

Realidad Virtual: la industria en la escuela

David Arancón Pérez, José Carlos Gómez Chomón

Universidad de La Rioja

Resumen: Este artículo pretende mostrar una aplicación didáctica de la Realidad Virtual (VR) y sus posibles campos de actuación en la enseñanza, en concreto, en la enseñanza de la ingeniería mecánica. El principal objetivo ha sido ver como la VR se puede aplicar de forma práctica, didáctica y analizar así sus componentes, peculiaridades y observar las herramientas clave que aporta dicha tecnología en la actualidad. En concreto, se ha planteado realizar unas prácticas de ingeniería, montajes y desmontajes de ciertas máquinas, con ellas se ha preparado un conjunto de actividades tras las cuales se ha evaluado la evolución y capacidad del alumnado tanto en su uso y adaptación a esta tecnología como su potencial para el aprendizaje, es decir cómo se han adaptado a la misma y qué les ha aportado como mejora en el conocimiento de la materia.

La VR está integrándose en el aula con experiencias docentes satisfactorias, aumentando su uso día a día en todos los campos con una gran aceptación por parte del alumnado.

Palabras clave: Realidad Virtual, educación, enseñanza a distancia, realidad aumentada, ingeniería industrial.

1. Introducción

Las universidades sufren un alto grado de gestión, financiación y relación con su entorno cada vez más global y evolucionado (Silveira y Bianchetti, 2016) lo cual ha llevado a cambiar los currículos frecuentemente para hacerlos más atractivos, y adaptarlos a las necesidades del estudiantado y la sociedad. Debido a los grandes cambios científico-tecnológicos de la actualidad en la que deben estar cada vez más preparados (Fernandes et al., 2015), esta realidad, supone un gran reto.

Por otro lado, la evolución de la pandemia ha supuesto la aparición de nuevas necesidades tras las limitaciones de desplazamiento y acceso a materiales humanos y técnicos, lo que supuso que la VR se integrara en la escuela (Salah et al., 2019). Como es bien sabido, el *gaming* propició un gran impulso provocando un gran salto tecnológico a precios más asequibles, la cual se ha extendido a otros muchos campos que exigen estabilidad y realismo (Uppot et al., 2019).

La VR ha aportado el reto que faltaba, es decir, su desarrollo actual e introducción en la enseñanza de diversos sectores educativos (Navarro-Delgado y Fonseca-Escudero, 2017). No es menos importante el hecho de evaluar el grado de aceptación de nuevas tecnologías en la educación superior (González-Bravo y Valdivia-Peralta, 2015; López et al., 2012) sin tener en cuenta que estos elementos pueden presentar en ciertos casos bajo desempeño académico y dificultades de adaptación educativa (Buitrago-Pulido, 2015).

Ya han pasado unos años del origen de esta tecnología VR (Azuma, 1993; Feiner et al., 1993; Mackay et al., 1993). Actualmente su implementación en entornos tan complejos como en el sector de la construcción (K B et al., 2020) o su aplicación en entornos educativos (Buitrago-Pulido,

2015), así como el renderizado y la nube (*cloud*) ha evolucionado significativamente (Zhang et al., 2020). Tanto la VR, AR (Realidad Aumentada) y MR (Realidad Mixta), han realizado un largo camino hasta la actualidad permitiendo que los avances tecnológicos lleguen a la enseñanza. Además, el alumnado puede experimentar de forma individual con bajos recursos en su propia casa, los medios necesarios están ya disponibles dado el gran auge de plataformas digitales, del intercambio de información, de acceso a recursos abiertos y del libre acceso (Pinto et al., 2012).

El presente estudio aporta una experiencia real que supone la utilización de la VR de forma práctica en un entorno no experimentado anteriormente y su evaluación.

2. Método

2.1. Materiales

En la actualidad existen tres métodos destacados, la VR en el que es posible interactuar con elementos y entornos que no existen en el mundo real. La AR, en la que un observador ve un objeto virtual sobre un entorno real, no requiriendo dispositivos especiales para funcionar, (un móvil es válido para utilizarla). La tercera es la MR, en esta se combinan la VR y la AR, precisa de ópticas de calidad, potencia computacional y sensores de alta precisión.

