

La tecnología educativa en la era de las interfaces naturales y el aprendizaje profundo

Carlos Delgado Kloos, Carlos Alario-Hoyos, Pedro J. Muñoz-Merino,
María Blanca Ibáñez, Iria Estévez-Ayres, Carmen Fernández-Panadero

Resumen—Las herramientas son un soporte esencial en cualquier actividad humana. A medida que la tecnología avanza, podemos diseñar herramientas más avanzadas que nos ayuden a realizar las actividades de manera más eficiente. Recientemente, hemos visto avances en los dos componentes principales de las herramientas, la interfaz y el motor computacional que hay detrás. Las interfaces naturales nos permiten comunicarnos con las herramientas de una forma más adaptada a los humanos. En relación con el motor, estamos pasando del paradigma de la computación a otro basado en la inteligencia artificial, que aprende a medida que se utiliza. En este documento, examinamos cómo estos avances tecnológicos tienen un impacto en la educación, lo que conduce a entornos de aprendizaje inteligentes (*smart learning environments*).

Palabras clave— interfaces naturales, inteligencia artificial, aprendizaje profundo, entornos de aprendizaje inteligentes, realidades mixtas.

I. INTRODUCCIÓN

Las interfaces hombre-máquina han ido mejorando a un ritmo exponencial. Desde interfaces de línea de comandos operadas solamente mediante un teclado, hasta interfaces gráficas de usuario operadas mediante un ratón, e incluso hasta interfaces de usuario naturales con interacción multimodal a través del tacto, la voz, visualizaciones mixtas, sensores y otros elementos.

Si bien esto ocurre en el “front office”, por así decirlo, también ha habido mejoras considerables en el “back office”. Podemos resumir la evolución como un cambio del paradigma de la computación a uno basado en la inteligencia artificial (IA). Algunas personas dicen que esto invierte la dirección del flujo.

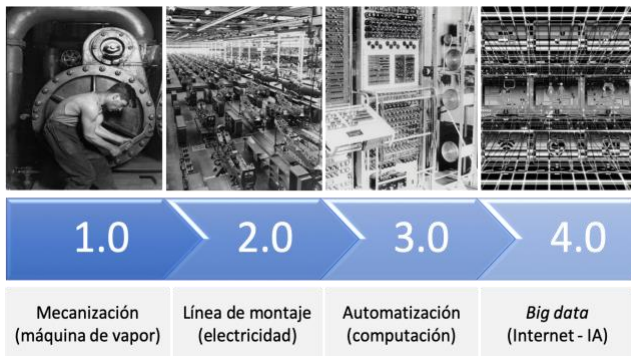


Fig. 1. De la Industria 1.0 a la Industria 4.0.

Los autores están en el Departamento de Ing. Telemática de la Universidad Carlos III de Madrid, Av. de la Universidad 30, 28911 Leganés (Madrid, España) (e-mail: {cdk, calario, pedmume, mbibanez, ayres, mcfp}@it.uc3m.es)

Mientras que en la computación con entradas y reglas (un algoritmo) obtenemos salidas, en la IA con salidas, muchas de ellas, obtenemos reglas. Esto cambia completamente lo que es posible lograr.

El concepto Industria 4.0 [1] (ver Figura 1) fue acuñado para reflejar los grandes avances de la industria, desde la mecanización gracias a la máquina de vapor (primera revolución) hasta la línea de montaje y la disponibilidad de electricidad (segunda revolución), evolucionando hacia la automatización de las fábricas (tercera revolución) y, finalmente, la disponibilidad y el procesamiento de grandes cantidades de datos (*big data*) gracias a los servicios de Internet y la inteligencia artificial [2]. De manera similar, podemos identificar cuatro grandes revoluciones en la educación, aunque no corresponden exactamente a los mismos periodos de tiempo y tecnologías que en el caso de la industria (ver Figura 2).



Fig. 2. De la Educación 1.0 a la Educación 4.0.

La primera revolución corresponde a la invención de la imprenta. Esto trajo consigo una mayor eficiencia en la producción de libros y, por lo tanto, una difusión más rápida y amplia del conocimiento. En la Educación 1.0 podemos incluir también la pizarra, aunque sólo tiene algo más de 200 años. De esta manera, cubrimos todas las tecnologías físicas y mecánicas que pueden ser utilizadas tanto para la difusión del conocimiento en libros como para la explicación en clase. La interacción, tan esencial para el aprendizaje, tiene lugar físicamente, en un entorno físico controlado en el que los estudiantes pueden experimentar con objetos reales que tienen a mano (por ejemplo, elementos químicos para entender los procesos de reacción en Química, cadáveres para realizar una

dissección en Medicina, etc.). La colaboración entre los estudiantes tiene lugar en este nivel en un entorno presencial y de forma síncrona.

Para la Educación 2.0 la electricidad es necesaria. La Educación 1.0 puede llevarse a cabo sin electricidad. La Educación 2.0 necesita la electricidad. Se puede utilizar un ordenador y un proyector, pero no se necesita Internet. Este nivel corresponde al uso típico de diapositivas y un proyector de diapositivas o incluso un ordenador con PowerPoint o herramientas similares y un proyector de ordenador en clase. Este es hoy en día todavía un escenario muy habitual [3]. En este caso, la interacción ya no requiere un espacio físico dedicado. Los simuladores pueden ser utilizados para realizar experimentos donde los elementos reales no están disponibles, simulando el comportamiento del entorno bajo estudio (por ejemplo, el resultado de dos moléculas al colisionar en Química, el comportamiento del sistema circulatorio en Medicina, etc.). La colaboración entre los estudiantes sigue teniendo lugar en un entorno presencial, y debe ser síncrona, aunque puede estar mediada por la tecnología, lo que da lugar a la aparición del campo de investigación denominado Aprendizaje Colaborativo Asistido por Ordenador (CSCL – *Computer Supported Collaborative Learning*).

La Educación 3.0 es posible gracias a Internet y a la computación en la nube (*cloud computing*) [4]. Las plataformas MOOC (*Massive Open Online Course* – Curso Online Masivo y Abierto) son un buen representante de esta revolución [5]. El contenido está en la nube y los foros de discusión también. Tanto las explicaciones de los profesores, normalmente a través de vídeos, como las interacciones entre profesores y estudiantes pasan por la nube. Los LMS (*Learning Management Systems* – Sistemas de Gestión del Aprendizaje), como antepasados de las plataformas MOOC, pero menos desarrollados, también pertenecen a esta categoría. Su uso era principalmente fuera del aula [6]. El uso de aplicaciones móviles para fomentar la participación en clase, como Kahoot! o Socrative, es también un buen caso de uso de Educación 3.0 [7]. Estas aplicaciones promueven la implementación de pedagogías activas en clase. Nótese la diferencia con el uso de PowerPoint, donde el flujo de información va en una dirección desde el profesor hasta el estudiante y la retroalimentación tiene que pasar por el canal físico, lo que limita enormemente la interacción de los estudiantes. Sin embargo, con las aplicaciones móviles la interacción pasa por la nube con un ancho de banda mucho mayor: todos los estudiantes pueden dar su opinión. Por lo tanto, cada estudiante puede (debe) interactuar más con el profesor [8]. En este caso, es posible hacer uso también de simulaciones más potentes por parte de los estudiantes, ya que las capacidades de procesamiento tienen lugar en la nube. Además, los estudiantes pueden hacer uso de laboratorios virtuales en los que experimentar (remotamente) con elementos reales, pero a un coste mucho menor. La colaboración ahora puede ser virtual y síncrona (por ejemplo, a través de una herramienta de videoconferencia o de un documento compartido en línea) o asíncrona (por ejemplo, a través del foro en una plataforma LMS o MOOC). Se han utilizado numerosas tecnologías para apoyar a los estudiantes en sus procesos de aprendizaje en Educación 3.0, tales como implementaciones de

CSCL con apoyo de Internet, realidad aumentada, aprendizaje adaptativo, sistemas de tutoría inteligentes, *gamificación*, etc.

