

Ecosistema de tecnologías emergentes: realidad aumentada, virtual y mixta

Julio Cabero-Almenara

Catedrático de Didáctica y Organización Escolar de la Universidad de Sevilla (España)
cabero@us.es | <https://orcid.org/0000-0002-1133-6031>

Rubicelia Valencia-Ortiz (autora de contacto)

Gerente de Innovación y Transformación Digital en Macmillan Education (Ciudad de México, México)
rubicelia.valencia@macmillaneducation.com | <https://orcid.org/0000-0003-4656-5456>

Carmen Llorente-Cejudo

Profesora titular de la Universidad de Sevilla (España)
karen@us.es | <https://orcid.org/0000-0002-4281-928X>

Extracto

Diferentes tecnologías emergentes están dando un fuerte impulso gracias a acontecimientos como la importancia adquirida de la Web 2.0, la reducción de costes de equipos o la fuerte penetración de los dispositivos móviles, entre otros. Una de estas tecnologías emergentes es la denominada «realidad extendida» o «mixta», la cual tendrá un fuerte nivel de penetración en nuestros centros educativos y universidades en un horizonte de 3 a 5 años. En el presente artículo se hace una revisión del estado de la cuestión sobre la incorporación de la realidad extendida en los diferentes niveles educativos de enseñanza, centrándose en lo que respecta a su utilización en contextos de formación universitaria; y se analiza qué se entiende como realidad extendida, realidad aumentada o realidad mixta, así como las posibilidades y limitaciones didácticas que los estudios e investigaciones han detectado en torno a su uso, con el propósito de diseñar un marco teórico desde diferentes teorías que sustenten su incorporación en el ámbito educativo.

Palabras clave: nuevas tecnologías; realidad extendida; formación universitaria; realidad aumentada; tecnologías emergentes; realidad virtual; aplicación educativa realidad extendida.

Recibido: 26-02-2022 | Aceptado: 26-05-2022 | Publicado: 07-09-2022

Cómo citar: Cabero Almenara, J., Valencia-Ortiz, R. y Llorente-Cejudo, C. (2022). Ecosistema de tecnologías emergentes: realidad aumentada, virtual y mixta. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 23, 7-22. <https://doi.org/10.51302/tce.2022.1148>



Ecosystem of emerging technologies: augmented, virtual and mixed reality

Julio Cabero-Almenara

Catedrático de Didáctica y Organización Escolar de la Universidad de Sevilla (España)
cabero@us.es | <https://orcid.org/0000-0002-1133-6031>

Rubicelia Valencia-Ortiz (corresponding author)

Gerente de Innovación y Transformación Digital en Macmillan Education (Ciudad de México, México)
rubicelia.valencia@macmillaneducation.com | <https://orcid.org/0000-0003-4656-5456>

Carmen Llorente-Cejudo

Profesora titular de la Universidad de Sevilla (España)
karen@us.es | <https://orcid.org/0000-0002-4281-928X>

Abstract

Different emerging technologies are having a strong boost in the context of events such as the acquired importance of Web 2.0 applications, the reduction of equipment costs, or the strong penetration rate of mobile devices, among others. One of these emerging technologies is the so-called «extended reality» or «mixed» which will have a strong level of penetration into our educational centers and universities in a time horizon of 3 to 5 years. This article reviews the state of the art on the incorporation of extended reality in the different educational levels of teaching, focusing on its use in university training contexts; it analyzes what is understood as extended reality, augmented reality or mixed reality, and the didactic possibilities and limitations that studies and research have found regarding its use, with the aim of designing a theoretical framework from different theories that support their incorporation into the educational field.

Keywords: new technologies; extended reality; university training; augmented reality; emerging technologies; virtual reality; extended reality educational application.

Received: 26-02-2022 | Accepted: 26-05-2022 | Published: 07-09-2022

Citation: Cabero Almenara, J., Valencia-Ortiz, R. and Llorente-Cejudo, C. (2022). Ecosystem of emerging technologies: augmented, virtual and mixed reality. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 23, 7-22. <https://doi.org/10.51302/tce.2022.1148>



Sumario

1. Introducción
 2. ¿Qué se puede entender por realidad aumentada, virtual y mixta?
 3. Su incorporación a la instrucción y formación
 4. Limitaciones para su incorporación a la instrucción y formación
 5. Conclusiones
- Referencias bibliográficas

1. Introducción

En lo que ha transcurrido del siglo XXI, diferentes tecnologías emergentes (web semántica, gamificación, computación en nubes, analíticas de aprendizaje, *massive open online courses* [MOOC], la internet de las cosas, realidad aumentada, realidad virtual, etc.) tienen un fuerte impulso gracias a diversos acontecimientos que van desde la importancia que ha adquirido la Web 2.0 hasta la reducción de costes de los equipos y la fuerte penetración de los dispositivos móviles. Dentro de estas tecnologías emergentes nos encontramos con la realidad aumentada (*augmented reality*), la realidad virtual (*virtual reality*) y la realidad extendida (*extended reality*), esta última también denominada «realidad mixta» (*mixed reality*). Estas tecnologías forman un ecosistema de ampliación y de nueva relación con la realidad y que, como se ha señalado en diferentes ediciones del *Informe Horizon* (Adams *et al.*, 2018; Alexander *et al.*, 2019; Brown *et al.*, 2020), tienen un fuerte nivel de penetración en nuestros centros educativos y universidades, algunas de ellas de acuerdo con los hiperciclos de Gartner, que es una representación gráfica de la madurez, adopción y aplicación comercial de una tecnología específica. En el caso al que nos referimos, debemos señalar que ya han alcanzado la meseta de la productividad y, en consecuencia, se han consolidado.

