





Capítulo 5

Realidad aumentada
como soporte a la
implementación
del diseño universal
para el aprendizaje

Capítulo 5

Realidad aumentada como soporte a la implementación del diseño universal para el aprendizaje

{ Jorge Luis Bacca Acosta

Resumen

El diseño universal para el aprendizaje (DUA) es un marco de trabajo validado para orientar la diversidad y variabilidad de los estudiantes para maximizar las oportunidades de aprendizaje. El marco de trabajo del DUA plantea un conjunto de lineamientos que pueden ser apoyados por algunas tecnologías actuales, entre las que se encuentra la tecnología de realidad aumentada. En este capítulo se presentan los resultados de un análisis sobre cómo la realidad aumentada puede apoyar la implementación de algunos de los lineamientos del DUA para favorecer algunos procesos de aprendizaje.

Palabras clave: realidad aumentada, diseño universal para el aprendizaje, diversidad.


Introducción

El diseño universal para el aprendizaje (DUA) [o en inglés: *universal design for learning* (UDL)] es uno de los *frameworks* o marcos de trabajo más importantes para atender la variabilidad o diversidad de los estudiantes durante el proceso de aprendizaje (Meyer, Rose y Gordon, 2014). La variabilidad o diversidad de los estudiantes en el contexto del DUA se refiere al hecho de que no todos los estudiantes aprenden de la misma manera ni de la misma forma, por lo que los materiales de aprendizaje que utilizan los docentes en el aula de clase generan barreras que impiden el proceso de aprendizaje. El objetivo principal del DUA es que los estudiantes logren ser aprendices expertos. Esto significa que los estudiantes sean capaces de identificar, organizar, usar y relacionar conocimientos previos para la creación de nuevas experiencias e información de forma autónoma (Meyer *et al.*, 2014). El DUA fue definido con base en estudios neurocientíficos, ha sido ampliamente validado y ha ganado bastante interés en el área de la investigación debido a su enfoque de atención a la diversidad (Rao, Ok y Bryant, 2014). Los otros dos enfoques de atención a la diversidad en el ámbito educativo son el “diseño instruccional universal” y el “diseño universal” para la instrucción (Rao *et al.*, 2014).

El DUA define un conjunto de pautas para favorecer la atención de la diversidad

y considera que la tecnología es un componente que favorece la eliminación de las barreras que generan algunos materiales de aprendizaje. En este sentido, las diferentes tecnologías de apoyo a los procesos educativos pueden favorecer la implementación de algunas de las pautas del DUA. En cuanto a las tecnologías de apoyo a los procesos de aprendizaje, la investigación en la tecnología de realidad aumentada aplicada a la educación ha mostrado que esta tecnología beneficia los procesos de aprendizaje y la motivación de los estudiantes en escenarios de aprendizaje (Akçayır y Akçayır, 2017; Bacca, Baldiris, Fabregat, Graf y Kinshuk, 2014; Gopalan, Zulkifli y Aida, 2016).

El presente capítulo expone los resultados de un análisis sobre cómo la tecnología de realidad aumentada puede favorecer la implementación de algunas de las pautas del DUA. Por otro lado, como resultado del

 El objetivo principal del DUA es que los estudiantes logren ser aprendices expertos. Esto significa que los estudiantes sean capaces de identificar, organizar, usar y relacionar conocimientos previos para la creación de nuevas experiencias e información de forma autónoma (Meyer *et al.*, 2014).

análisis se identifican y reportan algunas brechas de investigación que pueden ser cubiertas por estudios futuros en este tema.

Este capítulo se encuentra organizado de la siguiente forma: la sección 1 presenta los dos principales referentes teóricos que permiten comprender los resultados del análisis: por un lado, el concepto y principales características del diseño universal para el aprendizaje y, por otro, los fundamentos teóricos sobre la tecnología de realidad aumentada. La sección 2 describe los fundamentos que dieron origen al análisis presentado en este capítulo a partir de algunos hallazgos en la literatura. La sección 3 expone la metodología utilizada para llevar a cabo el análisis. La sección 4 presenta los resultados generales del análisis junto con un extracto de la tabla utilizada para el análisis a manera de ejemplo. La sección 5 registra la discusión de los resultados y principales hallazgos a partir del análisis realizado. La sección 6 presenta un resumen de las principales conclusiones y recomendaciones para la investigación futura que resultaron del análisis. La sección 7 describe las limitaciones del análisis que se presenta en este capítulo y de las conclusiones obtenidas.

1. Referentes teóricos

1.1 Diseño universal para el aprendizaje (DUA)

El DUA tiene su origen en un movimiento que nace en el campo de la arquitectura y que se denominó el “diseño universal” (DU) (Follette, Mueller y Mace, 1998). Este movimiento surge en Estados Unidos en los años ochenta y es impulsado por el arquitecto Ronal Mace (1941-1998). El principal objetivo del movimiento era la creación de productos y ambientes arquitectónicos que fueran, en la mayor medida posible, usables por todo el mundo sin importar su edad, habilidades o condiciones. Uno de los ejemplos más claros de este movimiento lo constituyen los diseños arquitectónicos que comenzaron a considerar la construcción de rampas para facilitar no solo la movilidad de las personas con discapacidad, sino también la posibilidad de que, por ejemplo, una madre de familia pudiera desplazarse con un coche para bebé para el ingreso a algún establecimiento. El diseño universal consideraba que desde el proceso de diseño arquitectónico se debían definir los mecanismos para permitir que el espacio arquitectónico pudiera utilizarse por todas las personas sin importar su condición o discapacidad.