Llegamos ahora a la Educación 4.0, que definimos como aquella que es habilitada por el aprendizaje automático [9]. Algunos podrían decir que el aprendizaje automático sigue siendo software y, por lo tanto, no es una nueva revolución. Sin embargo, la computación toma datos de entrada y algunas reglas (el algoritmo) para obtener datos de salida, mientras que con el aprendizaje automático se da el proceso inverso: con (muchos) datos obtenemos las reglas. En este momento sólo estamos comenzando a ver lo que es posible, por ejemplo, con la analítica de aprendizaje (*learning analytics*) [10]. Esto abre el camino para conocer cómo aprenden los estudiantes y cómo se puede adaptar el aprendizaje a cada uno de ellos. Las oportunidades son grandes, aunque también vienen con importantes desafíos éticos [11].

Este trabajo es una extensión del trabajo presentado en la conferencia IEEE 2019 EDUCON [12], el cual fue galardonado con el “*Best Paper Award*” en el Área 1: “Infraestructura y Tecnologías para la Enseñanza en Ingeniería”. Como tal, este trabajo profundiza en la transformación de la Educación 3.0 a la Educación 4.0.

II. EDUCACIÓN 3.0

El surgimiento de las plataformas MOOC y sus variantes ha mostrado al mundo que la tecnología tiene un gran potencial que aún no se ha aprovechado por completo. ¿Qué tienen en común plataformas como Khan Academy, edX o Coursera? Para nosotros, la esencia es el despliegue de la computación en la nube (*cloud computing*) con fines educativos.

Además, hay tres componentes principales (representados en la Figura 3) relacionados con la interfaz educativa:

- videos cortos para la explicación de conceptos;
- cuestionarios interactivos para el entrenamiento cerebral;
- foros para promover la interacción entre los estudiantes y con el profesorado.

La relación entre la computación en la nube y estos tres componentes como núcleo de la Educación 3.0 se presentó en [12], y más tarde también fue mencionada por Anant Agarwal, fundador y CEO de edX, como las cuatro tecnologías habilitadoras que crearon la tormenta perfecta para el aprendizaje en línea [13]. La única diferencia es que Anant Agarwal incluye la *gamificación* en lugar de los cuestionarios interactivos en estas cuatro tecnologías, aunque en realidad destaca la retroalimentación inmediata que permiten los cuestionarios interactivos como una forma de *gamificación*.

III. APRENDIZAJE AUTOMÁTICO (*MACHINE LEARNING*)

Las técnicas de aprendizaje automático (*machine learning*) se pueden aplicar en educación con diferentes propósitos. Por ejemplo, se pueden utilizar para adaptar el proceso de aprendizaje proporcionando diferentes recursos personalizados, para crear un diálogo con el estudiante con el objetivo de ofrecerle una retroalimentación más útil, para formar grupos de

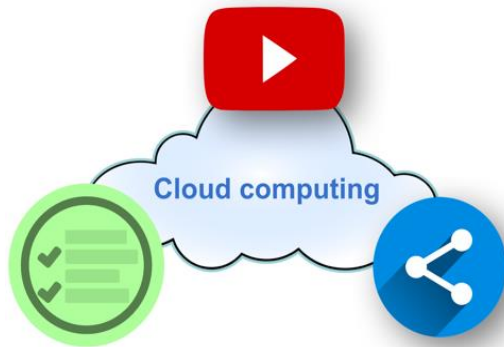


Fig. 3. Computación en la nube (*cloud computing*) como base de la tecnología educativa de la última década.

estudiantes, para calcular indicadores útiles de alto nivel a partir de datos de bajo nivel, o para predecir diferentes comportamientos futuros de los estudiantes.

Las técnicas de aprendizaje automático pueden tratar de imitar algunos comportamientos humanos, ya que estos pueden ser modelados para mejorar el proceso de aprendizaje. Además, las técnicas de aprendizaje automático pueden ir más allá para lograr aspectos que los profesores no podrían lograr de manera tan eficiente, como, por ejemplo, la aplicación de modelos complejos para modelar las habilidades de los estudiantes [14] o para predecir el rendimiento de los estudiantes (calificaciones, abandono, etc.) [15].

En los escenarios de la Internet de las cosas (IoT – *Internet of Things*), los datos de diferentes fuentes pueden recogerse y analizarse de forma integrada. Sin embargo, es necesario resolver varios problemas de interoperabilidad: a nivel de formato, los eventos de los alumnos deben recopilarse con un formato común, y a nivel semántico, deben definirse indicadores, visualizaciones, etc. similares cuando se combinan datos de diferentes plataformas en las que su significado puede diferir. Por ejemplo, podría ser necesario integrar las interacciones de una plataforma de aprendizaje web, un asistente de voz o un servicio externo de aprendizaje de terceros.

A nivel de formato, xAPI [16] es probablemente la especificación más extendida en este momento. Sin embargo, hay otras especificaciones posibles, como Contextualized Attention Metadata [17], IMS Calliper [18] o especificaciones que son dependientes de plataformas concretas. La mayoría de estas especificaciones permiten la representación de diferentes eventos como “sujeto-verbo-objeto” y añaden información adicional, como la marca de tiempo o el contexto, donde el sujeto es el alumno, el verbo es el tipo de acción, y el objeto es el recurso educativo con el que el alumno está interactuando. Este tipo de formato permite combinar y analizar datos de diferentes fuentes como un todo.

Por lo tanto, una posible solución es la transformación de todos los eventos recogidos de varios sistemas a un formato común. Sin embargo, ya hay varios sistemas en funcionamiento con varios formatos y dicha transformación llevaría mucho tiempo. Una propuesta es no transformar estos datos en el bajo nivel, sino resolver el problema de interoperabilidad en un nivel superior, permitiendo múltiples formatos al almacenar eventos.