En este caso, se ha utilizado el sistema de Categorización de sistemas de VR el SEDO (Static Environment – Dynamic Observer), es decir en un entorno se han introducido máquinas o modelos que un observador puede manipular.

2.2. Hardware

El desarrollo de la realidad virtual y aumentada hace que se necesite de una conexión entre la persona y la computadora, en este caso los elementos utilizados para el desarrollo de las tareas generadas han sido las gafas VR (*HP Reverb G2 Virtual Reality Headset*) y sus mandos conectados por bluetooth con sensores integrados y adaptadores de conexión a un PC de alto rendimiento que pueda mover dichos elementos a una velocidad real.

La parte básica de las gafas la constituyen dos pantallas LCD de 2,89 pulgadas con una frecuencia de actualización de 90Hz y una resolución de 2160 x 2160 para cada ojo.

Figura 1. Gafas Reverb G2



2.3. Software

El software utilizado en este trabajo ha sido Solidworks, en combinación con Aurora (*Aurora 2022 Invelon Technologies SL., s. f.*) y SteamVR (*SteamVR 2022 Valve Corporation, s. f.*) elegidos como

medios de integración de la VR en este proceso educativo. El porqué de esta elección y no otras ha sido tanto su facilidad de uso, así como su transparencia en la generación de dibujos CAD 3D, su integración y simplicidad en todo este proceso. Además, esto da la posibilidad de cooperación con otras personas y empresas que facilitan su comprensión, análisis de los problemas surgidos y han creado un trabajo más eficaz.

El software utilizado contiene una gran cantidad de funciones para el diseño paramétrico, que permite tanto la creación de objetos complejos, su modificación y su manipulación. Es posible, además, interactuar con el modelo y su entorno de forma eficiente y sencilla, permitiendo modificar su geometría y transformarla dentro del entorno como se muestra en la realidad virtual analizada.

Figura 2. Entorno Solidworks

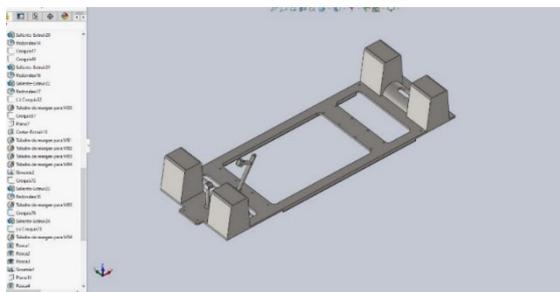


Figura 3. Motor en entorno Aurora VR



2.4. Procedimiento

Para simular el proceso educativo, se utilizará el ensamblaje desarrollado en este caso con Solidworks (*SolidWorks. Datasault Corp Versión (2022-2023)*, n.d.).

La finalidad de la demostración analizada ha sido testear la interacción tanto con el ensamblaje como con su entorno.

El proceso de creación y análisis de tareas consta de los siguientes pasos: Se realiza un modelo de ubicación como entorno para realizar la simulación. Tras la misma, se crea el modelo del elemento o conjunto a manipular, lo que se llama gemelo digital, el cual se manipula con un hardware y software apropiado para el propósito de esta tarea. Finalmente, con la configuración de la conexión y puesta en marcha de VR se pasa al proceso de simulación.

La simulación en un entorno virtual se realizó de la siguiente manera: Se hace una demostración del movimiento en un entorno virtual, tras la misma se analizan las posibles interacciones con el modelo. Se procede a la selección del modelo y se realiza una visión panorámica o sección del mismo, manipulándolo con rotaciones, desplazamientos, escalado, medición de dimensiones, uso de la función de lápiz 3D, diseño de montaje, desmontaje, cortes, explosionado automática del modelo, movimiento de piezas. Siendo esto un pequeño resumen de todas las opciones de la aplicación que se pueden implantar en la educación.