También, en lo concerniente a la realidad extendida, esta significación fue puesta de manifiesto por la Open University (Kukulska-Hulme *et al.*, 2021), que la señalaba como una de las tecnologías que desarrollarían una pedagogía innovadora a partir del 2021. Por otra parte, la institución CentroMipc, dedicada al análisis de las tendencias tecnológicas para pymes y educación, la situaba como una de las tendencias tecnológicas para la educación en el año 2018 (<https://centromipc.com/blog/tendencias-tecnologicas-educacion-2018/>).

Por tanto, hablar de estas tecnologías es referirnos a tecnologías que, además de su penetración y acercamiento al mundo educativo, despiertan un verdadero interés por conocer sus posibilidades educativas a través de la investigación, así como por analizar sus formas de diseño o determinar las limitaciones que se presentan para su incorporación a la enseñanza.

2. ¿Qué se puede entender por realidad aumentada, virtual y mixta?

De forma sintética, podemos decir que la realidad aumentada es la combinación de información digital e información física en tiempo real a través de diferentes dispositivos

tecnológicos; es decir, consiste en utilizar un conjunto de dispositivos tecnológicos que añaden información virtual a la información física; por tanto, implica añadir una parte sintética virtual a lo real (Cabero Almenara y García Jiménez, 2016). Por su parte, cuando hablamos de realidad virtual, se trata de reemplazar completamente un entorno real por un entorno sintético en 3D o con contenidos en trescientos sesenta grados; es decir, estamos hablando de simulaciones generadas por computadora que permiten al usuario interactuar con un entorno visual tridimensional artificial u otro entorno sensorial (Bockholt, 2017; Cañellas Mayor, 2017). Con la primera, el sujeto no se desprende de la realidad física, es más, la necesita para establecer la interacción; mientras que, con la segunda, se desprende completamente de ella e interactúa en un entorno especialmente construido para ello.

Por el contrario, cuando hablamos de realidad extendida o mixta, nos referimos a un nuevo concepto que aglutina las dos tecnologías anteriormente señaladas; es decir, la aumentada y la virtual. Por tanto, nos referimos, con ella, a la creación de una tecnología con la capacidad de crear y añadir información desarrollada virtualmente con el conocimiento y control de un entorno real. En consecuencia, hablar de realidad extendida o mixta es referirnos a las posibilidades educativas y a las características poseídas por la combinación de la realidad aumentada y la virtual.

Aunque hemos señalado alguna diferencia entre la realidad aumentada y la virtual, no debemos olvidar que ambas tecnologías comparten algunas características comunes, como la inmersión, la navegación y la interacción. Como señalan Johnson *et al.* (2016), «la realidad aumentada y [la] realidad virtual están separadas, pero estrechamente relacionadas con las tecnologías. La realidad aumentada se caracteriza por la incorporación de información digital, incluyendo imágenes, vídeo y audio en el mundo real. La realidad aumentada pretende mezclar la realidad con lo virtual, lo que permite a los usuarios interactuar con los dos objetos, físico y digital. La realidad virtual permite a los usuarios sumergirse en un mundo alternativo, simulado por el ordenador, en el que se pueden producir experiencias sensoriales» (p. 40), buscando en todos los casos la fidelidad de la representación y la interacción del estudiante. Fidelidad representativa que se refiere no solo a las cualidades visuales de la pantalla, sino también a la consistencia del comportamiento del objeto (Dalgarno y Lee, 2010), lo que permite crear para el usuario una sensación de estar allí o un sentido de presencia (Fowler, 2015).

Para Cabero Almenara *et al.* (2016), al comparar la realidad virtual y aumentada, «se constata que su diferencia radica en que promueven fórmulas de interacción entre los sujetos y el mundo real completamente distintas. Así, mientras la realidad virtual traslada a un mundo inexistente (virtual) que sustituye por completo al real, la realidad aumentada añade un nuevo plano a la visión que tienen del mundo real palpable, agregando información complementaria a través de la superposición de objetos de 3D virtuales» (pp. 31-32).

Pero tal vez, uno de los análisis más pormenorizados que se ha realizado respecto a las diferencias y similitudes entre la realidad aumentada y virtual ha sido el efectuado por Caballero Bermúdez *et al.* (2020), quienes establecen diferencias en función de una serie de criterios:

interacción del usuario con el mundo real o natural, inmersión del usuario en la experiencia digital, costos, facilidad de utilización, origen, fases de desarrollo e interconectividad.

Lo comentado permite establecer una clara diferencia entre la realidad aumentada y virtual, ya que, en la segunda, los datos virtuales sustituyen a los físicos, creándose una nueva realidad. Por el contrario, en la realidad aumentada, las dos realidades se superponen en distintas capas de información en formatos diversos (imágenes generadas por ordenador, secuencias de vídeo, animaciones, etc.) para configurar una nueva realidad que es con la que interacciona la persona. De todas formas, no olvidemos que ambas «realidades» comparten algunas características comunes, como ya se ha señalado: la inmersión, la navegación y la interacción.

Sin embargo, ambas tecnologías pueden combinarse en la realidad extendida, que es un tipo de sistema híbrido que involucra tanto elementos físicos como virtuales (Tang *et al.*, 2020), y brindan experiencias virtuales completamente inmersivas (Brown *et al.*, 2020).