De esta manera, cada plataforma, sensor, etc. utilizaría un formato de bajo nivel diferente, pero habría una capa de interoperabilidad en un nivel superior. Por ejemplo, podría haber indicadores de alto nivel como la habilidad de los estudiantes, y todos los sistemas distribuidos podrían proporcionar un indicador como éste, de modo que esta información pueda combinarse en un nivel superior. Cada sistema educativo distribuido podría tener un conector para pasar de un formato específico a un formato de información de alto nivel. La capa de alto nivel debe ser diseñada cuidadosamente para que permita las combinaciones deseadas a partir de diferentes recursos.

A nivel semántico, por ejemplo, una plataforma podría permitir un intento por ejercicio, otra plataforma tres intentos, otra plataforma un número indefinido de intentos hasta una resolución correcta, o no imponer ningún límite en el número máximo de intentos. Esto implica que si calculamos el número de intentos en un ejercicio la interpretación podría ser diferente en cada plataforma o que podría haber indicadores que estén presentes en una plataforma, pero no en las otras. Este tema puede ser extendido para la definición de indicadores cuando utilizamos múltiples fuentes y también puede ser formulado de forma análoga cuando hablamos de visualizaciones e intervenciones. Se necesita, por tanto, un marco común que permita una interoperabilidad diferente a nivel semántico cuando se combinan diferentes fuentes.

La capa semántica se puede conseguir con diferentes tecnologías, como las ontologías. Las ontologías son una forma natural de abordar este problema, ya que proporcionan un modelado completo, definiendo los términos y sus relaciones para que los razonadores de las aplicaciones puedan tomar decisiones.

En numerosas ocasiones las máquinas no pueden tomar decisiones precisas por sí solas sobre los procesos educativos y se necesitan intervenciones de los profesores, los estudiantes o los gestores. Por ejemplo, hay contextos en los que la información de los paneles de visualización (*dashboards*) debe ser interpretada para tomar decisiones. Por lo tanto, hay un componente humano que debe combinarse con el aprendizaje automático. Es importante desarrollar capacidades y formación apropiada en las partes interesadas para que puedan comprender los resultados del aprendizaje automático a fin de tomar juntos mejores decisiones. En este sentido, es muy importante la adopción de la analítica de aprendizaje (*learning analytics*) en las instituciones, con esfuerzos como los realizados en el proyecto SHEILA [19].

Como conclusión, hay tres temas clave relacionados con el aprendizaje automático que se discuten a continuación como base para la Educación 4.0, y como evolución de los tres componentes principales del uso de la computación en la nube (*cloud computing*) con fines educativos en la Educación 3.0 (ver Figura 4): (1) *realidades mixtas*, como evolución de los videos educativos; (2) *interacción multimodal* como evolución de las actividades interactivas; y (3) *redes sociales mixtas* como evolución de las herramientas sociales tradicionales para la comunicación entre estudiantes. El aprendizaje automático y estos tres nuevos componentes también son mencionados por Anant Agarwal con algunas diferencias menores, ya que Anant

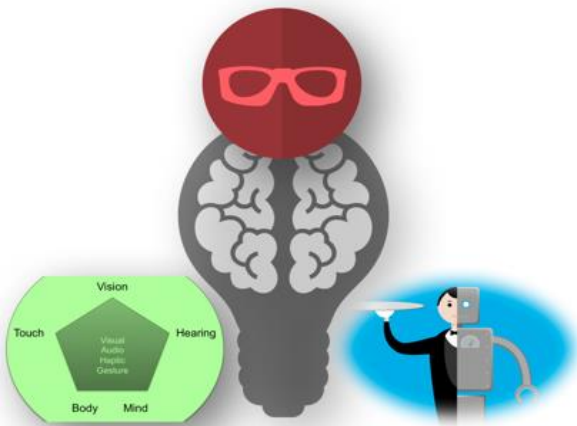


Fig. 4. El aprendizaje automático (*machine learning*) como base de la tecnología educativa de la próxima década.

se centra en la Inteligencia Artificial, la analítica con grandes cantidades de datos (*big data analytics*), las realidades mixtas (AR/VR) y la robótica como los próximos cuatro grandes cambios tecnológicos que impactarán en la educación en la próxima década [13].

IV. REALIDADES MIXTAS

Las realidades mixtas se refieren a tecnologías en las que interactúan elementos físicos y virtuales de un ecosistema, incluyendo usuarios, ubicaciones y objetos. La proporción de elementos físicos y digitales, así como las interacciones entre ellos en ambos mundos, puede regularse en función del objetivo que se desee alcanzar. El continuo de Milgram [20] ofrece una forma de representación que va desde el mundo puramente físico en un lado hasta el mundo puramente digital (mundos virtuales) en el otro lado. La realidad mixta se ubicaría en la parte central de este continuo donde coexisten un porcentaje significativo de elementos físicos y virtuales y se puede explotar el potencial de ambos mundos.

Una de las principales ventajas del mundo físico es todo lo relacionado con el sentido del tacto y la manipulación de objetos, ya que otros sentidos como la vista y el oído son más fácilmente reemplazables por la tecnología. Por otro lado, una de las principales ventajas del mundo virtual es la capacidad de monitorizar cualquier interacción que se produzca en el entorno y recrear entornos inexistentes, o modificar la escala de los existentes (pequeños, grandes o imperceptibles por el ojo humano) para situarlos en la escala del usuario, y que de esta forma puedan ser explorados por humanos. La realidad mixta es una tecnología muy amplia y ofrece un enorme potencial, pero su uso en entornos educativos implica nuevos desafíos que deben ser considerados, muchos de los cuales aún no han sido resueltos [21].

Algunas de las ventajas de la realidad mixta aplicada a la educación es que permite la interacción de los estudiantes con objetos digitales con dos ventajas principales: (1) la inmersión y la contextualización son proporcionadas por el entorno real; y (2) la personalización puede lograrse gracias al entorno virtual o digital. Para los estudiantes, las actividades de aprendizaje en estos entornos mixtos promueven emociones psicológicas

positivas que les ayudan en sus procesos de aprendizaje. Para los educadores, las realidades mixtas permiten un mejor seguimiento de los procesos de aprendizaje y abren posibilidades para guiar a los estudiantes a través de toda su experiencia de aprendizaje.

En general, la investigación en el ámbito de la realidad mixta aplicada a la educación se encuentra todavía en una etapa temprana. La mayoría de los trabajos en esta área se basan en estudios de casos particulares que a menudo son difíciles de extrapolar a otros contextos. Además, todavía no hay consenso en la comunidad sobre los patrones de diseño y los principios de usabilidad que deben aplicarse a los entornos de realidad mixta, o sobre las condiciones que afectan a la eficacia educativa de un diseño en particular aplicado a un dominio de conocimiento. Sin embargo, la aplicación de la realidad mixta a diferentes metodologías educativas, como el aprendizaje basado en el contexto, el aprendizaje basado en roles y el aprendizaje basado en tareas y problemas, está permitiendo la reconceptualización de algunos términos educativos, como contextualización, compromiso y autenticidad, llevándolos a una nueva dimensión [21].