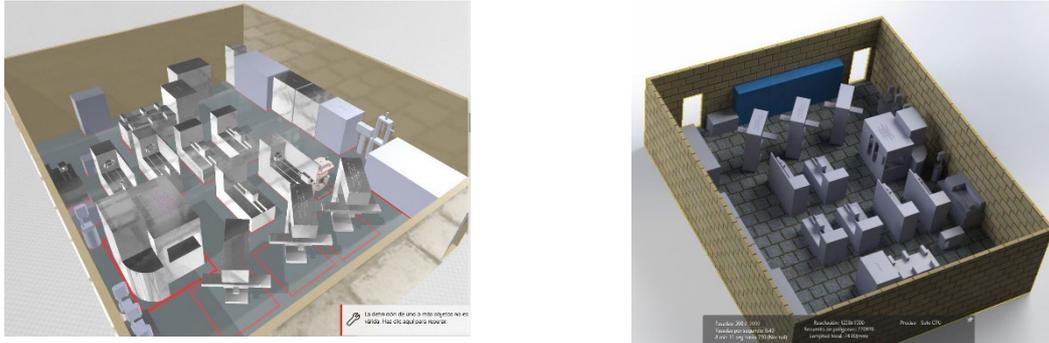
Se crearon cinco grupos de cuatro alumnos pertenecientes al Ciclo Formativo de Técnico Superior en Mecatrónica Industrial de segundo curso (S2MI 1, S2MI 2, S2MI 3 S2MI 4, S2MI 5) utilizando la VR se les especifica las tareas a realizar y una posterior valoración de la experiencia y el aprendizaje obtenido.

2.5. Creación mediante CAD/ espacio virtual

Amén de haber otros programas como es el caso de Rhinoceros (*Rhinoceros 3D, Version 2022. Robert McNeel yamp; Associates, Seattle, WA., s. f.*) se ha generado un entorno de taller para que el alumnado se vea en como la situación de forma real y se adecue al mismo.

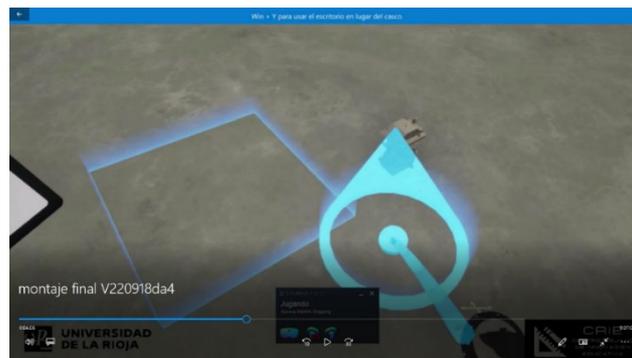
Esto facilita que el alumno conozca un entorno real que puede visitar posteriormente o no y donde puede ver máquinas reales.

Figura 4. Taller modelizado con Solidworks



En el interior de este entorno se puede mover libremente el alumnado, se introducen las máquinas que se desean manipular, pudiéndose trasladar tanto físicamente como teletransportándose con los mandos sincronizados con el software. También se puede girar, cambiando de orientación dentro del entorno de trabajo de forma muy sencilla con los botones de los mandos programados o con el movimiento de la cabeza o cuerpo para girar 360 grados.

Figura 5. Teletransporte realizado con Aurora VR



Mediante el seccionamiento del modelo, es posible ver los distintos componentes ocultos, esto es uno de los puntos fuertes de este software. Además, permite acercarse e introducirse en el interior y ver el montaje físico de todos los elementos con su medición incluida.

Figura 6. Corte de una máquina en tiempo real mediante VR

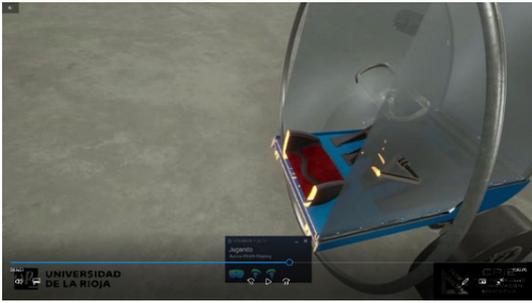


Figura 7. Medición con VR



Las capturas y metodología aplicada se han simplificado para facilitar la comprensión del alumnado sobre la multitud de posibilidades de la VR ofrece.

2.6. Inclusión de un ensamblaje en su entorno

Se ha probado con varios modelos más o menos complejos. Estos se insertaron dentro del entorno virtual (un taller) y según las necesidades del usuario, se pueden mover y escalar para una mejor visión de los detalles.

Figura 8. Despiece en VR



Figura 9. Transparencia y color en VR



Una novedad muy importante y práctica, es la de poder meter en el entorno virtual elementos normalizados para su comprensión y utilización, como son la introducción de planos tradicionales y el poder visualizarlos mientras se está en el entorno virtual. Esto supone una ayuda al alumnado a ver físicamente el producto y relacionar el plano con la máquina real.

