

Aprendizaje de los componentes del pensamiento computacional mediado por una aplicación virtual de la Educación 4.0 en el entorno del pensamiento complejo*

Carlos Enrique George-Reyes
Jessica Alejandra Ruiz-Ramírez
Yessica Betzabe Contreras Fuentes
Edgar Omar López-Caudana
Tecnológico de Monterrey, México.
cgeorge@tec.mx
a00831093@tec.mx
ycontre@tec.mx
edlopez@tec.mx



Recibido: 17/5/2022
Aceptado: 23/11/2022
Publicado: 30/3/2023

Resumen

La Educación 4.0 y sus aplicaciones como la realidad virtual basada en web (WebVR) pueden ser útiles para fortalecer el aprendizaje de los estudiantes, debido a que el uso de esta tecnología en la enseñanza permite la participación en escenarios de realidad simulada que fortalecen la interacción y el desarrollo de competencias comunicativas y de colaboración. En esta investigación se evaluó tanto la aceptación como el rendimiento académico de 258 alumnos que participaron en una experiencia de aprendizaje de los componentes del pensamiento computacional mediante la implementación de un rally de conocimientos que fue diseñado en un mundo virtual tridimensional. El estudio consideró un grupo experimental y uno de control. Los resultados indican que existe un nivel de aceptación alto para adoptar los escenarios virtuales como espacio para el aprendizaje y que el rendimiento académico de los estudiantes mostró una mejoría cuando se generó en la aplicación de realidad simulada. Sin embargo, existen oportunidades que requieren ser atendidas para implementar con éxito estas experiencias, como el acceso a computadoras con alta capacidad de procesamiento y el desarrollo de habilidades digitales tanto de docentes como de estudiantes.

Palabras clave: Educación 4.0; innovación educativa; mundo virtual; pensamiento complejo; pensamiento computacional; realidad simulada

* Los autores agradecen el apoyo financiero del Tecnológico de Monterrey a través del Challenge-Based Research Funding Program 2022. Proyecto ID # I003 - IFE001 - C2-T3 - T.

Resum. *Aprenentatge dels components del pensament computacional mitjançant una aplicació virtual de l'Educació 4.0 en l'entorn del pensament complex*

L'Educació 4.0 i les seves aplicacions, com la realitat virtual basada en web (WebVR), poden ser útils per enfortir l'aprenentatge dels estudiants pel fet que l'ús d'aquesta tecnologia en l'ensenyament permet la participació en escenaris de realitat simulada que enforteixen la interacció i el desenvolupament de competències comunicatives i de col·laboració. En aquesta recerca es va avaluar tant l'acceptació com el rendiment acadèmic de 258 alumnes que van participar en una experiència d'aprenentatge dels components del pensament computacional mitjançant la implementació d'un ral·li de coneixements que va ser dissenyat en un món virtual tridimensional. L'estudi va considerar un grup experimental i un de control. Els resultats indiquen que existeix un nivell d'acceptació alt per adoptar els escenaris virtuals com a espai per a l'aprenentatge i que el rendiment acadèmic dels estudiants va mostrar una millora quan es va generar en l'aplicació de realitat simulada. No obstant això, existeixen oportunitats que requereixen ser ateses per implementar amb èxit aquestes experiències, com l'accés a computadores amb alta capacitat de processament i el desenvolupament d'habilitats digitals tant de docents com d'estudiants.

Paraules clau: Educació 4.0; innovació educativa; món virtual; pensament complex; pensament computacional; realitat simulada

Abstract. *Training in components of computational thinking via a virtual Education 4.0 application in an environment of complex thinking*

Education 4.0 and its applications such as web-based virtual reality (WebVR) can be useful to strengthen student learning, as the use of this technology in teaching allows participation in simulated reality scenarios that strengthen interaction and the development of communication and collaboration skills. In this study, both acceptance and the academic performance of 258 students who participated in a learning experience around components of computational thinking were evaluated through the implementation of a knowledge rally that was designed in a three-dimensional virtual world. The study considered an experimental group and a control group. The results indicate that there is a high level of acceptance to adopt virtual scenarios as a space for learning, and that the academic performance of the students showed an improvement when it was generated in the application of simulated reality. However, there are opportunities that need to be resolved to successfully implement these experiences, such as access to computers with high processing capacity and the development of digital skills for both teachers and students.

Keywords: Education 4.0; educational innovation; virtual world; complex thinking; computational thinking; simulated reality

Sumario

- | | |
|-----------------|----------------------------|
| 1. Introducción | 4. Discusión |
| 2. Método | 5. Conclusiones |
| 3. Resultados | Referencias bibliográficas |

1. Introducción

De acuerdo con Almeida y Simoes (2019), la Educación 4.0 es un paradigma educativo en el que, mediante la experimentación y la experiencia de usuario, se puede dar respuesta a las demandas de una educación constantemente cambiante que se basa en el desarrollo de competencias para participar en mercados laborales emergentes, en métodos de aprendizaje innovadores, en la utilización de aplicaciones tecnológicas disruptivas (Gutiérrez et al., 2021; Masdoki y Din, 2021) y desde entornos digitales cada vez más complejos (Miranda et al., 2021).