Si el foco está en las ubicaciones (*aprendizaje basado en el contexto*), la implementación de realidades mixtas es más barata que la de sus homólogos, los entornos virtuales 3D, que requieren una digitalización completa de los entornos de aprendizaje, los cuales a veces no parecen tan realistas como exigen los estudiantes. El mundo real puede ser utilizado como escenario donde las actividades correspondientes pueden ser realizadas por los estudiantes. Además, el uso de un entorno real tiene la ventaja de facilitar la inmersión en actividades de aprendizaje. Esto ha sido ampliamente utilizado para el aprendizaje en el lugar de trabajo. Los profesionales de la salud realizan simulaciones de casos clínicos utilizando pacientes simulados en entornos reales, en su propio lugar de trabajo, y con los mismos equipos que utilizan en su vida diaria [22]. El enfoque opuesto también es posible cuando se recrean virtualmente diferentes entornos complejos. Este enfoque se utiliza, por ejemplo, mediante simuladores de conducción que recrean diferentes carreteras y situaciones meteorológicas sin necesidad de buscar ubicaciones específicas [23]. Los entornos virtuales también se utilizan ampliamente para la formación de los equipos de intervención inmediata (policía, bomberos, soldados o profesionales sanitarios) en situaciones de emergencia para recrear el entorno de un accidente, una catástrofe natural o un atentado terrorista, ya que estos entornos serían muy costosos de replicar en el mundo real [24]. Otros ejemplos de uso son la formación deportiva o la formación de personas con discapacidad [25], donde es posible recrear, por ejemplo, en el último caso, diferentes barreras urbanas para hacer que las personas puedan hacerles frente repetidamente en un entorno seguro. En algunos escenarios de aprendizaje, la misma ubicación puede ser replicada física y virtualmente para diferenciar las tareas que pueden realizarse en línea de aquellas que requieren interacción cara a cara [26]. Los espacios de aprendizaje informal, como los museos, también se pueden ampliar con narraciones y contenidos curriculares que ofrezcan nuevos escenarios para el aprendizaje en entornos urbanos [27]. Todos estos enfoques ofrecen un nuevo significado para el

contexto, se apoyan en el aprendizaje ubicuo y realizan conexiones entre el aprendizaje formal e informal.

Si el foco está en las personas (*aprendizaje basado en roles*), la tecnología permite regular la participación de los estudiantes desde un punto de vista físico, mental o emocional [28]. Las realidades mixtas pueden utilizarse para desplegar actividades de aprendizaje en las que los estudiantes puedan descubrir por sí mismos y a través de las interacciones nuevos conocimientos, nuevas habilidades y competencias. Se ha comprobado que esta forma activa de aprendizaje es más motivadora y atractiva para los estudiantes, fomenta la concentración y mejora los resultados del aprendizaje. En este caso la realidad mixta permite observar el mundo desde diferentes puntos de vista a través de juegos de rol en los que el alumno puede abordar la situación en primera o tercera persona y asumir un solo rol o varios roles. Esta inmersión y materialización puede aplicarse tanto a los niños pequeños, por ejemplo, para que se conviertan en personajes de un libro [29], como al aprendizaje de adultos, en el que un médico puede abordar un problema asumiendo el papel de diferentes personas (médicos, enfermeras o incluso el propio paciente) [30].

Si el foco está en las tareas (*aprendizaje basado en tareas y problemas*), para desplegar actividades de aprendizaje que valgan la pena, es necesario diseñar flujos de trabajo para que los estudiantes los sigan. Estos flujos de trabajo deben ser impulsados tanto por las interacciones de los estudiantes con los objetos digitales proporcionados como por la personalización que el entorno de aprendizaje pueda inferir de los datos previamente conocidos del estudiante. Estos flujos de trabajo pueden integrarse fácilmente en un entorno de aprendizaje mixto. La gamificación y la narración pueden ayudar a definir estos flujos como se muestra en la metodología PhYMEL (*Physical, Mental and Emotional Learning* - Aprendizaje Físico, Mental y Emocional) [28], y la tecnología puede ayudar a simplificar las tareas y decidir qué grado de complejidad es visible u oculto dependiendo de la fase de aprendizaje. Esto puede ser útil, por ejemplo, para aprender conceptos STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) complejos como el electromagnetismo [31], o incluso tareas más complejas en entornos profesionales, como la cirugía laparoscópica.

En definitiva, las realidades mixtas constituyen una interfaz más natural que abre nuevas posibilidades educativas cuando se utilizan junto con la computación en la nube y el aprendizaje automático. El uso de la computación en nube permite el despliegue de entornos educativos aumentados de colaboración, mientras que el aprendizaje automático permite el apoyo inteligente a los procesos educativos en estos entornos inteligentes.

V. INTERACCIÓN MULTIMODAL

Los asistentes de voz, denominados de forma más general como agentes conversacionales, se han consolidado en los últimos años como una forma destacada de comunicación entre los sistemas de computación y los humanos, gracias a los grandes avances en la comprensión del lenguaje natural, los algoritmos de aprendizaje automático y la inteligencia artificial [32]. El uso de asistentes de voz tanto en el lugar de trabajo

como en casa ha sido promovido por la reciente comercialización de altavoces inteligentes, como Amazon Echo, Apple HomePod y Google Home, entre otros, a un precio asequible. Estos avances convierten a los asistentes de voz en el siguiente gran salto tecnológico después de los sitios web y las aplicaciones móviles. El uso de asistentes de voz en entornos educativos apenas se ha explorado hasta ahora, a pesar de su gran potencial para apoyar, por ejemplo, los procesos de aprendizaje de los estudiantes cuando están solos y necesitan hacer frente a tareas complejas sin la presencia (y el apoyo) del instructor.

Uno de los principales objetivos del campo de investigación que se centra en la interacción persona-máquina es hacer más humana la interacción entre los sistemas de computación y los seres humanos. La inclusión de los asistentes de voz permite una nueva forma de comunicación entre los dispositivos electrónicos y los seres humanos a través de la voz (y el lenguaje natural). El habla es esencialmente una actividad humana y el desarrollo de dispositivos y aplicaciones que pueden implementar el reconocimiento de voz y responder al usuario con precisión utilizando también la voz representa una nueva forma de comunicación, que no está exenta de desafíos y dilemas éticos [33].

En el ámbito de la educación, y en particular en el del aprendizaje apoyado por tecnología, la incorporación de la voz como canal de comunicación entre los sistemas informáticos y los numerosos actores humanos (estudiantes, profesores, gestores, etc.) no implica necesariamente nuevas funcionalidades, sino más bien una nueva forma de interacción. La misma funcionalidad puede ser proporcionada por un dispositivo con texto, voz o pantalla táctil, ya que una forma de comunicación puede ser traducida directamente a las otras: son simplemente interfaces diferentes (múltiples modos) para la interacción entre el sistema de computación y el individuo. Es posible entonces hablar de interacción multimodal en educación [12].