Figura 10. Planos con modelo real en VR

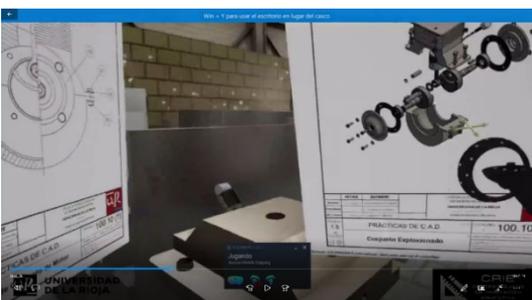
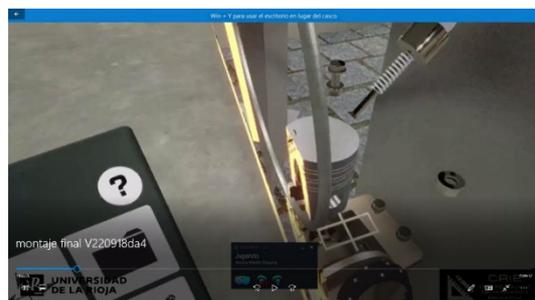


Figura 11. Corte de un motor con VR



Se pueden hacer anotaciones escritas o poner marcas de colores con el fin de señalar elementos o zonas de la máquina a destacar.

Figura 12. Anotaciones en VR



Figura 13. Linterna en VR



2.7. Manipulación multiusuario, monousuario

La principal ventaja de la interfaz multiusuario es que todos los miembros del equipo de trabajo pueden interactuar con un mismo modelo en un entorno. No todos los softwares están preparados y para ello el administrador debe configurar y permitir el acceso a otros usuarios para poder participar en la propia VR con los roles de editores o solo espectadores. En este estudio se aplica en entorno monousuario.

Se puede ver a continuación algunas limitaciones actuales y posibles implementaciones para nuevas versiones:

- La interfaz de Solidworks, utilizada para editar y crear funciones CAD complejas en VR, exige generar el conjunto y montaje, exportarlo y posteriormente ser incorporada en Aurora para su visión y manipulación en VR. Sin embargo, en versiones futuras, sería ventajoso incorporar dicho modelo modificado en tiempo real sin necesidad de exportación.
- En este caso, la versión utilizada ha sido AURORA VR en una versión simplificada con parámetros monousuario, la cual en el futuro (estando ya en modo pruebas) permitirá ver a varios usuarios desde su propio punto de vista y la posibilidad de manipular el conjunto en la nube (*cloud*), por varios miembros simultáneamente.
- La futura versión debe permitir asimismo que todos los usuarios precisen de un sistema de autorización, que permita la división de roles entre los participantes, debe ser implementado entre otros (administrador, editor, observador).
- La sesión no ofrece la posibilidad de comunicación de voz entre los participantes o al exterior vía *streaming* pero se puede incorporar con software que está en desarrollo.

