., & Polonio-López, B. (2017). Chapter 5: Hand Rehabilitation after Chronic Brain Damage: Effectiveness, Usability and Acceptance of Technological Devices: A Pilot Study. in Tan, U. (Ed.) Intech Open Science. (2017). *Physical Disabilities: Therapeutic Implications* (pp.57-71).
- Ruipérez-Valiente, J. A., Muñoz-Merino, P. J., Leony, D., & Delgado Kloos, C. (2015). ALAS-KA: A learning analytics extension for better understanding the learning process in the Khan Academy platform. *Comp. Human Behavior*, 47, 139-148.
- Ruipérez-Valiente, J. A., Muñoz-Merino, P. J., Gascón-Pinedo, J. A., & Delgado Kloos, C. (2016a). Scaling to massiveness with analyse: A learning analytics tool for open edX. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 47(6), 909-914.
- Ruipérez-Valiente, J. A., Muñoz-Merino, P. J., Delgado Kloos, C., Niemann, K., Scheffel, M., & Wolpers, M. (2016b). Analyzing the Impact of Using Optional Activities in Self-Regulated Learning. *IEEE Trans. on Learning Technologies*, 9(3), 231-243.
- Ruipérez-Valiente, J. A., Muñoz-Merino, P. J., & Delgado Kloos, C. (2017). Detecting and clustering students by their gamification behavior with badges: A

case study in engineering education. *Int. J. of Engineering Education*, 33(2-B), 816-830.

Rubio-Fernández, A., Muñoz-Merino, P. J., & Delgado Kloos, C. (2019a). A Learning Analytics Tool for the Support of the Flipped Classroom. *Computer Applications in Engineering Education* (accepted for publication).

Rubio-Fernández, A., Muñoz-Merino, P. J., & Delgado Kloos, C. (2019b). Analyzing the Group Formation Process in Intelligent Tutoring Systems. In *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 34-39). Springer

Sedrakyan, G., Leony, D., Muñoz-Merino, P. J., Delgado Kloos, C., & Verbert, K. (2017). Evaluating student-facing learning dashboards of affective states. In *European Conference on Technology Enhanced Learning* (pp. 224-237). Springer, Cham.

Tsai, Y. S., Gašević, D., Whitelock-Wainwright, A., Muñoz-Merino, P. J., Moreno-Marcos, P. M., Fernández, A. R., et al. (2018). SHEILA: Support Higher Education to Integrate Learning Analytics.

Van Barneveld, A., Arnold, K. E., & Campbell, J. P. (2012). Analytics in higher education: Establishing a common language. *EDUCAUSE learning initiative*, 1(1), 1-11.

Velo-Beascoechea, J., Alario-Hoyos, C., Estévez-Ayres, I., & Delgado Kloos, C. (2016). Analizando el Papel de las Redes Sociales en un MOOC de Introducción a la Programación en Java, *XXI Congreso Internacional de Informática Educativa, TISE 2016*, (pp. 660-665).

Weinberger, A., Alario-Hoyos, C., Bala, P., Batangan, D., Delgado Kloos, C., Kulathuramaiyer, N., et al. (2018). Addressing societal issues through MOOCs in Southeast Asia, *Learning with MOOCs 2018, LWMOOCS V*, (pp. 78-80).