El uso de asistentes de voz en educación tiene varias ventajas importantes que pueden llevar, por ejemplo, a que los estudiantes los prefieran frente a sistemas basados en otro tipo de interacción, como la interacción basada en texto o sistemas táctiles: (1) la comunicación a través de la voz y el lenguaje natural es más directa, intuitiva y gratificante; (2) hablar es típicamente más rápido que escribir o manejar una pantalla táctil, lo que significa una comunicación más eficiente. Esto es especialmente cierto para las personas que no están acostumbradas a las nuevas tecnologías, pero que podrían acostumbrarse a ellas a través de la mediación de los asistentes de voz. No hay necesidad de aprender a usar un ordenador, un *smartphone* o una tableta, para hablar con un asistente de voz como si fuera otra persona. Además, los asistentes de voz se están integrando gradualmente en muchos otros dispositivos, como altavoces inteligentes o electrodomésticos, que pueden configurarse cada vez más y permiten la programación de rutinas a través de comandos de voz. Por último, una persona, por ejemplo, un estudiante, puede realizar múltiples tareas al mismo tiempo e interactuar con un asistente de voz de forma natural, lo que resulta más complicado de realizar con otros

tipos de interfaces, como las textuales, que requieren más atención.

No obstante, la introducción de asistentes de voz en entornos educativos también plantea importantes desafíos, la mayoría de los cuales no son específicos de este contexto en particular, sino retos más generales de los asistentes de voz. El primer desafío es el reconocimiento de la voz del estudiante. El asistente de voz debe ser capaz de reconocer las voces de varios estudiantes con diferentes tonos, velocidades, distancias, etc. A veces el proceso de reconocimiento de voz falla, y el estudiante necesita repetir instrucciones o comandos varias veces hasta que se logra una comprensión correcta. El segundo desafío es la interacción del diálogo. Lo ideal es que el asistente de voz tenga la inteligencia adecuada para llevar a cabo un diálogo con el alumno. En realidad, sin embargo, la interacción suele limitarse a unas pocas frases predefinidas. Aunque ya existen tutores de diálogo que pueden adaptarse y responder automáticamente a múltiples órdenes, instrucciones o preguntas, y esto puede ser replicado en una interfaz de voz, esta inteligencia artificial todavía no es tan potente como otra persona que habla estableciendo un diálogo. Por lo tanto, las diferentes instrucciones posibles deben ser claras para que los alumnos no se sientan frustrados o pierdan el interés. El tercer reto es que debe haber una clara diferenciación entre las posibles interacciones de voz para establecer un diálogo con la aplicación y las interacciones de voz para la navegación en los distintos menús de la aplicación. Finalmente, es importante tener en cuenta los desafíos éticos que incluyen, entre otros, la recolección y almacenamiento de información de las interacciones de voz entre el estudiante y el asistente de voz, y el hecho de que los dispositivos que integran a los asistentes de voz están dormidos, pero escuchando, mientras esperan las siguientes indicaciones de los estudiantes [33].

Los asistentes de voz en educación pueden trabajar de forma independiente o integrada con otros servicios, tanto para aplicaciones que utilizan asistentes de voz como para dispositivos que incluyen asistentes de voz. Por ejemplo, si una arquitectura distribuida orientada a servicios se define como un ecosistema educativo en el que los estudiantes utilizan instancias de servicios y plataformas (proporcionadas localmente por la institución educativa o a través de la nube), entonces las aplicaciones que incluyen asistentes de voz podrían ser utilizadas como uno de estos servicios. No obstante, los dispositivos que incluyen asistentes de voz podrían considerarse también como sensores digitales en un escenario de la Internet de las cosas (IoT – *Internet of Things*).

Actualmente hay pocos artículos en la literatura que hayan presentado usos de los asistentes de voz en entornos educativos reales, y es por eso por lo que existe una importante oportunidad de investigación en este campo. Por ejemplo, un primer trabajo relacionado se centró en mejorar el aprendizaje entre pares a través de un agente conversacional que mediaba en la conversación, resultando en una mejora del aprendizaje tanto individual como grupal, según sus autores [34]. Otro trabajo destacado es Java PAL [35][36], un agente conversacional construido sobre Google Assistant que fue diseñado con el objetivo de ayudar a los estudiantes de un MOOC sobre programación con Java a revisar los conceptos básicos. Este

agente conversacional incluía dos modos de operación: (1) modo de examen, en el cual el asistente de voz desafiaba al estudiante con preguntas recogidas del MOOC; y (2) modo de revisión, en el cual el estudiante podía pedir definiciones de conceptos y el agente conversacional, además de proporcionar las definiciones apropiadas, sugería conceptos relacionados para ser revisados.

VI. REDES SOCIALES MIXTAS

La interacción social es un elemento fundamental en la experiencia de aprendizaje, tanto en términos de la interacción del profesor con los estudiantes como en términos de la interacción de los estudiantes entre sí. En los entornos educativos presenciales, esta interacción se facilita a través del contacto físico entre los estudiantes y entre los estudiantes y el profesor. En los entornos educativos virtuales, la interacción física es sustituida por otras formas de comunicación soportadas por la tecnología, como los foros o las wikis (para la comunicación asíncrona) o las videoconferencias y los chats (para la comunicación síncrona) [37]. Tanto en los entornos educativos presenciales como en los virtuales, los profesores pueden fomentar la interacción social a través de actividades de colaboración y el uso de herramientas de comunicación [38].

Sin embargo, en entornos educativos virtuales donde hay un gran número de estudiantes matriculados, como en los MOOC, la comunicación síncrona puede ser problemática y, en general, se prefiere la comunicación asíncrona (principalmente entre alumnos con intervención limitada de los profesores). Los estudios sobre la interacción social en los MOOC destacan que los alumnos prefieren el foro como la principal herramienta de comunicación asíncrona, por encima de otras herramientas de comunicación, como Facebook o Twitter [39][40]. Cabe destacar que miles, e incluso decenas de miles de mensajes pueden ser generados por los alumnos en el foro de un solo MOOC, lo que dificulta la experiencia de aprendizaje de múltiples maneras. En primer lugar, los profesores pueden encontrar dificultades para detectar los mensajes más críticos y urgentes en un número tan grande de mensajes en el foro del MOOC. En segundo lugar (y como consecuencia del primer problema), es posible que los alumnos no obtengan respuestas a sus preguntas en un tiempo razonable, lo que les impida avanzar en el curso. Para aliviar estos problemas, es posible encontrar estudiantes en muchos MOOC que altruistamente dedican su tiempo a ayudar a sus compañeros. La identificación de estos “asistentes de la comunidad” es esencial en una fase temprana con el fin de proporcionarles permisos especiales para ayudar mejor a los profesores en la gestión del foro MOOC [41]. Además, se han propuesto metodologías y herramientas, como 3S y LATÉS [42], en la literatura relacionada para ayudar a profesores y alumnos a digerir y comprender mejor el gran número de mensajes publicados en el foro mediante la detección de los temas más importantes que están siendo discutidos.