3. Su incorporación a la instrucción y formación

Sobre su utilización en la instrucción y formación, debe señalarse, desde el principio, la significación que estas tecnologías están teniendo en los últimos años, como se puede comprobar, por una parte, en el aumento de publicaciones e investigaciones. Y, por otra, en la realización de diferentes metaanálisis de investigaciones para conocer sus posibilidades (Abich *et al.*, 2021; Di Natale *et al.*, 2020; Garzón *et al.*, 2019; Kavanagh *et al.*, 2107; Mass y Hughes, 2020; Radianti *et al.*, 2020; Suh y Prophet, 2018; Toala-Palma *et al.*, 2020; Vásquez-Carbonell y Silva-Ortega, 2020). Dichos metaanálisis han señalado diferentes aspectos, como son los siguientes:

- Los dominios de aplicación más populares cubiertos por estas tecnologías han sido la medicina, las ciencias sociales, la neurociencia y la psicología.
- Las variables más utilizadas han sido los estímulos, los contenidos, las reacciones cognitivas y afectivas que genera su utilización, las respuestas positivas y negativas que despiertan, el género, la edad y la búsqueda de sensaciones e innovación personal.
- Su utilización aumenta la motivación de los estudiantes.
- El porcentaje de investigaciones ha aumentado considerablemente en los últimos tiempos.
- Se presentan como tecnologías con fuertes desarrollos en el futuro de la educación.
- Se han efectuado pocas investigaciones centradas en sus efectos educativos, mientras aumentan las investigaciones sobre aspectos tecnológicos.

- Permiten conseguir un verdadero efecto de inmersión.
- Hay investigaciones que subrayan su eficacia para favorecer el aprendizaje de los estudiantes.
- Realización de investigaciones poco rigurosas y con problemas de investigación con escasa significación para el terreno educativo.
- Son herramientas que potencian la innovación educativa.

Al mismo tiempo, son tecnologías que actualmente se utilizan en los diferentes niveles de enseñanza, desde infantil a bachillerato, formación profesional y enseñanza universitaria (Akçayır y Akçayır, 2017; George Reyes, 2020; López-Cortés *et al.*, 2021; Marín y Muñoz, 2018), aunque nosotros nos centremos en este artículo fundamentalmente en su utilización en contextos de formación universitaria. Y también son tecnologías que se han incorporado a diferentes áreas de conocimiento, encontrando una especial atención en las disciplinas STEM¹ (Ibáñez y Delgado-Kloos, 2018).

De todas formas, recordemos que su utilización ha trascendido el ámbito educativo y así, por ejemplo, se han llevado a cabo experiencias como en el tratamiento de los niños autistas (Lorenzo *et al.*, 2016) para desarrollar la creatividad (Jimeno-Morenilla *et al.*, 2016) o para aumentar las actitudes de los estudiantes hacia la ciencia y mejorar su educación científica (Birt *et al.*, 2017; Makransky *et al.*, 2020). En definitiva, su utilización ha alcanzado un amplio espectro, no solo formativo, sino también en un sentido «curativo» y de potenciación de determinadas competencias y habilidades.

Y ya centrándonos en su utilización en la enseñanza universitaria, nos encontramos con diferentes análisis que señalan las disciplinas más utilizadas. Así, Vergara *et al.* (2021) señalan que son las áreas de ciencias de la salud, de ingeniería y de arquitectura donde han sido más utilizadas y, además, con resultados satisfactorios. Por su parte, Radianti *et al.* (2020), en el metaanálisis de publicaciones que realizan, señalan que son la medicina, las ciencias sociales, la neurociencia y la psicología donde más se ha llegado a utilizar.

Sin embargo, encontramos experiencias de utilización en otras áreas, como idiomas (Garrido-Iñigo y Rodríguez-Moreno, 2015; Nicolaidou *et al.*, 2021), educación física (Guo, 2016), arte e historia (*Future of Education Technology Conference* [FETC], 2021; Kukulská-Hulme *et al.*, 2021), matemáticas (Birt *et al.*, 2017), dibujo técnico (Alvarado *et al.*, 2019) o turismo (Alvarado *et al.*, 2019). En consecuencia, podemos señalar que, en la formación universitaria, las disciplinas en que se ha llegado a utilizar son bastante diversas y amplias.

De todas formas, no olvidemos que una de las áreas donde más se ha empleado, y con resultados significativos en lo que respecta al aprendizaje, la motivación y las actitudes, ha

¹ STEM (*science, technology, engineering and mathematics*).

sido la medicina (Birt *et al.*, 2017; Lahiri *et al.*, 2015; Kukulska-Hulme *et al.*, 2021; Tsekhmister *et al.*, 2021; Walsh *et al.*, 2017), donde, además, se ha mostrado muy eficaz durante el periodo de la pandemia.

En cuanto a su utilización –y aunque se han realizado diferentes aplicaciones educativas de estas tecnologías, como puede observarse en los trabajos de Brown *et al.* (2020) y Kukulska-Hulme *et al.* (2021)–, la realidad es que faltan estudios e investigaciones que no se centren fundamentalmente en problemáticas asociadas al *hardware* que se desee utilizar y a los requerimientos del *software* para la producción de sus objetos de aprendizaje (Abich *et al.*, 2021).