Varios años más tarde, los principios del diseño universal son tomados por investigadores en el campo educativo y entonces surge lo que se conoce como el “diseño

universal para el aprendizaje”. El DUA surge como una respuesta conocida como el *one size fits all*, que representa la educación tradicional en la cual se proporcionan los mismos contenidos y se utilizan los mismos materiales de aprendizaje para todos los estudiantes sin importar sus preferencias, intereses, fortalezas, debilidades o motivaciones. Por otro lado, el DUA también toma elementos conocidos como “adaptaciones curriculares” que corresponde al hecho de adaptar los materiales de aprendizaje dependiendo de las necesidades de los estudiantes. A partir de estos aspectos, el DUA plantea que se deben proporcionar experiencias de aprendizaje flexibles que consideren la diversidad o variabilidad de todos los estudiantes. Es decir, que las experiencias de aprendizaje deben diseñarse para impactar de forma positiva en todos los estudiantes considerando sus preferencias, intereses, motivaciones, fortalezas y debilidades.

En este sentido, el DUA surge como un apoyo a los profesores en la difícil tarea de atender a la diversidad o variabilidad de sus estudiantes durante los procesos de enseñanza y aprendizaje en todos los niveles educativos. El DUA está fundamentado en investigaciones en el campo de la neurociencia para explicar la forma en la que ocurren los procesos de aprendizaje y así considera la existencia de tres redes neuronales en el cerebro humano (Meyer *et al.*, 2014):

- Las redes afectivas: están relacionadas con el “por qué” del aprendizaje y tienen que ver con los aspectos motivacionales del proceso de aprendizaje.
- Las redes de reconocimiento: están relacionadas con el “qué” del aprendizaje y tienen que ver con la percepción de la información por parte del estudiante.
- Las redes estratégicas: están relacionadas con el “cómo” del aprendizaje y tienen que ver con las estrategias que utiliza el estudiante para dar a conocer lo que ha aprendido.

Cada una de estas redes está relacionada con lo que el DUA define como lineamientos. En este sentido, existen tres grandes lineamientos relacionados respectivamente con las redes neuronales (Meyer *et al.*, 2014):

1. Proporcionar múltiples medios de compromiso y motivación (relacionados con las redes afectivas).
2. Proporcionar múltiples medios de representación (relacionados con las redes de reconocimiento).
3. Proporcionar múltiples medios de acción y expresión (relacionados con las redes estratégicas).

Cada uno de estos principios del DUA se divide, a su vez, en un conjunto de lineamientos generales y cada uno de esos lineamientos generales se divide, a su vez, en un conjunto de puntos de verificación (o *checkpoints*) que son pautas concretas para implementar el DUA y que, por su parte, se dividen en recomendaciones específicas. En total, el DUA cuenta con 112 recomendaciones específicas. La Figura 1 muestra una representación gráfica de cómo está estructurado el DUA.

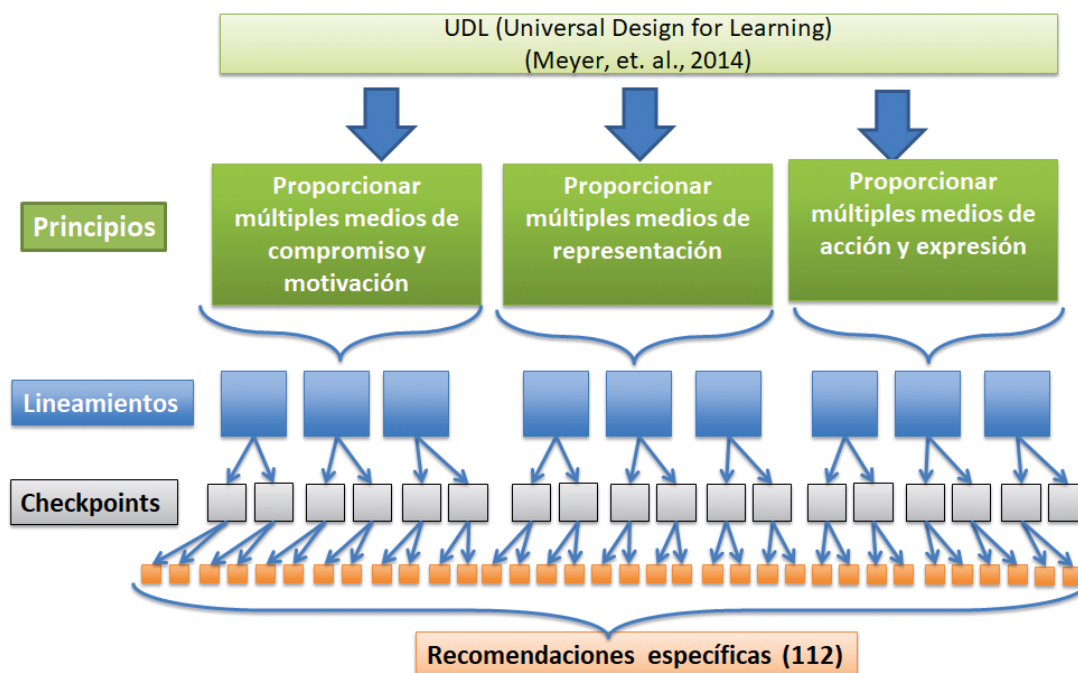


Figura 1. Estructuración del diseño universal para el aprendizaje (DUA)

El DUA plantea que un currículo basado en el DUA considera cuatro componentes fundamentales:

1. **Objetivos:** el DUA considera la definición de objetivos de aprendizaje que sean claros y que reflejen de forma precisa el propósito educativo, que estén alineados con los contenidos y que proporcionen la posibilidad de ser alcanzados por medio de diferentes rutas. Es decir, que los objetivos no tengan una única ruta para ser alcanzados que dependa de determinados procesos, materiales o prácticas, porque si no se pueden crear barreras que algunos estudiantes no podrán superar debido a que el objetivo de aprendizaje considera una única ruta para alcanzarlo. La flexibilidad en los

objetivos es uno de los aspectos que facilita la atención a la diversidad y variabilidad de los estudiantes en un escenario educativo.