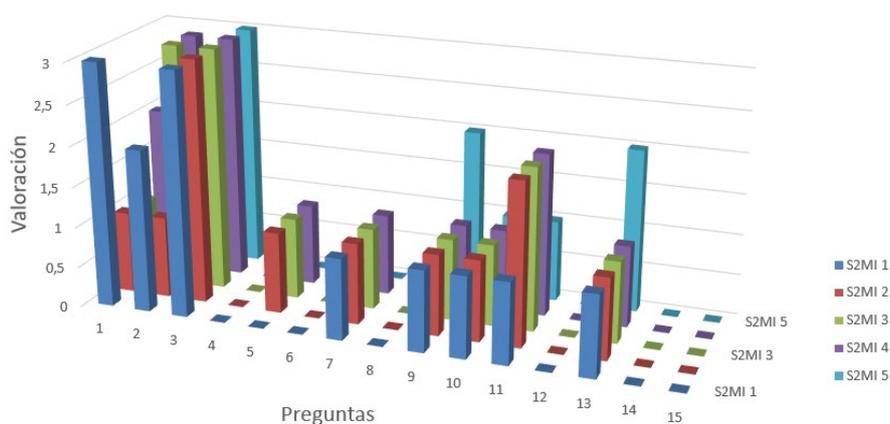
3. Resultados

Basándonos en el conocimiento y características del software y hardware analizado, se ha creado un entorno virtualizado y varios modelos de máquinas para interactuar con ellos. Tras la práctica realizada se comprobó con esta encuesta el grado de satisfacción y de utilidad de la VR. El alumnado ya está familiarizado a estas tecnologías y el no haber tenido una experiencia anterior con estas gafas, no ha sido un impedimento en el tiempo de adaptación a la VR, así mismo el realismo es lo que más ha impactado en el alumnado. La adaptación ha superado todas las expectativas pues el tiempo en localizar la pieza propuesta, ha sido muy rápido.

Figura 14. Encuesta al alumnado

VR encuesta al alumnado		
MANDOS) es:		
1- Nunca 2- Alguna vez 3- Varias veces 4- Más de 4 veces		
2. ¿Cuánto juegas online ó offline con cualquier Consola, PC o Móvil?		
1 (0-1 hora/semana) 2 (1h-3h/semana) 3 (3h-7h/semana) 4 (más de 7h/semana)		
1	2	3
virtual?		
1(Solo sirve para pasar el rato) 2(Poco) 3(Bastante) 4(Muchísimo)		
4. En caso de haber respondido 3 o 4 en la pregunta anterior. Escribe brevemente el por qué.		
5. ¿Crees que la realidad virtual es accesible para todas las personas?		
Sí.	<input type="radio"/>	
No.	<input type="radio"/>	
6. Si la respuesta anterior ha sido NO, indica el por qué.		
7. ¿Crees que la realidad virtual podrá utilizarse como un método de aprendizaje?		
Si	<input type="radio"/>	
No	<input type="radio"/>	
8. Si has contestado que SI en la pregunta anterior, razona tu respuesta.		
9. Después de haber disfrutado de la experiencia, ¿Qué es lo que más te ha gustado?		
Realismo	<input type="radio"/>	
Manejo fácil e intuitivo	<input type="radio"/>	
El espacio	<input type="radio"/>	
Nada	<input type="radio"/>	
10. ¿Cuanto tiempo has tardado en coger y dejar la biela sobre una superficie?		
Menos de 1 minuto	<input type="radio"/>	
De 1 minuto a 5 minutos	<input type="radio"/>	
Más de 5 minutos	<input type="radio"/>	
11. ¿Cuanto has tardado en familiarizarte con el sistema? (entorno, mandos, gafas, etc.)		
1 minuto	<input type="radio"/>	
1-5 minutos	<input type="radio"/>	
Más de 5 minutos	<input type="radio"/>	
12. ¿Qué es lo que más te ha gustado de la experiencia?		
13. Valora la experiencia con la realidad virtual.		
Muy buena	<input type="radio"/>	
Buena	<input type="radio"/>	
Regular	<input type="radio"/>	
Mal	<input type="radio"/>	
14. Si tu respuesta ha sido 3 ó 4, explica el motivo.		
15. ¿Qué servicio, producto o experiencia relacionada con vuestro estudio os gustaría que se hiciese mediante Realidad Virtual?		

Figura 15. Resultados obtenidos de la encuesta realizado por el alumnado



Nota. Ciclo Formativo de Técnico Superior en Mecatrónica Industrial de segundo curso (S2MI 1, S2MI 2, S2MI 3 S2MI 4, S2MI 5).

Esta primera evaluación tanto cualitativa (preguntas 1, 2, 3, 5, 7, 9, 10, 11 y 13) como cuantitativa (preguntas 4, 6, 9, 12, 14 y 15) ha supuesto un reto y ha servido para ver como el alumnado con o sin experiencia en este entorno ha reaccionado a este nuevo método de aprendizaje. Ha supuesto un primer contacto del alumno con este tipo de experiencia en la escuela, incluso para la mayoría en su vida normal, así mismo ha supuesto un reto para el propio experimento y su utilidad como enseñanza educativa.

Analizando la experiencia del alumno con la VR, todos la creen accesible, pero pocos la han experimentado todavía, por lo menos a esta escala de precisión, lo que les ha supuesto un impacto del realismo que se consigue, siendo su manejo tan fácil que ha sorprendido el tiempo en alcanzar el objeto propuesto y su adaptación. La valoración ha sido muy buena deseando repetir la práctica con otros elementos y máquinas.