En contextos educativos en los que se recogen grandes cantidades de datos, como los MOOC en general, y los foros de los MOOC (cuando se centran en la interacción social) en particular, los algoritmos de aprendizaje automático pueden ser útiles. Es posible recopilar los mensajes publicados por los

alumnos en un foro de un MOOC y analizar, por ejemplo, la calidad de los mensajes (medida por ejemplo como relevancia en el ámbito del curso), la polaridad de los mensajes basada en las palabras utilizadas (positivos, negativos o neutros), o los patrones de comportamiento de los alumnos (identificados, por ejemplo, a través de la frecuencia y calidad de los mensajes publicados por cada alumno). Destacan varios trabajos de investigación relacionados con el procesamiento de mensajes en los foros de los MOOCs. Por ejemplo, los autores de [43] concluyeron que es posible utilizar modelos de aprendizaje automático no supervisado desarrollados inicialmente para conversaciones síncronas con el fin de entender mejor las discusiones asíncronas en los foros de MOOC. En otro trabajo relevante, los autores de [44] desarrollaron algoritmos para la extracción de términos clave y clasificaron los temas de discusión según su relevancia; estos algoritmos fueron probados con datos recogidos a partir de varios MOOCs ofrecidos en Coursera. También vale la pena destacar el trabajo presentado en [45], en el que los autores analizaron las conductas cognitivamente relevantes de los estudiantes con datos recogidos de un foro de discusión de un MOOC, incluyendo la relación entre la cantidad y calidad de los mensajes publicados y las ganancias de aprendizaje, proponiendo un modelo de aprendizaje automático para predecir estas conductas. Finalmente, los autores de [46] compararon algoritmos de aprendizaje automático supervisado y no supervisado para llevar a cabo un análisis básico de las emociones de los alumnos a partir de los mensajes publicados en un foro de un MOOC, proponiendo como líneas de trabajo futuras la identificación de emociones humanas más complejas, como el aburrimiento, la emoción o la frustración, a partir de la información disponible en los foros de varios MOOCs.

Un paso adelante en la humanización de los debates en los foros y redes sociales en los casos en los que el profesor no tiene la capacidad o el tiempo para resolver todas las dudas (como en el caso de los MOOCs en entornos educativos virtuales), es el uso de asistentes virtuales “no humanos”. Los asistentes virtuales de enseñanza pueden entenderse como sistemas inteligentes destinados a mejorar la experiencia de aprendizaje mediante el suministro de información personalizada a petición de los alumnos [47]. Los asistentes virtuales de enseñanza pueden apoyar la comunicación síncrona en los chats (*chatbots*) o la comunicación asíncrona en los foros. Por ejemplo, el Georgia Institute of Technology (Georgia Tech) tiene una amplia experiencia en el uso de asistentes virtuales de enseñanza para apoyar los foros de cursos virtuales [48][49]. La primera vez que Georgia Tech utilizó un asistente de enseñanza virtual fue en 2015. Su nombre era Jill Watson, utilizaba APIs de IBM Watson [50], y fue diseñado para apoyar la discusión en foros en un curso en línea sobre Inteligencia Artificial Basada en el Conocimiento. Las versiones posteriores de Jill Watson se construyeron desde cero, utilizando una biblioteca externa de código abierto, y tenían diferentes nombres como asistentes de enseñanza en diferentes cursos (para una mayor “humanización”): Ian Braun, Stacy Sisko, Cassidy Kimball, Liz Duncan, etc. [48]. Curiosamente, la reacción de los estudiantes al uso de asistentes virtuales de enseñanza para apoyar los foros de discusión en línea fue “uniforme y abrumadoramente positiva”, según mencionan los autores en [48].

En definitiva, el uso de algoritmos de aprendizaje automático e inteligencia artificial, junto con la supervisión tradicional de los foros de los cursos por parte de los profesores (y de los “asistentes de la comunidad” en el caso de los MOOCs), tiene como objetivo enriquecer la experiencia de aprendizaje en entornos educativos virtuales. Sin embargo, una serie de cuestiones relevantes relacionadas surgen como oportunidades de investigación: (1) ¿Los estudiantes mejoran realmente su rendimiento (entendido como aprender mejor o desarrollar mejores habilidades) en el curso gracias a los asistentes virtuales de enseñanza? (2) ¿Realmente reducen los profesores su carga de trabajo al no tener que responder a tantas preguntas (pudiendo dedicar el tiempo ganado, por ejemplo, a mejorar el contenido del curso)? (3) ¿Pueden repetirse estos experimentos aislados en otros contextos de aprendizaje, con diferentes muestras de estudiantes y en otras áreas de conocimiento? (4) ¿Son conscientes los profesores de cómo funciona realmente la tecnología que les está ayudando? (5) ¿Cuáles son las implicaciones éticas de utilizar un asistente virtual de enseñanza para apoyar a los estudiantes en un foro de discusión del curso?

VII. EDUCACIÓN 4.0

El surgimiento de esta educación apoyada por el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo se basa fuertemente (como en cualquier otro dominio) en la disponibilidad de datos [51]. La Educación 3.0, habilitada por Internet y la computación en la nube, cambió el enfoque de los entornos educativos tradicionales desde la enseñanza presencial hacia los entornos en línea. Estos entornos en línea facilitan la recogida de datos y, por lo tanto, la toma de decisiones basada en el análisis de dichos datos. Dado que la disponibilidad de datos es un factor crítico para la definición de los modelos de aprendizaje en los que se basa la Educación 4.0, no es de extrañar que la mayoría de las iniciativas y de los esfuerzos de investigación se hayan concentrado en los entornos en línea, con especial atención a los MOOCs, pero también a los Sistemas de Gestión del Aprendizaje (LMS – *Learning Management Systems*) o a los Sistemas de Tutoría Inteligentes (*Intelligent Tutoring Systems* – ITS).

Por el contrario, se ha prestado poca atención a la utilización de la perspectiva basada en datos en entornos de aprendizaje presenciales y mixtos. Como se ha comentado en las secciones anteriores, el apoyo inteligente para la adaptación de contenidos, la colaboración e interacción, etc., son áreas de investigación emergentes con mucha actividad en la literatura para el contexto de educación en línea. Sin embargo, creemos que estos procesos en entornos de aprendizaje presenciales y mixtos también pueden beneficiarse de las herramientas desarrolladas para el mundo en línea y de las lecciones aprendidas del mismo.

Sin embargo, surgen importantes desafíos que ponen en peligro la aplicación de dichos procesos en entornos presenciales y mixtos. Las dificultades relacionadas con la recopilación de datos en contextos que no suelen estar mediados por la tecnología son las más inmediatas. Un problema potencial adicional puede ser el volumen de datos, dado que los entornos educativos en línea tienden a ser más masivos que los

presenciales. Combatir estos desafíos debería ser el siguiente paso para cerrar el círculo y volver a situar las tecnologías de la Educación 4.0 en el contexto educativo tradicional.