Este tipo de educación no solamente requiere de la aplicación de habilidades como la alfabetización digital y el pensamiento crítico, sino también de la resolución de problemáticas del mundo real en escenarios realistas y complejos derivados de la industria y las tecnologías 4.0 (Noguez et al., 2021). Además, aplicar los componentes de la Educación 4.0 implica desarrollar el pensamiento computacional en el aula (González y Ramírez, 2022). En este sentido, la incorporación de dispositivos y aplicaciones digitales como la realidad virtual basada en web (WebVR) ha generado que este tipo de herramientas se conviertan no solamente en instrumentos indispensables para mediar la comunicación en el aula, sino también para fortalecer los aprendizajes y diseñar estrategias de enseñanza innovadoras (Fuentes et al., 2019).

1.1. Experiencias educativas de pensamiento computacional mediadas por WebVR

El pensamiento computacional (PC) surgió como una propuesta para vincular los principios de la computación y el uso de los dispositivos digitales en la formación escolar. En las últimas décadas se ha convertido en una habilidad deseable en los estudiantes (González, 2019), debido a que permite resolver problemas complejos mediante el uso de los conceptos fundamentales de la informática (Wing, 2006).

El PC es una habilidad que pueden desarrollar los estudiantes para crear soluciones a problemas complejos utilizando estrategias computacionales (Ortega y Asensio, 2018) y tiene como componentes principales la descomposición de problemas, el reconocimiento de patrones, el diseño de algoritmos y el desarrollo de procesos de abstracción (Grover y Pea, 2017; Ángel et al., 2020; Rose et al., 2017). El PC es afín al aprendizaje basado en retos y desafíos, ya que favorece el perfeccionamiento de habilidades cognitivas y de interacción social (García y Caballero, 2019). Han sido distintas las aplicaciones del PC en el ámbito educativo (Piaza y Mengual, 2020), algunas se han enfocado en desarrollar habilidades informáticas y de alfabetización digital, favorecer el aprendizaje adaptativo, integrar experiencias de aprendizaje disruptivas y mejorar el aprendizaje cooperativo, entre otras (Atieno et al., 2020; Román et al., 2017).

Por otra parte, a partir de la aparición del covid-19, las instituciones educativas no solamente migraron los procesos formativos de la modalidad educativa

presencial a la no presencial, sino que también incentivaron a los profesores para incorporar en el aula estrategias de enseñanza disruptivas y motivadoras para los estudiantes (Vuorikari et al., 2020). Lo anterior ha logrado mantener la continuidad de la formación escolar y la adopción de nuevos escenarios de aprendizaje mediados por tecnologías para impulsar la comunicación y la interacción entre el docente y el alumno. Algunos de estos escenarios han estado vinculados con plataformas de videoconferencia, sin embargo, han surgido inconvenientes como la *zoom fatigue* ('empacho de zoom') (Ebner y Greenberg, 2020), que se manifiesta a través del estrés que generan las largas horas de permanencia frente a los dispositivos digitales (Cranford, 2020).

Una alternativa para sustituir las aplicaciones de videoconferencia es el uso de la realidad virtual basada en web (WebVR) (Videva et al., 2019), ya que es una tecnología atractiva visualmente, que genera la sensación de inmersión y realismo (Neroni et al., 2021), es sencilla de utilizar y eficiente para desarrollar el aprendizaje (Radianti et al., 2020). Una de las ventajas de la WebVR es que permite interactuar con espacios simulados sin tener que utilizar dispositivos como lentes o *cardboards* (Vorobyeva et al., 2017), que podrían representar un gasto para la institución educativa o los estudiantes.

Algunas investigaciones han corroborado que utilizar escenarios virtuales en la formación escolar favorece el aprendizaje y permite el desarrollo del conocimiento de forma significativa (Mora et al., 2020). Respecto a la enseñanza del pensamiento computacional, las estrategias de aprendizaje basadas en la realidad virtual han ido en aumento, ya que se ha propuesto el uso de juegos serios para comprender sus componentes (Sukirman et al., 2022), para aprender conceptos de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM), así como para resolver problemas y desarrollar el pensamiento crítico (Shirey y Chandramouli, 2021). Asimismo, se han evaluado las experiencias de este tipo desde diversos enfoques, como la facilidad de la navegación (Hahn, 2018; Khakimova et al., 2020) y la calidad de la visualización de estructuras complejas en laboratorios virtuales (Xia et al., 2018; Ye et al., 2018).

En este artículo se describen los resultados de la evaluación de la aceptación por parte de los estudiantes de una experiencia de aprendizaje de los componentes del PC mediada por WebVR, así como una comparación de los aprendizajes entre un grupo experimental y otro de control. El objetivo de la investigación fue evaluar la experiencia de los estudiantes que participaron en la aplicación de una estrategia de enseñanza mediada por la tecnología WebVR para aprender los componentes básicos del pensamiento computacional, así como comparar los resultados de su aprendizaje contra estudiantes que aprendieron el tema en un entorno presencial.