Condicionamiento del experimento: durante su realización se comprobó que uno de los principales inconvenientes es el espacio, pues el alumnado necesita una zona libre de obstáculos para manipular los mandos y andar, para no chocar con otros elementos, pues una vez inmerso en la VR se pierde la orientación espacial de dónde está el alumno, lo que puede suponer un peligro a él mismo y a sus compañeros.

4. Conclusiones

El análisis de este tipo de prácticas utilizando la tecnología de VR hace que la experiencia sea única. Sin embargo, debe integrarse en un proceso educativo en continuo progreso que está parcialmente limitado por esta tecnología específica y que está actualmente inmersa en una falta de materiales como son el software (simuladores para cada situación de aprendizaje) y el hardware de alta gama, se considera que es cara la inversión inicial, pero no se han hecho estudios de lo que supone dicha inversión comparada con lo que cuesta comprar, mantener y reparar máquinas reales, cuyo uso sea montar, desmontar, ver su funcionamiento y/o ver su interior. Esto multiplicado por el número de alumnos que realizan dichas prácticas (sin tener en cuenta otros factores no menos importantes como la seguridad) es mucho más caro que la inversión inicial de la aplicación de la VR.

Otros factores que avalan esta tendencia de uso de la VR son: las máquinas simuladas en VR pueden ser actualizables sin coste alguno, siendo todo lo complejas que se quiera (como puede

ser un motor de avión), y siendo montados y desmontados tantas veces como se necesite sin dejar un solo tornillo mal puesto.

Entre los objetivos alcanzados están la medición y mejora de los resultados de los alumnos, el desarrollo de prácticas educativas completas es una tarea pendiente de evaluar.

La valoración cualitativa sirve para orientar futuros trabajos, estas experiencias cambian de forma muy significativa según el alumnado y su uso previo, pues no es lo mismo que un estudiante haya pasado muchas horas con juegos online (casi la única experiencia previa que tenían) que un trabajo de aprendizaje con esta tecnología aún por incorporarse de manera significativa en el entorno educativo.

Se han hecho estudios similares como los realizados sin evaluar su resultado final como en otros entornos no industriales (Chirico et al., 2018) (Muñoz-Saavedra et al., 2020) los cuales ya no son tan recientes pues la tecnología avanza a pasos agigantados en este tema.

Las líneas de investigación lanzadas recientemente en arquitectura, ingeniería y en construcción (AEC), la realidad extendida (XR), (Alizadehsalehi et al., 2020) son las AR, VR y realidad mixta (MR) (Cheng et al., 2020) (Gonzalez-Franco et al., 2017) se ha empezado a implementar dado que está continuo en desarrollo y mejora constante siendo aplicadas de modo experimental sin aplicar a escuelas de manera intensiva y testada.

Las posibilidades son infinitas en cualquier campo, entrenamiento en mantenimiento preventivo y correctivo, prácticas de montaje y desmontaje, enseñanza de manejo y funcionamiento. Estos son algunos ejemplos que están actualmente en desarrollo y pendientes de análisis tanto en su potencial como en su aplicación.

El análisis de funcionamiento de la máquina, tanto en su interior, como en las modificaciones del ensamblaje y sus elementos se convierten en un juego en vez de una ardua tarea. En cuanto a la apariencia y su realismo es un tema de software sobradamente superado hoy en día.

En consecuencia, debido a su gran realismo y potencial el aplicarlo en clase supone que el alumnado se ve más implicado y concentrado al no haber más objetos a su alrededor, así mismo analiza y desarrolla el modelo introducido, pudiendo ser supervisado y asesorado por el profesor.

Las limitaciones y mejoras están solo en las ideas de qué se desea realizar y en el hardware que cada vez se le exige más prestaciones, por lo que está en continuo desarrollo y ofreciendo un gran potencial.