2. **Métodos:** son los procedimientos que se siguen para que los estudiantes puedan alcanzar los objetivos de aprendizaje. Los métodos también pueden generar barreras para el aprendizaje y evitar que los estudiantes alcancen los objetivos de aprendizaje. Por esta razón, el DUA recomienda separar los objetivos de aprendizaje de los métodos utilizados para alcanzarlos. En este sentido, el DUA orienta sus recomendaciones hacia la modificación de los métodos para reducir las barreras y favorecer el aprendizaje de todos los estudiantes sin importar sus preferencias, necesidades, motivaciones, etc.
3. **Materiales:** los materiales generan distintas barreras para diferentes estudiantes. Por esta razón, el DUA indica que es necesario identificar las barreras de los materiales de aprendizaje antes de utilizarlos en clase, para proporcionarle materiales alternativos a los estudiantes que pueden encontrar barreras en el uso de estos. Por ejemplo, para algunos estudiantes una lectura podría resultar provechosa para la comprensión de un tema, mientras que para otros, la lectura puede que no sea el mejor material para la comprensión del tema. Otros estudiantes pueden preferir un mapa conceptual, un esquema o un video de explicación del tema en cambio de la lectura. De esta forma, los diferentes materiales favorecen el proceso de aprendizaje de cada uno de los estudiantes y, finalmente, se puede cumplir el mismo objetivo de aprendizaje pero utilizando diversos materiales.
4. **Evaluación:** es uno de los aspectos fundamentales del proceso de aprendizaje y es utilizada como retroalimentación, para que los estudiantes puedan saber el progreso que llevan en su proceso de aprendizaje con respecto a los objetivos. En este sentido, la evaluación debe estar alineada con los objetivos de aprendizaje, con los métodos y materiales de tal forma que haya una articulación clara de estos elementos. Asimismo, no sería tan conveniente ofrecer una misma evaluación a todos los estudiantes, porque esto también genera barreras en el proceso. El DUA plantea la necesidad de pensar muy bien la evaluación con respecto a las diferencias individuales de los estudiantes y en cuanto a los objetivos de aprendizaje, métodos y materiales.

Además, el DUA proporciona un conjunto de plantillas a manera de formatos que ayudan a los profesores a evaluar las fortalezas y debilidades de los estudiantes, y los materiales de aprendizaje, en cuanto a las barreras que puedan presentarse, de

tal forma que sea más fácil para los profesores el diseño de actividades de aprendizaje con los materiales apropiados para el tipo de estudiantes que tienen.


A partir de este contexto sobre el DUA, el análisis planteado en este capítulo de investigación busca identificar de qué forma la tecnología de realidad aumentada (que se describe en el siguiente apartado) puede favorecer la implementación de los principios del DUA.

1.2. Realidad aumentada

La realidad aumentada (RA) es una tecnología que existe desde hace más de 20 años y su origen se sitúa cuando Thomas Caudell y David Mizell, de la compañía de producción de aviones Boeing, diseñaron un prototipo de gafas para ayudarle a los técnicos de reparación a identificar las líneas de cableado en el fuselaje del avión (Caudell y Mizell, 1992). Sin embargo, recientemente con los avances de la tecnología, la realidad aumentada ha podido estar al alcance de casi cualquier persona gracias a los celulares que ahora tienen la capacidad de ejecutar aplicaciones de realidad aumentada de muy buena calidad. Además, los avances en los algoritmos de visión artificial han permitido que las aplicaciones consuman menos recursos y sean mucho más rápidas.

La realidad aumentada es una tecnología que complementa la información del mundo real con datos y contenidos digitales, de tal forma que pareciera que la información coexiste en el mundo real (Azuma *et al.*, 2001).

Un ejemplo para entender cómo funciona la realidad aumentada podría ser el siguiente: una persona utiliza su dispositivo móvil (*tablet* o *smartphone*) para apuntar con la cámara a una pintura en un museo. En la pantalla del celular aparece la pintura, pero sobre la pintura aparece información adicional como, por ejemplo, el nombre del pintor, el año y lugar en el que fue pintada y una explicación sobre la idea que transmite la pintura. Además, el visitante del museo podría ver un video directamente en su dispositivo móvil con una explicación avanzada sobre los detalles de la pintura. Esta información adicional, incluyendo el video, pareciera que está superpuesta sobre

..... 
La realidad aumentada es una tecnología que complementa la información del mundo real con datos y contenidos digitales, de tal forma que pareciera que la información coexiste en el mundo real (Azuma et al., 2001).

la pintura. Este tipo de realidad aumentada se conoce como realidad aumentada basada en marcadores, porque la pintura es el elemento que la cámara del dispositivo móvil reconoce para poder superponer la información. En este caso, la pintura viene a ser el marcador.

Otro ejemplo de realidad aumentada, es la realidad aumentada basada en localización. Este tipo de realidad aumentada podría permitirle a una persona apuntar con la cámara de su dispositivo móvil hacia una calle cualquiera y poder ver en su pantalla información acerca de la dirección en la cual podría encontrar lugares de interés turístico o información sobre la dirección y distancia a la cual se encuentran restaurantes, hoteles, teatros, supermercados, entre otros.

La investigación en realidad aumentada se ha enfocado en diferentes ámbitos como el militar, médico, educativo, *marketing*, entre otros. En general, se han desarrollado muchas aplicaciones con realidad aumentada para una gran variedad de dominios en las áreas mencionadas anteriormente. El área educativa no es la excepción y es una de las áreas donde ha habido más desarrollos de *software*. La investigación sobre la aplicación de la realidad aumentada ha demostrado que la realidad aumentada tiene un impacto positivo sobre el desempeño académico de los estudiantes (Akçayır y Akçayır, 2017; Bacca *et al.*, 2014) y sobre la motivación (Bacca, Baldiris, Fabregat y Kinshuk, 2018; Chiang, Yang y Hwang, 2014; Chin, Lee y Chen, 2015; Wei, Weng, Liu y Wang, 2015).