Aunque las investigaciones se presentan con un carácter limitado, tampoco se puede negar que las realizadas hayan puesto de manifiesto una diversidad de aspectos, como son que su utilización aumenta la motivación de los estudiantes hacia la acción educativa desarrollada y los contenidos presentados (Campos Soto *et al.*, 2020; Cantón Enríquez *et al.*, 2017; Radianti *et al.*, 2021), que mejora la atención (Campos Soto *et al.*, 2020), que mejora los resultados de aprendizaje (Fromm *et al.*, 2021; Zhonggen, 2021) y que los estudiantes muestran altos niveles de satisfacción cuando participan en experiencias con este tipo de objetos (Shen *et al.*, 2019; Lerma García *et al.*, 2020). Cuando se han realizado estudios comparativos con modelos tradicionales de formación, los resultados han sido favorables a las experiencias realizadas utilizando este tipo de objetos (Alfalah *et al.*, 2019; Tang *et al.*, 2020).

Particularmente significativa ha sido la diversidad de resultados alcanzados por nosotros dentro del Proyecto Rafodiun², referidos tanto al grado de aprendizaje como al nivel de aceptación y motivación que despierta la tecnología de la realidad aumentada. Asimismo, en las publicaciones presentadas en el sitio web del proyecto, el lector interesado puede analizar otros temas relacionados con el resto de investigaciones, como la posibilidad de que los alumnos se conviertan en productores de objetos de aprendizaje en formato de realidad aumentada (Cabero Almenara *et al.*, 2018; Marín-Díaz *et al.*, 2018).

4. Limitaciones para su incorporación a la instrucción y formación

Como se desprendió del Proyecto Rafodiun, las dificultades para incorporar estas tecnologías a la enseñanza son diversas. Al respecto, se detectaron como principales las siguientes:

- Inexistencia de un cuerpo teórico consolidado que facilite establecer claras estrategias para su utilización.

² <https://grupotecnologiaeducativa.es/proyectorafodiun/>

- Formación de la que puede disponer el profesorado.
- Tecnología novedosa y, por tanto, con escasas investigaciones.
- Evolución vertiginosa que adquiere su tecnología y *software* de programación.
- Disociación y carga cognitiva que se produce al interaccionar en un contexto que mezcla lo real y lo virtual.
- Poca existencia de objetos de aprendizaje para ser utilizados en la enseñanza.

Pero, conforme se incorporan estas tecnologías a la enseñanza y se aumenta su conocimiento mediante la investigación educativa, surgen nuevos problemas para analizar e investigar. Así, uno de los problemas que se ha planteado desde la investigación se refiere a los diferentes efectos que se pueden producir con su utilización bajo la modalidad de «escritorio», que está «conformada simplemente por una computadora de escritorio con características comunes, capacidad para reproducir contenidos multimedia o simulaciones que se pueden explorar a través del teclado, el *mouse*, un *joystick* o una pantalla táctil» (Flores Cruz *et al.*, 2014, p. 5), o bajo la modalidad «inmersiva», que está «constituida por un par de pantallas de visualización tridimensional montadas en un casco sobre la cabeza del usuario, que le permiten estar del todo aislado del mundo físico exterior; en esta categoría también entran las llamadas cuevas de realidad virtual» (Flores Cruz *et al.*, 2014, p. 5). En este sentido, las investigaciones sugieren que los resultados que se alcanzan con cada una de las formas de utilización son diferentes (Parong y Mayer, 2021; Raua *et al.*, 2018; Shu *et al.*, 2018; Suh y Prophet, 2018; Radianti *et al.*, 2020; Zhonggen, 2021).

Sin embargo, no es posible negar que diferentes investigaciones han señalado algunas de las limitaciones que tienen para su incorporación a la formación, variables que deberán ser contempladas a la hora de su puesta en acción. Una ya señalada es la falta de investigación, pero también nos encontramos con otras, como la novedad de la tecnología (Parong y Mayer, 2021), el costo y el esfuerzo para su realización (Brown *et al.*, 2020) o la necesidad de contar con unos dispositivos especiales para la realización de las experiencias inmersivas (Kukulka-Hulme *et al.*, 2021), tampoco podemos olvidarnos, como sugieren Brown y otros (2020), que su utilización supone una disminución en los costos que deben invertir las instituciones para la realización de diferentes prácticas.

En consecuencia, y como llegan a señalar una diversidad de autores (Abich *et al.*, 2021; Ke *et al.*, 2016; Radianti *et al.*, 2020; Scavarelli *et al.*, 2021), es necesario llevar a cabo investigaciones para determinar diferentes aspectos, tales como son la problemática de su diseño, las teorías de aprendizaje que pueden apoyar mejor su utilización, las estrategias de utilización, el análisis de sus posibilidades educativas o el sentido de presencia que generan.

Por otro lado, nos encontramos con la problemática de la «carga cognitiva», teoría que sugiere que los resultados educativos serán satisfactorios cuando los recursos o las habilidades cognitivas puedan satisfacer las necesidades de los estudiantes; sin embargo, si

no lo hacen o las cargas cognitivas son excesivamente altas, los resultados educativos no serán satisfactorios (Murphy *et al.*, 2015). Ello también está relacionado con las emociones que la experiencia educativa despierta en los estudiantes, su motivación (Feldon *et al.*, 2109) y la complejidad de la tarea (Lin y Kao, 2018). Diferentes investigaciones (Lee, 2020; Singh *et al.*, 2020) han señalado que la utilización de objetos de aprendizaje en formato realidad extendida disminuye la carga cognitiva que invierten los estudiantes en el procesamiento de la información y, por tanto, favorece el aprendizaje. De todas formas, los resultados no son tan claros y las investigaciones ofrecen resultados contradictorios y diferentes (Akçayır y Akçayır, 2017). Por ello, puede ser interesante adoptarla como línea futura de investigación.