Las mejoras a analizar entre otras muchas son: la manipulación de los modelos, el montaje y desmontaje con herramientas reales (llaves, destornilladores, etc.), la modificación de los elementos en tiempo real usando CAD 3D con la incorporación síncrona a la VR facilitarían enormemente el tiempo de implementación y verificación del modelo en 3D, la interrelación con otros usuarios en la nube (CLOUD) para el manejo de un mismo conjunto en el mismo entorno lo harían aún más educativo, la introducción de vídeos explicativos dentro del propio entorno, la captura y visión de datos de cada elemento seleccionado facilitaría la selección de materiales y el aprendizaje del alumno al no tener que salir para nada del VR, la introducción de herramientas de análisis en tiempo real dentro de la VR hará que sean imprescindibles para la comprensión de dichos elementos (análisis de fluidos, electrónica, movimiento de la máquina, tensiones, velocidades etc.), poder incorporar las sensaciones de las propiedades físicas al manipular un elemento real, peso, colisiones con otros componentes virtuales.

En resumen, la inclusión de la VR es ya una realidad de futuro y su mejora e integración de ciertos elementos harán que no sea necesario el entrar y salir del entorno virtual para para lograr aprender más y mejor, con una mayor diversidad de las máquinas complejas actuales que no se puede tener físicamente.

La mezcla de la VR con la realidad física es la MR que daría un avance significativo en experiencias reales ya que se tratan ambos entornos simultáneamente.

Cada realidad (AR, VR, MR) aporta una ventaja e inconveniente que se pueden resumir en esta tabla. La XR (Realidad Extendida) no se analiza en este caso.

Tabla 1. Realidad Virtual AR vs Realidad Aumentada AR vs Realidad Mixta MR

DESCRIPCIÓN	AR	VR	MR
Las aplicaciones móviles básicas están bien establecidas	Sí	No	No
Puede brindar información que se sobrepone a una escena del mundo real	Sí	No	Sí
Hace que el aprendizaje sea fácil y cómodo	Sí	Sí	Sí
Pueden experimentar con ambientes-entornos artificiales	No	Sí	Sí
No existen límites (aparte del dinero y de la imaginación) al crear mundos, demostraciones de productos o espacios en formas novedosas	No	Sí	Sí
La creación de contenido tiende a ser personalizada	No	Sí	Sí
Es una experiencia aislada e individual	No	Sí	Sí
Hay comunicación fluida entre individuo y elementos externos	No	Sí	Sí
Hay interacción entre la realidad virtual y el poder visual de la realidad aumentada	No	No	Sí
Incorpora objetos gráficos fabricados a través de ordenadores en un mundo real	Sí	No	Sí
Son caros de implementar (económicamente)	No	Sí	Sí
Interacción entre entorno con el usuario en tiempo real	No	No	Sí
Elimina los límites físicos (se pueden sobre pasar elementos físicos reales)	No	Sí	No
Su desarrollo puede contribuir al impulso de productos comerciales y servicios	Sí	Sí	Sí
Facilita la información. Hace que el aprendizaje sea una tarea más llamativa y entretenida	Sí	Sí	Sí
Esta tecnología puede ayudar a elevar las ventas en negocios y comercios. También, puede impulsar un mejor desempeño por parte de los empleados	Sí	Sí	Sí
Altos requisitos técnicos, requerirán de un hardware potente que reduzca las ralentizaciones y los errores	No	Sí	Sí
El uso constante de sus dispositivos puede producir desorientación sensorial, cefaleas o molestias oculares	No	Sí	No
Por desconocimiento: Si no se sabe utilizar, puede llegar a ser poco útil (debe ser guiada en sectores educativos)	No	Sí	Sí

Referencias

- Alizadehsalehi, S., Hadavi, A. y Huang, J. C. (2020). From BIM to extended reality in AEC industry. *Automation in Construction*, 116, 103254. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103254>
- Ashwini, K.B., Patil, P. N. y Savitha, R. (2020). Tracking Methods in Augmented Reality – Explore the Usage of Marker-Based Tracking. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3734851>
- Aurora 2022 Invelon Technologies SL*. (s. f.)
- Azuma, R. (1993). Tracking requirements for augmented reality. *Communications of the ACM*, 36(7), 50-51. <https://doi.org/10.1145/159544.159581>
- Buitrago-Pulido, R. D. (2015). Incidencia de la realidad aumentada sobre el estilo cognitivo: caso para el estudio de las matemáticas. *Educación y Educadores*, 18(1), 27-41. <https://doi.org/10.5294/edu.2015.18.1.2>