2. Fundamentos del análisis

Una primera aproximación sobre cómo la tecnología de realidad aumentada puede favorecer la implementación del DUA en escenarios de aprendizaje, surge de la literatura actual sobre las ventajas de la realidad aumentada. Con respecto al primer lineamiento del DUA que plantea la necesidad de proporcionar múltiples medios de compromiso y motivación, la evidencia que han dejado muchos estudios sobre el impacto de la realidad aumentada sobre la motivación de los estudiantes muestra que, en general, la realidad aumentada tiene un impacto positivo y muy fuerte sobre la motivación (Bacca *et al.*, 2018; Chiang *et al.*, 2014). En este sentido, de manera general, las experiencias de aprendizaje potenciadas por la realidad aumentada podrían ser artefactos educativos que favorecen la motivación del estudiante y contribuyen generalmente a la implementación del primer lineamiento del UDL.

El segundo lineamiento del DUA plantea la necesidad de proporcionar múltiples medios de representación de la información. En cuanto a este principio, la realidad aumentada ha demostrado que no solo es efectiva para la creación de experiencias visuales, sino que también es posible crear experiencias de otro tipo. De acuerdo con Azuma *et al.* (2001), la realidad aumentada no solo está restringida al sentido de la vista, sino que además se pueden crear experiencias de realidad aumentada para otros sentidos como el tacto y el olfato. Esto demuestra que la realidad aumentada puede favorecer la implementación del tercer principio.

Con respecto al tercer lineamiento que tiene que ver con la necesidad de proporcionar múltiples medios de acción y expresión, la realidad aumentada ha demostrado ser una tecnología que brinda la posibilidad de proporcionar diferentes mecanismos de interacción. Por ejemplo, la realidad aumentada basada en marcadores permite manipular un marcador para visualizar diferentes perspectivas de un objeto en 3D aumentado en una escena de realidad aumentada. Por otro lado, la realidad aumentada basada en localización permite que el estudiante se pueda desplazar hasta un lugar geográfico particular para visualizar la información aumentada. En este sentido, las aplicaciones para conocer sobre el patrimonio de ciertos lugares y aplicaciones desarrolladas para el sector turístico proporcionan diferentes medios de interacción con la información aumentada. También se han explorado las interfaces tangibles mediante experiencias con realidad aumentada que permiten manipular objetos tangibles y, al mismo tiempo, visualizar la información aumentada. A partir de estas experiencias, se puede observar una posibilidad interesante de uso de la realidad aumentada para contribuir a la implementación de este lineamiento del DUA.

Estos hallazgos en la literatura permitieron identificar potencialidades de la tecnología de realidad aumentada para apoyar la implementación del DUA en escenarios de aprendizaje.

3. Metodología

Para realizar el análisis de cómo la tecnología de realidad aumentada puede favorecer la implementación de las pautas del diseño universal para el aprendizaje, se definió un conjunto de categorías de análisis. Estas categorías se colocaron en una tabla para poder llevar a cabo el análisis. A continuación se describen estas categorías de análisis:

1. **Principios del DUA:** esta categoría reúne los tres principios del DUA para poder organizar sus respectivos lineamientos y puntos de verificación, como lo describen las categorías de análisis subsiguientes.

2. **Lineamientos del DUA:** debido a que cada principio del DUA se divide en un conjunto de lineamientos, esta categoría de análisis representa cada uno de los lineamientos en los cuales se puede dividir cada principio.
3. **Puntos de verificación:** cada lineamiento del DUA se divide, a su vez, en un conjunto de puntos de verificación para guiar a los profesores en la implementación de cada lineamiento y para contribuir al cumplimiento de cada principio. En este sentido, esta categoría de análisis favorece la organización de los puntos de verificación por cada principio del DUA.
4. **Recomendaciones específicas:** esta categoría de análisis recopila las recomendaciones específicas que proporciona el DUA. Esta categoría permite básicamente organizar las recomendaciones específicas para tener referencia del punto de verificación al cual pertenecen, así como el lineamiento y principio con el cual están relacionadas. En total, el DUA tiene 112 recomendaciones específicas que fueron analizadas en este estudio.
5. **¿Cómo la realidad aumentada puede favorecer la implementación de cada recomendación?:** esta categoría de análisis recopila información y evidencias de la literatura sobre cómo la realidad aumentada favorece la implementación de cada una de las 112 recomendaciones específicas del DUA. La información contenida en esta categoría proviene de evidencias en la literatura, resultados y estudios tanto empíricos como teóricos que proporcionan indicios sobre cómo la realidad aumentada puede favorecer la implementación de cada recomendación específica.
6. **Limitaciones de la realidad aumentada con respecto a la recomendación:** en esta categoría de análisis se recopilan evidencias sobre algunas limitaciones actuales de la tecnología de realidad aumentada con respecto a su aporte a la implementación de las recomendaciones del DUA. Estas limitaciones surgen del análisis de la literatura y representan oportunidades de mejora para trabajos futuros en el campo de la realidad aumentada para favorecer la implementación de las recomendaciones del DUA.
7. **Nivel de soporte actual de la realidad aumentada:** esta categoría de análisis reporta un indicador del nivel actual de soporte de la tecnología de realidad aumentada con respecto a cada una de las recomendaciones específicas. Este nivel de soporte se determinó a partir del análisis de las categorías de análisis 5 y 6 (¿cómo la realidad aumentada puede favorecer la implementación de cada recomendación? y la categoría de limitaciones de la realidad aumentada con respecto a la recomendación).