VIII. CONCLUSIONES

Aunque el progreso tecnológico es continuo y tiene lugar en diferentes frentes, desde un punto de vista conceptual es bueno identificar hitos para tener una visión amplia del estado del arte. Hemos identificado cuatro revoluciones en la educación siguiendo el ejemplo de la Industria 4.0. Comenzamos con la *educación oral* (Educación 0.0) y pasamos a la *educación documentada* (Educación 1.0) tras la invención de la imprenta. La segunda revolución de la electrónica y las telecomunicaciones nos lleva a la *educación audiovisual* (Educación 2.0). La tercera es la *educación conectada* (Educación 3.0) sobre la base de Internet y los dispositivos conectados. La educación 4.0 con interfaces naturales y tecnologías de aprendizaje automático y profundo sería la *educación inteligente*. La existencia de tecnologías avanzadas no significa que no podamos utilizar herramientas de épocas anteriores. Por el contrario, los nuevos desarrollos enriquecen el *statu quo*, dándonos más posibilidades de diseñar experiencias educativas enriquecedoras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de FEDER/Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades - Agencia Estatal de Investigación a través del Proyecto Smartlet (TIN2017-85179-C3-1-R). Este artículo también ha recibido apoyo parcial de la Red eMadrid (e-Madrid-CM), financiada por la Comunidad de Madrid mediante el proyecto S2018/TCS-4307. Este último proyecto también está cofinanciado por los Fondos Estructurales (FSE y FEDER). También se ha recibido apoyo parcial de la Comisión Europea a través de proyectos Erasmus+ “Capacity Building in the Field of Higher Education”, más específicamente a través de los proyectos COMPETEN-SEA, LALA e InnoVaT (574212-EPP-1-2016-1-NL-EPPKA2-CBHE-JP) (586120-EPP-1-2017-1-ES-EPPKA2-CBHE-JP) (598758-EPP-1-2018-1-AT-EPPKA2-CBHE-JP). Esta publicación refleja los puntos de vista de los autores, y los financiadores no se hacen responsables del uso que se pueda hacer de la información contenida en la misma.

REFERENCIAS

- [1] H. Lasi, P. Fettke, H. G. Kemper, T. Feld, M. Hoffmann, “Industry 4.0,” *Business & Information Systems Engineering*, vol. 6, no. 4, pp. 239-242, 2014.
- [2] J. Lee, H. A. Kao, S. Yang, “Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment,” *Procedia Cirp*, vol. 16, pp. 3-8, 2014.
- [3] J. P. Baker, A. K. Goodboy, N. D. Bowman, A. A. Wright, “Does teaching with PowerPoint increase students’ learning? A meta-analysis,” *Computers & Education*, vol. 126, pp. 376-387, 2018.
- [4] J. A. González-Martínez, M. L. Bote-Lorenzo, E. Gómez-Sánchez, R. Cano-Parra, “Cloud computing and education: A state-of-the-art survey,” *Computers & Education*, vol. 80, pp. 132-151, 2015.
- [5] L. Pappano, “The Year of the MOOC,” *The New York Times*, vol. 2, no. 12, 2012.
- [6] E. Dahlstrom, D. C. Brooks, J. Bichsel, “The current ecosystem of learning management systems in higher education: Student, faculty, and IT perspectives” Research report. Louisville, CO: ECAR, September 2014.
- [7] H. Bicen, S. Kocakoyun, “Determination of University Students’ Most Preferred Mobile Application for Gamification,” *World Journal on Educational Technology: Current Issues*, vol. 9, no. 1, pp. 18-23, 2017.
- [8] C. Alario-Hoyos, I. Estévez-Ayres, C. Delgado Kloos, P. J. Muñoz-Merino, E. Llorente-Pérez, J. Villena-Román, “Redesigning a Freshman Engineering Course to Promote Active Learning by Flipping the Classroom through the Reuse of MOOCs,” *International Journal of Engineering Education*, vol. 35, no. 1B, pp. 385-396, 2019.
- [9] R. S. Baker, P. S. Inventado, “Educational data mining and learning analytics,” In *Learning analytics* (pp. 61-75). Springer, New York, NY, 2014.
- [10] S. Dawson, D. Gašević, G. Siemens, S. Joksimovic, “Current state and future trends: A citation network analysis of the learning analytics field,” in *Proceedings of the fourth international conference on learning analytics and knowledge* (pp. 231-240), 2014. ACM.
- [11] A. Pardo, G. Siemens, “Ethical and privacy principles for learning analytics,” *British Journal of Educational Technology*, vol. 45, no. 3, pp. 438-450, 2014.
- [12] C. Delgado Kloos, C. Alario-Hoyos, P. J. Muñoz-Merino, M. B. Ibáñez, I. Estévez-Ayres, R. Crespo-García, “What Can You Do with Educational Technology that is Getting More Human?,” In *Proceedings of the 2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 1480-1487), 2019.
- [13] A. Agarwal, “How Four Technologies Created The ‘Perfect Storm’ For Online Learning,” *Forbes*, 2019.
- [14] P. J. Muñoz-Merino, R. González Novillo, C. Delgado Kloos, “Assessment of skills and adaptive learning for parametric exercises combining knowledge spaces and item response theory,” *Applied Soft Computing*, vol. 68, pp. 110-124, 2018.
- [15] P. Moreno-Marcos, P. J. Muñoz-Merino, C. Alario-Hoyos, I. Estévez-Ayres, C. Delgado Kloos, “Analysing the predictive power for anticipating assignment grades in a Massive Open Online Course,” *Behaviour & Information Technology*, vol. 37, no. 10-11, pp. 1021-1036, 2018.
- [16] xAPI, Available: <https://xapi.com/> (accessed: 10/09/2019)
- [17] M. Wolpers, J. Najjar, K. Verbert, E. Duval, “Tracking the actual usage: the attention metadata approach,” *Educational Technology and Society*, vol. 10, no. 3, pp. 106-121, 2007.
- [18] IMS Calliper, Available: <http://www.imsglobal.org/activity/caliper> (accessed: 10/09/2019)
- [19] Y. Tsai, D., Gašević, A. Whitelock-Wainwright, P.J., Muñoz-Merino, P. M. Moreno-Marcos, A. Rubio Fernández, K. Tammets, “SHEILA: Supporting higher education to integrate learning analytics research report,” SHEILA Project, 30, 2018.
- [20] P. Milgram, F. Kishino, “A taxonomy of mixed reality visual displays,” *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, vol. 77, no. 12, pp. 1321-1329. 1994.
- [21] H. K. Wu, S. W. Lee, H. Y. Chang, J. C. Liang, “Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education,” *Computers & Education*, vol. 62, pp. 41-49. 2013.
- [22] A. I. Levine, S. DeMaria Jr, A. D. Schwartz, A. J. Sim (Eds.), *The comprehensive textbook of healthcare simulation*, Springer Science & Business Media. 2013.
- [23] L. Meuleners, M. Fraser, “A validation study of driving errors using a driving simulator,” *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 29, pp. 14-21, 2015.
- [24] Applied Research Associated. “Virtual Heroes”. Available: <https://www.virtualheroes.com> (accessed: 10/09/2019)
- [25] C. Fernández-Panadero, V. de-la-Cruz-Barquero, D. Morán-Nuñez, “PhyMEL-WS: Physically experiencing the virtual world. Insights into mixed reality and flow state on board a wheelchair simulator,” *Journal of Universal Computer Science*, vol. 20, no. 12, pp. 1629-1648, 2014.
- [26] C. Delgado Kloos, C. Fernández-Panadero, M. B. Ibáñez, M. Muñoz and A. Pardo, “Towards parallel educational worlds,” In *Proceedings of the 2011 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, (pp. 1171-1176), 2011.