La necesidad de establecer una teoría de aprendizaje en la que apoyar su utilización ha sido reclamada por diferentes autores (Fowler, 2015; Morris, 2019; Radianti *et al.*, 2020) que llamaban la atención respecto a que en muchos estudios faltaba la declaración de una teoría explícita, siendo su declaración de utilidad para la adquisición de habilidades y competencias (Brown *et al.*, 2020). Bajo esta perspectiva se han desarrollado diferentes propuestas de utilizarlas apoyándose en la teoría del aprendizaje experiencial (Fromm *et al.*, 2021; Le *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2019; Sun y Cheng, 2009), ya que los objetos producidos con estas tecnologías facilitan la interactividad e inmersión de los estudiantes en los entornos creados por los materiales producidos (Fowler, 2015; Radianti *et al.*, 2020), lo que facilita el aprendizaje mediante la práctica por parte del estudiante (Sultan *et al.*, 2019).

Es necesario señalar que la teoría del aprendizaje experiencial fue desarrollada por Kolb (2015) y se apoya en el principio de que el conocimiento se crea a través de la transformación de la experiencia desarrollada mediante cuatro tipos diferentes de habilidades:

- Experiencia concreta (*concrete experience* [CE]).
- Observación reflexiva (*reflective observation* [RO]).
- Conceptualización abstracta (*abstract conceptualisation* [AC]).
- Experimentación activa (*active experimentation* [AE]).

Es decir, deben poder involucrarse de manera plena, abierta y sin prejuicios en nuevas experiencias (CE); deben poder reflexionar y observar sus experiencias desde muchas perspectivas (RO); deben ser capaces de crear conceptos que integren sus observaciones en teorías lógicamente sólidas (AC); y deben poder utilizar estas teorías para tomar decisiones y resolver problemas (AE) (Morris, 2018). Todo ello facilita que los estudiantes se involucren, sean activos, estén comprometidos y participen en el proceso de aprendizaje.

Al mismo tiempo, su utilización está comenzando a recibir aportaciones desde diferentes marcos teóricos, como son las siguientes teorías: el aprendizaje basado en juegos, el aprendizaje basado en la investigación por parte del estudiante, el aprendizaje ubicuo, el aprendizaje móvil, la perspectiva constructivista de la enseñanza y el aprendizaje contextual.

Otro de los problemas que nos encontramos para su utilización se deriva de la falta de presupuestos teóricos y conceptuales con los que contamos para el diseño de los materiales educativos en estos soportes tecnológicos. Preguntas referidas al número de conceptos que se deben presentar, la amplitud de los escenarios grabados, la necesidad de incorporación de mapas y señales para dirigir la atención de los estudiantes, la significación de la calidad de la imagen para la interpretación, la accesibilidad y facilidad de navegación, entre otras. Todas las anteriores son cuestiones que deben ser abordadas desde la investigación educativa. Y todo ello independientemente de la necesidad de su incorporación en diseños instruccionales robustos, pues, en el caso contrario, las experiencias pueden convertirse en elementos lúdicos y no instruccionales.

5. Conclusiones

Las tecnologías emergentes ocupan ya un lugar importante en distintos ámbitos de la sociedad y existen estudios que han explorado sus posibilidades educativas y han analizado sus formas de diseño y las limitaciones en su proceso de incorporación a la enseñanza. Conforme se avanza en este proceso y en la investigación respectiva, se ha «problematizado» esta línea de análisis y se ha constatado la necesidad de más estudios, sobre todo, en cuanto a la novedad de estas tecnologías, el costo y esfuerzo para su realización o la ampliación de los presupuestos teóricos y conceptuales que den fundamento al diseño de los materiales educativos en estos soportes tecnológicos.

Finalmente, no se pueden olvidar los problemas derivados de la falta de formación del profesorado, ya no solo para la incorporación de las tecnologías de la información y comunicación de forma general en la práctica educativa, sino también, de manera más específica, de las tecnologías a las que nos estamos refiriendo en el presente artículo.

Referencias bibliográficas

- Abich, J., Parker, J., Murphy, J. S. y Eudy, M. (2021). A review of the evidence for training effectiveness with virtual reality technology. *Virtual Reality*, 25, 919-933. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00498-8>
- Adams Becker, S., Brown, M., Dahlstrom, E., Davis, A., DePaul, K., Díaz, V. y Pomerantz, J. (2018). *NMC Horizon Report: 2018 Higher Education Edition*. EDUCAUSE. <https://library.educase.edu/~media/files/library/2018/8/2018horizonreport.pdf>
- Akçayır, M. y Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: a systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
- Alexander, B., Ashford-Rowe, K., Barajas-Murphy, N., Dobbin, G., Knott, J., McCormack, M., Pomerantz, J., Seilhamer, R. y Weber, N. (2019). *EDUCAUSE Horizon Report*. EDUCAUSE. <https://library.educase.edu/~media/files/library/2019/8/2019horizonreport.pdf>

se.edu/-/media/files/library/2019/4/2019horizonreport.pdf?la=en&hash=C8E8D444AF372E705FA1BF9D4FF0DD4CC6F0FDD1

Alfalah, S. F. M., Falah, J. F. M., Alfalah, T., Elfalah, M., Muhaidat, N. y Falah, O. (2019). A comparative study between a virtual reality heart anatomy system and traditional medical teaching. *Virtual Reality*, 23, 229-234. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0359-y>

Alvarado, Y., Jofré, N., Rosas, M. y Guerrero, R. A. (2019). Aplicaciones de realidad virtual y realidad aumentada como soporte a la enseñanza del dibujo técnico. *Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores*, 9, 65-74.