- 8. Otras tecnologías de soporte:** en esta categoría de análisis se identificaron otras tecnologías que podrían proporcionar soporte a la implementación de las recomendaciones específicas del DUA, de tal forma que se pueda pensar en investigaciones futuras sobre el efecto de otras tecnologías sobre la implementación de las recomendaciones del DUA.

A partir de estas categorías de análisis, se realizó el análisis de cada una de las 112 recomendaciones específicas del DUA, para determinar el estado actual de soporte que podría proporcionar la tecnología de realidad aumentada con respecto a la implementación de las recomendaciones del DUA.

4. Resultados

La tabla de análisis resultante de este proceso no se incluye en este capítulo por ser demasiado grande, por lo que se decidió compartirla por medio del siguiente enlace: <https://goo.gl/4KkHAE>.

De manera ilustrativa, la Tabla 1 muestra una parte de la tabla de análisis —que se puede consultar en el enlace anterior— de algunas recomendaciones específicas y algunas categorías de análisis. Se recomienda consultar la tabla completa por medio del enlace para tener una amplia idea del análisis realizado.

4. Discusión

En general, a partir del análisis se encontró que la tecnología de realidad aumentada actualmente proporciona un nivel de soporte alto para cerca del 8% de las 112 recomendaciones específicas, un nivel de soporte medio para el 26% de las recomendaciones y un nivel de soporte bajo para el 75% de las recomendaciones. Como resultado, hoy la tecnología proporciona un nivel de soporte medio y bajo para la implementación de las recomendaciones del DUA. Esto demuestra que aún es necesario realizar más investigaciones que indaguen sobre cómo la realidad aumentada puede apoyar algunas de las recomendaciones del DUA. En este sentido, el análisis que se llevó a cabo como parte de este estudio pudo identificar algunas brechas abiertas respecto a la investigación en esta área y que se detallan en esta sección.

Por un lado, se podrían llevar a cabo más proyectos de investigación en cuanto a la usabilidad de las aplicaciones de realidad aumentada y, en particular, con respecto a las posibilidades de adaptación de información de acuerdo con la interfaz del

Tabla 1. Extracto de la tabla de análisis a manera de ejemplo (el resto de la tabla se puede consultar en <https://goo.gl/4KkHAE>)

Punto de verificación	Recomendación específica	¿Cómo la realidad aumentada puede apoyar la implementación de la recomendación?	Limitaciones de la realidad aumentada	Nivel de soporte actual	Otras tecnologías de soporte
1.1. Offer ways of customizing the display of information	Display information in a flexible format so that the following perceptual features can be varied: <ul style="list-style-type: none"> • The size of text, images, graphs, tables, or other visual content • The contrast between background and text or image • The color used for information or emphasis • The volume or rate of speech or sound • The speed or timing of video, animation, sound, simulations, etc. • The layout of visual or other elements- The font used for print materials 	AR can provide a different way for displaying information in educational settings. AR can provide additional superimposed information (such as background information) so that the student can have additional information about a topic.	So far, however, according to the literature review) AR technologies do not provide a way for customizing the size, contrast, font, speed, color, volume or layout of augmented information.	Low	This can be achieved by using the User Interface Options (UIO) for information displayed in a web page because this options allow the user to modify the formatting of the text (font size, font style, contrast, line spacing, etc). So far, these options are not available yet in AR apps. For more information about the UIO visit: http://wiki.fluidproject.org/display/docs/Tutorial+-+User+Interface+Options
1.2. Offer alternatives for auditory information	Use text equivalents in the form of captions or automated speech-to-text (voice recognition) for spoken language.	There is software available for providing speech-to-text that could be more efficient than AR.		Low	This can be achieved with voice recognition software such as Dragon Naturally Speaking or some functions in the operative system that you are using (For example using the option Voice Recognition from the Accessibility options in windows).

(Continúa)

Tabla 1. Extracto de la tabla de análisis a manera de ejemplo (el resto de la tabla se puede consultar en <https://goo.gl/4KkHAE>) (continuación)

Punto de verificación	Recomendación específica	¿Cómo la realidad aumentada puede apoyar la implementación de la recomendación?	Limitaciones de la realidad aumentada	Nivel de soporte actual	Otras tecnologías de soporte
1.2. Offer alternatives for auditory information	Provide visual diagrams, charts, notations of music or sound.	AR can provide visual information when a sound is present in order to convey the same information provided by sounds. The possibilities offered by AR depend on the application and its contents.		Low	
	Provide written transcripts for videos or auditory clips.	There is other software available that can support this checkpoint. AR may not be suitable for this purpose.		Low	This can be achieved with video players like theHTML5 video player of the Fluid Project. For more information about this component visit: https://github.com/fluid-project/videoPlayer Another option is to use the JW-Player: http://www.jwplayer.com/ These players integrate accessibility characteristics such as transcripts, subtitles, audio-descriptions, etc.
	Provide American Sign Language (ASL) for spoken English.	There is other software available that can support this checkpoint. AR may not be suitable for this purpose.		Low	This can be achieved with other software that translate voice to Sign language. There are some projects working in that currently such as: Mimix: https://play.google.com/store/apps/details?id=me.mimix.roid Or the iCommunicator: http://www.icommunicator.com/

(Continúa)

Tabla 1. Extracto de la tabla de análisis a manera de ejemplo (el resto de la tabla se puede consultar en <https://goo.gl/4KkHAE>) (continuación)