- [27] C. Fernández-Panadero, M. Pérez-Sanagustín, A. Pardo, R. García Crespo, C. Delgado Kloos, "Framework to Design Educational Mobile-Based Games Across Multiple Spaces," In *Proceedings of the 10th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL)*, (pp. 15-18), 2015.
- [28] C. Fernández-Panadero, C. Delgado-Kloos, "PhyMEL. A framework to integrate physical, mental and emotional learning in meaningful experiences and multidimensional reports," *3rd European Immersive Education Summit*, pp. 203-208. 2013.
- [29] M. F. Morán, F. J. Monroy, A. V. Iturbide, C. Fernández-Panadero, M. B. Ibáñez Espiga, "Serious games and simulations in the eMadrid network," In *Proceedings of the 2016 International Symposium on Computers in Education (SIE)*, (pp. 1-5), 2016
- [30] L. Fung, S. Boet, M. D. Bould, H. Qosa, L. Perrier, A. Tricco, "Impact of crisis resource management simulation-based training for interprofessional and interdisciplinary teams: A systematic review," *Journal of Interprofessional Care*, vol. 29, no. 5, pp. 433-444. 2015.
- [31] M. B. Ibáñez-Espiga, A. Di Serio, D. Villarán, C. Delgado Kloos, "Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness," *Computers & Education*, vol. 71, pp. 1-13, 2014.
- [32] G. López, L. Quesada, L. A. Guerrero, "Alexa vs. Siri vs. Cortana vs. Google Assistant: a comparison of speech-based natural user interfaces," In *Proceedings of the International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (pp. 241-250), 2017. Springer, Cham.
- [33] X. Lei, G. H. Tu, A. X. Liu, K. Ali, C. Y. Li, T. Xie, "The insecurity of home digital voice assistants - Amazon Alexa as a case study," arXiv preprint arXiv:1712.03327, pp. 1-13, 2018.
- [34] S. Tegos, S. Demetriadis, "Conversational agents improve peer learning through building on prior knowledge," *Journal of Educational Technology & Society*, vol. 20, no. 1, pp. 99-111, 2017.
- [35] C. Catalán, C. Delgado Kloos, C. Alario-Hoyos, P. J. Muñoz-Merino "Supporting a MOOC through a Conversational Agent. Design of a First Prototype," In *Proceedings of the 20th International Symposium on Computers in Education (SIE)* (pp. 1-6), 2018.
- [36] C. Delgado Kloos, C. Catalán, P. J. Muñoz-Merino, C. Alario-Hoyos, "Design of a Conversational Agent as an Educational Tool," In *Proceedings of the 2018 Learning with MOOCs (LWMOOCs)* (pp. 27-30), 2018.
- [37] B. Giesbers, B. Rienties, W. H. Gijssels, M. Segers, D. T. Tempelaar, "Social presence, Web videoconferencing and learning in virtual teams," *Industry and Higher Education*, vol. 23, no. 4, pp. 301-309, 2009.
- [38] N. Miyake, P. A. Kirschner, "The social and interactive dimensions of collaborative learning," In *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 418-438), 2014.
- [39] C. Alario-Hoyos, M. Pérez-Sanagustín, C. Delgado Kloos, M. Muñoz-Organero, "Delving into participants' profiles and use of social tools in MOOCs," *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 7, no. 3, pp. 260-266, 2014.
- [40] C. Alario-Hoyos, M. Pérez-Sanagustín, C. Delgado Kloos, H. A. Parada G. M. Muñoz-Organero, A. Rodríguez-de-las-Heras, "Analysing the impact of built-in and external Social Tools in a MOOC on Educational Technologies," In *Proceedings of the 8th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL)* (pp. 5-18), 2013.
- [41] C. Alario-Hoyos, P. J. Muñoz-Merino, M. Pérez-Sanagustín, C. Delgado Kloos, H. A. Parada G, "Who are the top contributors in a MOOC? Relating participants' performance and contributions," *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 32, no. 3, pp. 232-243, 2016.
- [42] P. M. Moreno-Marcos, C. Alario-Hoyos, P. J. Muñoz-Merino, I. Estévez-Ayres, C. Delgado Kloos, "A learning analytics methodology for understanding social interactions in MOOCs," *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2019.
- [43] A. Ezen-Can, K. E. Boyer, S. Kellogg, S. Booth, "Unsupervised modeling for understanding MOOC discussion forums: a learning analytics approach," In *Proceedings of the fifth international conference on learning analytics and knowledge* (pp. 146-150), 2015. ACM.
- [44] C. G. Brinton, M. Chiang, S. Jain, H. Lam, Z. Liu, F. M. F. Wong, "Learning about social learning in MOOCs: From statistical analysis to generative model," *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 7, no. 4, pp. 346-359, 2014.
- [45] X. Wang, D. Yang, M. Wen, K. Koedinger, C. P. Rosé, "Investigating How Student's Cognitive Behavior in MOOC Discussion Forums Affect Learning Gains," In *Proceedings of the 8th International Conference on Educational Data*, (pp. 226-233), 2015.
- [46] P. M. Moreno-Marcos, C. Alario-Hoyos, P. J. Muñoz-Merino, I. Estévez-Ayres, C. Delgado Kloos, "Sentiment analysis in MOOCs: A case study," In *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, (pp. 1489-1496), 2018. IEEE.
- [47] L. Benedetto, P. Cremonesi, M. Parenti, "A Virtual Teaching Assistant for Personalized Learning," arXiv preprint arXiv:1902.09289, pp. 1-3, 2019.
- [48] A. K. Goel, L. Polepeddi, "Jill Watson: A Virtual Teaching Assistant for Online Education," Georgia Institute of Technology, 2016.
- [49] A. K. Goel, D. A. Joyner, "An Experiment in Teaching Cognitive Systems Online," *International Journal for the Scholarship of Technology Enhanced Learning*, vol. 1, no. 1, pp. 3-23, 2016.
- [50] D. Ferrucci, E. Brown, J. Chu-Carroll, J. Fan, D. Gondek, A. Kalyanpur, et al., "Building Watson: An overview of the DeepQA project," *AI magazine*, vol. 31, no. 3, pp. 59-79, 2010.
- [51] K. R. Koedinger, R. S. Baker, K. Cunningham, A. Skogsholm, B. Leber, J. Stamper, "A data repository for the EDM community: The PSLCDataDhop," In Romero, C., Ventura, S., Pechenizkiy, M., and Baker, R., editors, *Handbook of educational data mining*. CRC Press, BocaRaton, FL (pp. 43-56), 2010.