Birt, J., Moore, E. y Cowling, M. (2017). Improving paramedic distance education through mobile mixed reality simulation. *Australasian Journal of Educational Technology*, 33(6), 69-83. <https://doi.org/10.14742/ajet.3596>

Bockholt, N. (2017). *Realidad virtual, realidad aumentada, realidad mixta. Y ¿qué significa «inmersión» realmente?* https://www.thinkwithgoogle.com/_qs/documents/2027/c922f_15_perspectivas_realidadvirtual_quesignificainmersion.pdf

Brown, M., McCormack, M., Reeves, J., Christopher Brooks, D., Grajek, S., Alexander, B., Bali, M., Bulger, S., Dark, S., Engelbert, N., Gannon, K., Gauthier, A., Gibson, D., Gibson, R., Lundin, B., Veletsianos, G. y Weber, N. (2020). *2020 EDUCAUSE Horizon Report. Teaching and Learning Edition*. EDUCAUSE.

Caballero Bermúdez, M.^a P., Mejía Corredor, C. y Romero Rincón, J. C. (2020). Realidad aumentada vs. realidad virtual: una revisión conceptual. *Teknos. Revista Científica*, 19(2), 10-19.

Cabero Almenara, J., Barroso Osuna, J. y Gallego Pérez, Ó. (2018). La producción de objetos de aprendizaje en realidad aumentada

por los estudiantes. Los estudiantes como prosumidores de información. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 11, 15-46. <https://doi.org/10.51302/tce.2018.221>

Cabero Almenara, J. y García Jiménez, F. (Coords.). (2016). *Realidad aumentada: tecnología para la formación*. Síntesis.

Cabero Almenara, J., García Jiménez, F. y Arroyo Fernández, C. (2016). La producción de objetos de aprendizaje en realidad aumentada para la formación universitaria en el SAV de la Universidad de Sevilla. En L. Villalustre Martínez y M.^a E. del Moral Pérez (Coords.), *Experiencias interactivas con realidad aumentada* (pp. 9-30). Octaedro.

Campos Soto, N., Ramos Navas-Parejo, M. y Moreno Guerrero, A. J. (2020). Realidad virtual y motivación en el contexto educativo: estudio bibliométrico de los últimos veinte años de Scopus. *Alteridad. Revista de Educación*, 15(1), 47-60. <https://doi.org/10.17163/alt.v15n1.2020.04>

Cantón Enríquez, D., Arellano Pimentel, J., Hernández López, M. A. y Nieva García, O. S. (2017). Uso didáctico de la realidad virtual inmersiva con interacción natural de usuario enfocada a la inspección de aerogeneradores. *Apertura*, 27, 9(2), 8-23. <https://doi.org/10.32870/ap.v9n2.1049>

Cañellas Mayor, A. (2017). Apuntes docentes: posibilidades educativas de la realidad virtual inmersiva. *Centro de Comunicación y Pedagogía*. <http://www.centrocp.com/apuntes-docentes->

Dalgarno, B. y Lee, M. J. W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*, 41, 10-32 <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x>

Di Natale, A., Repetto, C., Riva, G. y Villani, D. (2020). Immersive virtual reality in K-12 and higher education: a 10-year systematic review of empirical research. *British*

- Journal of Educational Technology*, 51(6), 2.006-2.033. <https://doi.org/10.1111/bjet.13030>
- Feldon, D. F., Callan, G., Juth, S. y Jeong, S. (2019). Cognitive load as motivational cost. *Educational Psychology Review*, 31, 319-337. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09464-6>
- FETC. (2021). *How Can Virtual Reality Be Used to Improve Education?* <https://blog.fetc.org/how-can-virtual-reality-be-used-to-improve-education/>
- Flores Cruz, J. A., Camarena Gallardo, P. y Avalos Villarreal, E. (2014). La realidad virtual, una tecnología innovadora aplicable al proceso de enseñanza de los estudiantes de ingeniería. *Apertura*, 6(2), 1-11.
- Fowler, C. (2015). Virtual reality and learning: Where is the pedagogy? *British Journal of Educational Technology*, 46(2), 412-422. <https://doi.org/10.1111/bjet.12135>
- Fromm, J., Radianti, J., Wehking, C., Stieglitz, S., Majchrzak, T. A. y Brocke, J. vom. (2021). More than experience?-On the unique opportunities of virtual reality to afford a holistic experiential learning cycle. *The Internet and Higher Education*, 50, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2021.100804>
- Garrido-Iñigo, P. y Rodríguez-Moreno, F. (2015). The reality of virtual worlds: pros and cons of their application to foreign language teaching. *Interactive Learning Environments*, 23(4), 453-470.
- Garzón, J., Pavón, J. y Baldiris, S. (2019). Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings. *Virtual Reality*, 23, 447-459. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00379-9>
- George Reyes, C. E. (2020). Percepción de estudiantes de bachillerato sobre el uso de Metaverse en experiencias de aprendizaje de realidad aumentada en matemáticas. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 58, 143-159. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.74367>
- Guo, H. (2016). Application of virtual reality technology in swimming teaching. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 11(11), 9-14. <https://doi.org/10.3991/ijet.v11i11.6246>
- Ibáñez, M.^a B. y Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: a systematic review. *Computers & Education*, 123, 109-123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- Jimeno-Morenilla, A., Sánchez-Romero, J. L., Mora-Mora, H. y Coll-Miralles, R. (2016). Using virtual reality for industrial design learning: a methodological proposal. *Behaviour & Information Technology*, 35(11), 897-906.
- Johnson, L., Adams Becker, S., Cummins, M., Estrada, V., Freeman, A. y Hall, C. (2016). *NMC Horizon Report: 2016. Higher Education Edition*. The New Media Consortium.
- Kavanagh, S., Luxton-Reilly, A., Wuensche, B. y Plimmer, B. (2017). A systematic review of virtual reality in education. *Themes in Science and Technology Education*, 10(2), 85-119.
- Ke, F., Lee, S. y Xu, X. (2016). Teaching training in a mixed-reality integrated learning environment. *Computers in Human Behavior*, 62, 212-220.
- Kolb, D. A. (2015). *Experiential Learning*. Pearson Education.
- Kukulska-Hulme, A., Bossu, C., Coughlan, T., Ferguson, R., FitzGerald, E., Gaved, M., Herodotou, C., Rienties, B., Sargent, J., Scanlon, E., Tang, J., Wang, Q., Whitelock, D. y Zhang, S. (2021). *Innovating Pedagogy 2021. Exploring new forms of Teaching, Learning and Assessment, to Guide Educators and Policy Makers*. The Open University.