Punto de verificación	Recomendación específica	¿Cómo la realidad aumentada puede apoyar la implementación de la recomendación?	Limitaciones de la realidad aumentada	Nivel de soporte actual	Otras tecnologías de soporte
1.2. Offer alternatives for auditory information	Use visual analogues to represent emphasis and prosody (e.g., emoticons, symbols, or images).				
	Provide visual or tactile (e.g., vibrations) equivalents for sound effects or alerts.	AR can be a good alternative for auditory information.		High	
	Provide visual and/or emotional description for musical interpretation.				
1.3. Offer alternatives to visual information	Provide descriptions (text or spoken) for all images, graphics, video, or animations.	AR can be an alternative for written text (Show images or 3D models instead of showing text).		Low	
	Use touch equivalents (tactile graphics or objects of reference) for key visuals that represent concepts.	AR can provide some kind of tactile interaction by means of the Tangible User Interfaces (TUI). For example in the paper of (Cuendet, Bonnard, Do-Lenh, & Dillenbourg, 2013) tangible user interfaces are explored in the context of augmented reality. Some applications with specific devices are described.	A limitation could be paying too much attention to virtual information.	Low	

(Continúa)

Tabla 1. Extracto de la tabla de análisis a manera de ejemplo (el resto de la tabla se puede consultar en <https://goo.gl/4KkHAE>) (continuación)

Punto de verificación	Recomendación específica	¿Cómo la realidad aumentada puede apoyar la implementación de la recomendación?	Limitaciones de la realidad aumentada	Nivel de soporte actual	Otras tecnologías de soporte
1.3. Offer alternatives to visual information	Provide physical objects and spatial models to convey perspective or interaction.	AR allow to establish a relation/connection between the real objects and the virtual information superimposed in those objects. "AR allows for the coexistence of spatial and temporal virtual and real objects" (Chen & Tsai, 2012). "In AR, digital objects are embedded into the real environment, which provides the realization of the probability of immersive learning." (Liu & Chu, 2010). "At the most basic level AR allows a user to view virtual and physical objects simultaneously, creating a hybrid space. The juxtaposition of virtual and physical objects suggests a connection between the two." (Liu & Chu, 2010).	Bujak <i>et al.</i> (2013) states that "It is worth noticing that although such physical reifications have potential learning benefits, they might confuse the learner due to their concrete appearance as objects in the real world". Students might pay too much attention to virtual information. (Limitation found in the literature review).	High	In this case it is important to analyse if AR is the best tool to provide an experience for manipulating physical objects or if it is enough to provide just a physical object for a concrete experience.

(Continúa)

Tabla 1. Extracto de la tabla de análisis a manera de ejemplo (el resto de la tabla se puede consultar en <https://goo.gl/4KkHAE>) (continuación)

Punto de verificación	Recomendación específica	¿Cómo la realidad aumentada puede apoyar la implementación de la recomendación?	Limitaciones de la realidad aumentada	Nivel de soporte actual	Otras tecnologías de soporte
1.3. Offer alternatives to visual information	Provide auditory cues for key concepts and transitions in visual information.	AR is not restricted only to the sense of sight; it can be applied to all senses such as hearing, touch and smell (Azuma <i>et al.</i> , 2001). In this sense AR can provide auditory cues to the visual information that is being displayed.		Medium	

usuario o la posibilidad de personalizar el contraste de la información aumentada que se brinda mediante la experiencia de realidad aumentada. Relacionado con este aspecto, se podrían realizar investigaciones sobre cómo se deben diseñar aplicaciones de realidad aumentada para proporcionar experiencias educativas para personas con algún tipo de discapacidad. Se podría explorar la posibilidad de proporcionar alternativas a la información aumentada para personas con algún tipo de discapacidad o utilizar las ventajas de la visión artificial que utilizan las aplicaciones de realidad aumentada para desarrollar ayudas asistivas. Otro de los aspectos que genera mayores inconvenientes cuando se utilizan aplicaciones de realidad aumentada en el aula de clase es la ergonomía, debido a que muchas veces es difícil mantener el dispositivo móvil alineado con el marcador, lo que hace que la información virtual desaparezca porque la cámara no logra reconocer el marcador y entonces, a veces, la interacción se hace difícil. Además, en algunos casos, la iluminación del lugar, donde se lleva a cabo la actividad de realidad aumentada, puede afectar que la cámara reconozca correctamente el marcador y esto a veces genera sentimientos de frustración en los estudiantes debido a que no pueden llevar a buen término la actividad con la aplicación de realidad aumentada.

Otro de los aspectos donde actualmente la realidad aumentada provee un soporte bajo, son las recomendaciones del DUA que sugieren proporcionar objetos físicos y modelos espaciales para proporcionar información sobre un fenómeno o interacción con este. Así, se requiere más investigación sobre el tema de las interfaces de usuario tangibles, para proporcionar interfaces de usuario aumentadas con altos niveles de interacción con la información aumentada para proporcionar mejores experiencias de aprendizaje. Estudios futuros podrían explorar diversos mecanismos de interacción con objetos tangibles que generen una respuesta diferente en la aplicación de realidad aumentada, para favorecer la implementación de actividades con objetos manipulables para diferentes asignaturas como matemáticas o ciencias utilizando la realidad aumentada.