- Cheng, J. C. P., Chen, K. y Chen, W. (2020). State-of-the-Art Review on Mixed Reality Applications in the AECO Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001749](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001749)
- Chirico, A., Ferrise, F., Cordella, L. y Gaggioli, A. (2018). Designing Awe in Virtual Reality: An Experimental Study. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02351>
- Feiner, S., Macintyre, B. y Seligmann, D. (1993). Knowledge-based augmented reality. *Communications of the ACM*, 36(7), 53-62. <https://doi.org/10.1145/159544.159587>
- Fernandes, G., Ward, S. y Araújo, M. (2015). Improving and embedding project management practice in organisations - A qualitative study. *International Journal of Project Management*, 33(5), 1052-1067. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.01.012>
- González-Bravo, L. y Valdivia-Peralta, M. (2015). Posibilidades para el uso del modelo de aceptación de la tecnología (TAM) y de la teoría de los marcos tecnológicos para evaluar la aceptación de nuevas tecnologías para el aseguramiento de la calidad en la educación superior chilena. *Revista Electrónica Educare*, 19(2), 181-196. <https://doi.org/10.15359/ree.19-2.11>
- Gonzalez-Franco, M., Pizarro, R., Cermeron, J., Li, K., Thorn, J., Hutabarat, W., Tiwari, A. y Bermell-Garcia, P. (2017). Immersive Mixed Reality for Manufacturing Training. *Frontiers in Robotics and AI*, 4. <https://doi.org/10.3389/frobt.2017.00003>
- López, L. M. G., López, L. M. O., Zamalloa, L. M. y Sáenz, F. D. (2012). La seguridad en el sector de la construcción desde la perspectiva de los proyectistas riojanos. *XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*, 11-13. http://www.aepro.com/files/congresos/2012valencia/CIIP12_0627_0638.3742.pdf
- Mackay, W., Velay, G., Carter, K., Ma, C. y Pagani, D. (1993). Augmenting reality. *Communications of the ACM*, 36(7), 96-97. <https://doi.org/10.1145/159544.159638>
- Muñoz-Saavedra, L., Miró-Amarante, L. y Domínguez-Morales, M. (2020). Augmented and Virtual Reality Evolution and Future Tendency. *Applied Sciences*, 10(1), 322. <https://doi.org/10.3390/app10010322>
- Navarro-Delgado, I. y Fonseca-Escudero, D. (2017). Nuevas tecnologías de visualización para mejorar la representación de arquitectura en la educación. *ACE: Architecture, City and Environment*, 12(34), 219-238. <https://doi.org/10.5821/ace.12.34.5290>
- Pinto, M., Gomez, C. y Fernández, A. (2012). Los recursos educativos electronicos: perspectivas y herramientas de evaluacion TT - Electronic educational resources: perspectives and evaluation tools. *Perspectivas en Ciencia de la Informacion*, 17(3), 82-99. <http://www.scielo.br/pdf/pci/v17n3/a07v17n3>
- Rhinoceros 3D, Version 2022. Robert McNeel yamp; Associates, Seattle, WA.* (s. f.).
- Salah, B., Abidi, M. H., Mian, S. H., Krid, M., Alkhalefah, H. y Abdo, A. (2019). Virtual reality-based engineering education to enhance manufacturing sustainability in industry 4.0. *Sustainability (Switzerland)*, 11(5), 1-19. <https://doi.org/10.3390/su11051477>
- Silveira, Z. S. y Bianchetti, L. (2016). Universidade moderna: Dos interesses do Estado-nação às conveniências do mercado. *Revista Brasileira de Educacao*, 21(64), 79-99. <https://doi.org/10.1590/S1413-24782016216405>
- SolidWorks. Datasault Corp (Versión 2022-2023).* (s. f.).
- SteamVR 2022 Valve Corporation.* (s. f.).
- Uppot, R. N., Laguna, B., McCarthy, C. J., De Novi, G., Phelps, A., Siegel, E. y Courtier, J. (2019). Implementing virtual and augmented reality tools for radiology education and training,

communication, and clinical care. *Radiology*, 291(3), 570-580.
<https://doi.org/10.1148/radiol.2019182210>

Zhang, H., Zhang, J., Yin, X., Zhou, K. y Pan, Z. (2020). Cloud-to-end Rendering and Storage Management for Virtual Reality in Experimental Education. *Virtual Reality and Intelligent Hardware*, 2(4), 368-380. <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2020.07.001>