- Lahiri, U., Bekele, E., Dohrmann, E. y Warren, Z. (2015). A physiologically informed virtual reality based social communication system for individuals with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45(4), 919-931.
- Le, Q. T., Pedro, A. y Park, C. S. (2015). A social virtual reality based construction safety education system for experiential learning. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 79, 487-506.
- Lee, I.-J. (2020). Applying virtual reality for learning woodworking in the vocational training of batch wood furniture production. *Interactive Learning Environments*. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1841799>
- Lerma García, L., Rivas Porras, D., Adame Gallegos, J. R., Ledezma Millán, F., López de la Torre, H. A. y Ortiz Palomino, C. E. (2020). Realidad virtual como técnica de enseñanza en educación superior: perspectiva del usuario. *Enseñanza & Teaching*, 38(1), 111-123. <https://doi.org/10.14201/et2020381111123>
- Li, C., Ip, H. H. S. y Ma, P. K. (2019). A design framework of virtual reality enabled experiential learning for children with autism spectrum disorder. En S. K. S. Cheung, L.-K. Lee, I. Simonova, T. Kozel T. y L.-F. Kwok (Eds.), *Blended Learning: Educational Innovation for Personalized Learning*. ICBL. *Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 11546). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21562-0_8
- Lin, F.-R. y Kao, C.-M. (2018). Mental effort detection using EEG data in e-learning contexts. *Computers & Education*, 122, 63-79. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.03.020>
- Lin, P.-C., Lu, H.-K. y Fan, S.-M. (2012). Exploring the impact of perceived teaching style. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 9, 64-67.
- López-Cortés, F., Ravanal Moreno, E., Palmas-Rojas, C. y Merino Rubilar, C. (2021). Niveles de representación externa de estudiantes de educación secundaria acerca de la división celular mitótica: una experiencia con realidad aumentada. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 62, 7-37. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.84491>
- Lorenzo, G., Lledó, A., Pomares, J. y Roig, R. (2016). Design and application of an immersive virtual reality system. *Computers & Education*, 98, 192-205.
- Makransky, G., Petersen, G. y Klingenberg, S. (2020). Can an immersive virtual reality simulation increase students' interest and career aspirations in science? *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 1-19. <https://doi.org/10.1111/bjet.12954>
- Marín-Díaz, V., Cabero-Almenara, J. y Gallego-Pérez, O. M. (2018). Motivación y realidad aumentada: alumnos como consumidores y productores de objetos de aprendizaje. *Aula Abierta*, 47(3), 337-346. <https://doi.org/10.17811/rifie.47.3.2018.337-346>
- Marín Díaz, V. y Muñoz Asencio, V. P. (2018). Trabajar el cuerpo humano con realidad aumentada en educación infantil. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 9, 148-158. <https://doi.org/10.51302/tce.2018.177>
- Mass, M. J. y Hughes, J. M. (2020). Virtual, augmented and mixed reality in K-12 education: a review of the literature. *Technology, Pedagogy and Education*, 29(2), 231-249. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2020.1737210>
- Morris, T. H. (2018). Experiential learning-A systematic review and revision of Kolb's model. *Interactive Learning Environments*, 28(8), 1.064-1.077. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1570279>
- Murphy, G., Groeger, J. A. y Greene, C. M. (2015). Twenty years of load theory where are we now, and where should we go next?