Uno de los aspectos más importantes en los que se requiere más investigación aprovechando los avances en el área de *machine learning*, es la posibilidad de proporcionar experiencias de aprendizaje con realidad aumentada que sean personalizadas o adaptadas a las necesidades del usuario. En este sentido, se podría proporcionar información aumentada al estudiante dependiendo de sus necesidades, preferencias, intereses, motivación, entre otros. Estos procesos de adaptación y personalización pueden utilizar los últimos avances en *machine learning* para generar adaptaciones a las necesidades del estudiante y así proporcionar una

mejor experiencia de aprendizaje para cada estudiante. Los procesos de adaptación y personalización podrían también proporcionar diferentes niveles de complejidad de los contenidos cuando son presentados a los estudiantes por medio de la información aumentada, dependiendo del nivel de conocimiento o dominio del tema que tenga el estudiante. En relación con este aspecto, también se identificó que la realidad aumentada proporciona un nivel de soporte medio a la implementación de *scaffolds* (Shepard, 2005) en los ambientes de realidad aumentada. Asimismo, se requieren más estudios que validen la utilidad de los mecanismos de *scaffolding* en los ambientes de realidad aumentada o estudios que permitan identificar si la realidad aumentada en sí misma puede ser un mecanismo de *scaffolding* para determinadas actividades de aprendizaje. Además del *scaffolding*, la retroalimentación o *feedback* (Hattie y Timperley, 2007) es otro aspecto muy importante en los procesos de enseñanza y aprendizaje. En este sentido, las preguntas en torno a este aspecto serían: ¿cuál es la mejor forma de diseñar el *feedback* en los ambientes de realidad aumentada?, ¿qué tipos de *feedback* proporcionan una mejor experiencia de usuario?

En relación con el *scaffolding* y el *feedback* en los ambientes de realidad virtual, el DUA también recomienda que se deban proporcionar mecanismos para que el estudiante se detenga y reflexione sobre las actividades de aprendizaje que está relacionando. Sin embargo, existen pocos estudios que exploren este aspecto en las aplicaciones de realidad aumentada. Por tanto, estudios futuros en esta área podrían proporcionar indicios sobre la efectividad de este tipo de estrategias en las aplicaciones de realidad aumentada con respecto al proceso de aprendizaje de los estudiantes.

Por otro lado, también existe un soporte medio y bajo con relación a la posibilidad de que se proporcionen mecanismos de monitoreo de progreso del estudiante cuando se utilizan aplicaciones de realidad aumentada. En este caso, es conveniente realizar más trabajos de investigación en temas de analíticas de aprendizaje en aplicaciones de realidad aumentada, para determinar el efecto que tendrían este tipo de aplicaciones sobre la motivación y el desempeño académico de los estudiantes.

Otro de los aspectos en los que actualmente la realidad aumentada proporciona un soporte medio, tiene que ver con la posibilidad de crear grupos de aprendizaje cooperativo y el fomento de la colaboración y la comunicación entre participantes. Así, se podrían llevar a cabo más investigaciones sobre el uso de la realidad

aumentada para la implementación de actividades de aprendizaje colaborativas. Este tipo de aplicaciones podrían ser experiencias de realidad aumentada donde de forma colaborativa los estudiantes puedan interactuar en la resolución de problemas. Aunque existen algunas experiencias e iniciativas de realidad aumentada en lo colaborativo, se podrían ampliar las investigaciones con diferentes grupos de estudiantes para identificar las verdaderas potencialidades de la realidad aumentada.

6. Conclusiones

En este capítulo se reportan los resultados de un análisis de cómo la realidad aumentada puede favorecer la implementación de algunas de las recomendaciones del DUA. La principal contribución de este estudio es la identificación del estado actual de la tecnología con respecto a la posibilidad de que la realidad aumentada pueda favorecer la implementación del DUA. En general, actualmente la tecnología de realidad aumentada proporciona un soporte medio y bajo para la implementación de las recomendaciones específicas del DUA. Como resultado de este análisis, se han identificado algunos aspectos en los cuales se pueden realizar más investigaciones y estudios para determinar las verdaderas potencialidades de la tecnología de realidad aumentada. Estos aspectos en los cuales se puede profundizar la investigación son:

- La usabilidad de aplicaciones de realidad aumentada (Ferrer, Perdomo, Rashed-Ali, Fies y Quarles, 2013) y su efecto sobre la posibilidad de proveer múltiples formas de representación de la información. En este aspecto, se podrían desarrollar mecanismos en las aplicaciones de realidad aumentada para favorecer la presentación de la información de acuerdo con el perfil del usuario.
- El uso de objetos manipulables que puedan ser “aumentados” (Bujak *et al.*, 2013) con la tecnología de realidad aumentada y de esta forma poder generar experiencias de aprendizaje basadas en interfaces tangibles. En este aspecto, se pueden explorar algunos métodos de interacción entre el estudiante y las aplicaciones de realidad aumentada y proporcionar lineamientos de diseño de las aplicaciones de realidad aumentada que utilicen interacción tangible. Por otro lado, se pueden estudiar diferentes mecanismos de interacción con la información aumentada en los diferentes tipos de realidad aumentada, para poder determinar cómo la diversidad en los tipos de interacción puede favorecer la provisión de múltiples formas de acción y expresión que es uno de los lineamientos fundamentales del DUA.

- Otra área de investigación que ha sido poco explorada es la posibilidad de integrar algoritmos de *machine learning* en las aplicaciones de realidad aumentada, para proporcionar personalización y adaptación (Bacca *et al.*, 2014). Esto se refiere a la posibilidad de que la experiencia de aprendizaje con una aplicación de realidad aumentada pueda modificarse de forma automática de acuerdo con diversos aspectos del estudiante como, por ejemplo, su nivel de conocimientos en el tema, sus habilidades, preferencias, intereses o motivaciones. Este tipo de estrategias proporciona una experiencia de aprendizaje personalizada para cada estudiante de forma automática, lo que favorece la implementación del DUA. En relación con este aspecto, futuras investigaciones podrían explorar el impacto de proporcionar mecanismos de *scaffolding* para ayudar a los estudiantes a alcanzar los objetivos de aprendizaje. Estos mecanismos de *scaffolding* podrían ser personalizados también y ser un apoyo importante al proceso de aprendizaje. En este sentido, las aplicaciones podrían proporcionar también *feedback* (retroalimentación) de forma automática.
- Con relación al progreso del estudiante, futuras investigaciones podrían explorar la posibilidad de integrar en las aplicaciones de realidad aumentada mecanismos de monitoreo del progreso del estudiante por medio de analíticas de aprendizaje (*learning analytics*). Estos estudios podrían explorar la efectividad de estos mecanismos en las aplicaciones de realidad aumentada con respecto al desempeño académico del estudiante y a su motivación. Es importante resaltar que el DUA recomienda que se deben integrar mecanismos para favorecer el hecho de que el estudiante pueda estar constantemente monitoreando su progreso en el proceso de aprendizaje.
- Finalmente, como parte de este análisis, se encontró que se deben fortalecer la investigación en cuanto al uso de las aplicaciones de realidad aumentada durante las actividades colaborativas. Por tanto, pueden existir dos vertientes de investigación: la primera de ellas estaría enfocada en cómo diseñar las aplicaciones de realidad aumentada que sean colaborativas. Esto tiene un desafío tecnológico en cuanto a los desarrollos de *software* necesarios para permitir que un grupo de estudiantes pueda manipular un mismo objeto aumentado en una escena de realidad aumentada y que la escena se mantenga sincronizada entre todos los estudiantes. La segunda vertiente es la del impacto del proceso de aprendizaje, que tendría el uso de una experiencia de realidad aumentada colaborativa en el salón de clase. Este aspecto podría favorecer la implementación de actividades colaborativas en el aula de clase que, a su vez, favorecen la implementación de algunas de las recomendaciones del DUA.

7. Limitaciones de este estudio

Aunque este estudio intentó considerar la mayor cantidad de fuentes bibliográficas para llevar a cabo el análisis, no constituye una revisión sistemática de literatura en el tema de realidad aumentada y, por tanto, algunas fuentes de información como artículos, capítulos de libro o actas de conferencia podrían haber quedado fuera del ámbito de esta revisión. En este sentido, los resultados de este análisis deben tomarse con cautela e interpretados a la luz de las fuentes de información consideradas durante este análisis. Por otro lado, en este análisis se podrían considerar más categorías de análisis para la identificación de las potencialidades de la realidad aumentada con respecto a las recomendaciones específicas del DUA. Como consecuencia de este análisis, podría haberse perdido información importante que sería útil para identificar otras potencialidades de la realidad aumentada.

Referencias

- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>.
- Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & Macintyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6), 34-47. <https://doi.org/10.1109/38.963459>.
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk. (2014). Augmented reality trends in education: A systematic review of research and applications. *Journal of Educational Technology & Society*, 17(4), 133-149. Retrieved from http://www.ifets.info/journals/17_4/9.pdf.
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., & Kinshuk. (2018). Insights into the factors influencing student motivation in augmented reality learning experiences in vocational education and training. *Frontiers in Psychology*, 9, 1-14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01486>.
- Bujak, K. R., Radu, I., Catrambone, R., MacIntyre, B., Zheng, R., & Golubski, G. (2013). A psychological perspective on augmented reality in the mathematics classroom. *Computers & Education*, 68, 536-544. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.017>.

- Caudell, T. P., & Mizell, D. W. (1992). Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences* (vol. 2, pp. 659-669). IEEE. <https://doi.org/10.1109/HICSS.1992.183317>.
- Chen, C.-M., & Tsai, Y.-N. (2012). Interactive augmented reality system for enhancing library instruction in elementary schools. *Computers & Education*, 59(2), 638-652. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.001>.
- Chiang, T. H. C., Yang, S. J. H., & Hwang, G.-J. (2014). An augmented reality-based mobile learning system to improve students' learning achievements and motivations in natural science inquiry activities. *Educational Technology & Society*, 17(4), 352-365.
- Chin, K.-Y., Lee, K.-F., & Chen, Y.-L. (2015). Impact on student motivation by using a QR-based U-Learning material production system to create authentic learning experiences. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 8(4), 367-382. <https://doi.org/10.1109/TLT.2015.2416717>.
- Cuendet, S., Bonnard, Q., Do-Lenh, S., & Dillenbourg, P. (2013). Designing augmented reality for the classroom. *Computers & Education*, 68, 557-569. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.015>.
- Ferrer, V., Perdomo, A., Rashed-Ali, H., Fies, C., & Quarles, J. (2013). How does usability impact motivation in augmented reality serious games for education? In *2013 5th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES)* (pp. 1-8). Poole: IEEE. <https://doi.org/10.1109/VS-GAMES.2013.6624233>.
- Follette, M., Mueller, J., & Mace, R. (1998). *The universal design file. Designing for people of all ages and disabilities*. NC State University - The Center for Universal Design.
- Gopalan, V., Zulkifli, A. N., & Aida, J. (2016). A study of students' motivation based on ease of use, engaging, enjoyment and fun using the augmented reality science textbook. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 31(5), 27-35. <https://doi.org/10.21311/002.31.5.04>.
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>.

- Liu, T.-Y., & Chu, Y.-L. (2010). Using ubiquitous games in an english listening and speaking course: Impact on learning outcomes and motivation. *Computers & Education*, 55(2), 630-643. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.02.023>.
- Meyer, A., Rose, D., & Gordon, D. (2014). *Universal design for learning, theory and practice*. Wakefield, MA: CAST Professional Publishing.
- Rao, K., Ok, M. W., & Bryant, B. R. (2014). A Review of research on universal design educational models. *Remedial and Special Education*, 35(3), 153-166. <https://doi.org/10.1177/0741932513518980>.
- Shepard, L. A. (2005). Linking formative assessment to scaffolding. *Educational Leadership*, 63(3), 66-70.
- Wei, X., Weng, D., Liu, Y., & Wang, Y. (2015). Teaching based on augmented reality for a technical creative design course. *Computers & Education*, 81, 221-234. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.10.017>.