- Psychonomic Bulletin and Review*, 23(5), 1.316-1.340. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0982-5>
- Nicolaidou, I., Pissas, P. y Boglou, D. (2021). Comparing immersive virtual reality to mobile applications in foreign language learning in higher education: a quasi-experiment. *Interactive Learning Environments*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1870504>
- Parong, J. y Mayer, R. E. (2021). Learning about history in immersive virtual reality: does immersion facilitate learning? *Educational Technology Research and Development*, 69, 1.433-1.451. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-09999-y>
- Radianti, J., Majchrzak, T., Fromm, J. y Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 1-29. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- Raua, P.-L. P., Zhenga, J., Guo, Z. y Li, J. (2018). Speed reading on virtual reality and augmented reality. *Computers & Education*, 125, 240-245. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.016>
- Scavarelli, A., Arya, A. y Teather, R. J. (2021). Virtual reality and augmented reality in social learning spaces: a literature review. *Virtual Reality*, 25, 257-277. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00444-8>
- Shen, Cw., Ho, Jt., Ly, P. T. M. y Kuo, Tc. (2019). Behavioural intentions of using virtual reality in learning: perspectives. *Virtual Reality*, 23, 313-324. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0348-1>
- Shu, Y.-Z., Chang, S.-H. y Chen, M.-Y. (2018). Do virtual reality head-mounted displays make a difference? A comparison of presence and self-efficacy between head-mounted displays and desktop computer-facilitated virtual environments. *Virtual Reality*, 23, 437-446. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0376-x>
- Singh, G., Mantri, A., Sharma, O. y Kaur, R. (2020). Virtual reality learning environment for enhancing electronics engineering laboratory experience. *Computer Application Engineering Education*, 29(1), 229-243. <https://doi.org/10.1002/cae.22333>
- Suh, A. y Prophet, J. (2018). The state of immersive technology research: a literature analysis. *Computers in Human Behavior*, 86, 77-90.
- Sultan, L., Abuznadah, W., Al-Jifree, H., Khan, M. A., Alsaywid, B. y Ashour, F. (2019). An experimental study on usefulness of virtual reality 360° in undergraduate medical education. *Advances in Medical Education and Practice*, 10, 907-916. <https://doi.org/10.2147/AMEP.S219344>
- Sun, H.-M. y Cheng, W.-L. (2009). The input-interface of webcam applied in 3D virtual reality system. *Computers & Education*, 53(4), 1.231-1.240.
- Tang, Y. M., Au, K. M., Lau, H. C. W., Ho, G. T. S y Wu, C. H. (2020). Evaluating the effectiveness of learning design with mixed reality (MR) in higher education. *Virtual Reality*, 24, 797-807. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00427-9>
- Tsekhmister, Y. V., Konovalova, T., Tsekhmister, B. Y., Agrawal, A. y Ghosh, D. (2021). Evaluation of virtual reality technology and online teaching system for medical students in Ukraine during COVID-19 Pandemic. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 16(23), 127-139.
- Toala-Palma, J., Arteaga-Mera, J. y Quintana-Loor, J. (2020). La realidad virtual como herramienta de innovación educativa. *EPIS-TEME KOINONIA*, 3(5), 270-286.
- Vásquez-Carbonell, M. A. y Silva-Ortega, J. I. (2020). Tendencias y características de la realidad virtual: una revisión de la literatura

entre los años 2017 y 2018. *Journal of Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications*, 1(1), 36-70. <https://doi.org/10.17981/cesta.01.01.2020.04>

Vergara, D., Antón-Sancho, A., Extremera, J. y Fernández-Arias. (2021). Assessment of virtual reality as a didactic resource in higher education. *Sustainability*, 13, 1-22. <https://doi.org/10.3390/su132212730>

Walsh, C. M., Garg, A., Ng, S. L., Goyal, F. y Grover, S. C. (2017). Residents' perceptions of simulation as a clinical learning approach. *Canadian Medical Education Journal*, 8(1), 76-87.

Zhonggen, Y. (2021). A meta-analysis of the effect of virtual reality technology use in education. *Interactive Learning Environments*. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1989466>

Julio Cabero-Almenara. Doctor en Ciencias de la Educación y catedrático de Tecnología Educativa. Miembro fundador de EDUTEK (Asociación para el Desarrollo de la Tecnología Educativa y de las Nuevas Tecnologías aplicadas a la educación). Director del Grupo de Investigación Didáctica (GID): Análisis Tecnológico y Cualitativo. Código de grupo de la Consejería de Educación de la Junta de Andalucía: HUM-0390. Ha impartido conferencias en diferentes universidades tanto españolas como europeas y latinoamericanas. Director de la revista *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*. Ha recibido el Premio de Investigación Social de la Diputación Provincial de Sevilla. Ha recibido la distinción de la Orden de la Universidad Central de Venezuela. Obtuvo el Primer Premio Estudios Financieros 2018 en la modalidad de Educación y Nuevas Tecnologías. <https://orcid.org/0000-0002-1133-6031>

Rubicelia Valencia-Ortiz. Doctora en Innovación Educativa con mención internacional y *cum laude* por la Universidad del País Vasco (España). Maestra en Comunicación y Tecnología Educativa y licenciada en Ciencias de la Comunicación. Cuenta con estudios en México, España y Corea del Sur. Tiene más de 15 años de experiencia como líder de proyectos tecnológicos y de transformación digital. Especialista en convergencia de medios aplicados a la educación, su experiencia y conocimientos han demostrado ser valiosos en más de 14 países de la región de América Latina, donde los estudiantes y profesores siguen utilizando los productos que ha desarrollado. Actualmente es gerente de innovación y transformación digital de Macmillan Education LATAM. <https://orcid.org/0000-0003-4656-5456>

Carmen Llorente-Cejudo. Doctora en Ciencias de la Educación, profesora titular de universidad y directora del Departamento de Didáctica y Organización Educativa de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Sevilla (España). Miembro del Grupo de Investigación Didáctica: Análisis Tecnológico y Cualitativo de los Procesos de Enseñanza-Aprendizaje. Ha participado en investigaciones sobre competencias y habilidades de docentes y discentes en tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y sobre formación del profesorado universitario en estrategias metodológicas o realidad aumentada para la formación universitaria, entre otros. Ha intervenido como conferenciante en congresos nacionales e internacionales relacionados con el ámbito de la educación y las TIC. <https://orcid.org/0000-0002-4281-928X>

Contribución de autores. J. C.-A., R. V.-O. y C. L.-C. han participado a partes iguales en la elaboración de todos los apartados que constituyen este artículo.