2. Método

Para realizar este estudio se decidió utilizar una metodología de carácter descriptivo y de enfoque secuencial cuantitativo (Creswell y Creswell, 2017).

2.1. Participantes

Participaron 258 estudiantes de bachillerato, 143 mujeres y 115 hombres, que fueron divididos en dos grupos, uno experimental (187) y otro de control (71). La selección de los alumnos para pertenecer a cada grupo se basó en sus equipos de cómputo, necesarios para ejecutar el software licenciado llamado Virbela, a fin de que tuvieran la capacidad suficiente para poder instalar y poner en marcha el software Virtual Campus basado en la tecnología WebVR. Se debe destacar que no es necesario utilizar ningún dispositivo externo, ya que la participación del estudiante se genera en un mundo virtual tridimensional sobre una pantalla bidimensional. El rango de edad de los participantes osciló entre los 16 y los 18 años, con un promedio de 17 años.

2.2. Instrumentos

Se utilizaron dos cuestionarios, el primero fue para evaluar al grupo experimental. Para ello se adaptó el instrumento Questionnaire to Evaluate the User Experience in Learning Spaces Mediated by WebVR Technology (Rocha et al., 2022), que consta de 26 ítems organizados en 5 dimensiones: facilidad de uso, utilidad percibida, intención de uso, competencias y apreciación. Los ítems están diseñados para ser respondidos mediante una escala de tipo Likert con cuatro opciones de respuesta.

El segundo cuestionario utilizado fue el Test del Pensamiento Computacional (TPA) (Román et al., 2017), que permite medir el nivel de desarrollo del pensamiento computacional. Consta de 32 ítems de elección múltiple con respuesta correcta única. El instrumento evalúa conceptos fundamentales para la identificación de patrones y el diseño de algoritmos, como, por ejemplo, direcciones, bucles, condicionales y funciones.

2.3. Procedimiento

Con el grupo de control se llevó a cabo la impartición del tema de la forma en la que se venía haciendo tradicionalmente, es decir, basada en un diseño instruccional en el que se utilizan materiales digitales y la exposición presencial del docente. Para hacer la intervención en el grupo experimental se trazaron tres etapas.

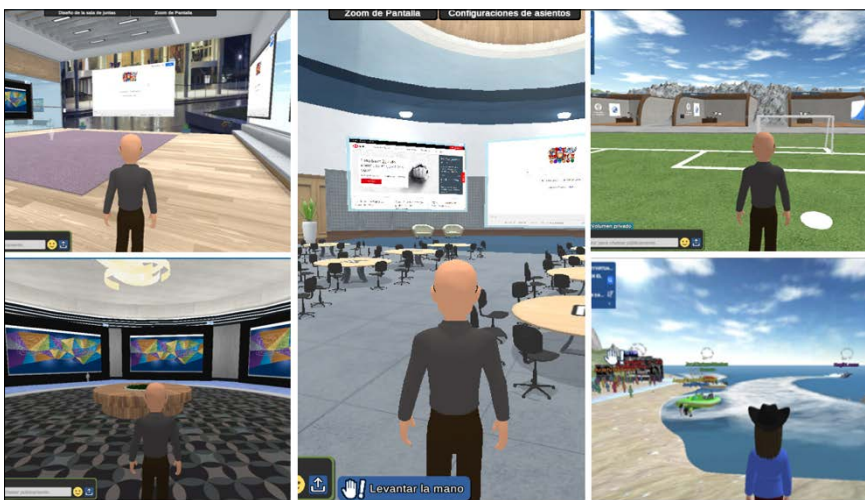
Fase 1. Diseño e implementación de la experiencia

Para implementar la experiencia se realizó el diseño instruccional de un rally de pensamiento computacional que tuvo como objetivo contribuir a desarrollar el aprendizaje de los cuatro pilares del pensamiento computacional: descomposición, abstracción, identificación de patrones y diseño de algoritmos. En la tabla 1 se describe la forma en la que se planificó la experiencia, mientras que en la figura 1 se ilustran los espacios utilizados.

Tabla 1. Descripción de la planificación de la experiencia

Momentos de la experiencia	Diseño temporal de la experiencia
M1. Actividad de identificación de patrones en el espacio Soccer Field.	Entrada de los participantes en el Virtual Campus (5 min). Bienvenida por parte del anfitrión (2 min) – Auditorio. Indicaciones generales del evento (5 min) – Auditorio.
M2. Actividad de diseño de algoritmos en Team Room A.	Teletransportación a los cuatro espacios de trabajo, uno para cada uno de los componentes del pensamiento lógico computacional (3 min).
M3. Actividad de descomposición de un problema en Conference Hall A.	Estudio de los componentes del PLC (20 min por cada momento).
M4. Actividad de abstracción en Meeting Room (Board Room A).	Socialización y cierre de la actividad (10 min) – Playa.

Fuente: elaboración propia.

Figura 1. Espacios utilizados en el diseño de la experiencia

Fuente: elaboración propia.

Fase 2. Recolección de la información

La aplicación de los cuestionarios se realizó en la siguiente sesión. Estos fueron diseñados en el software de gestión de experiencia Qualtrics, que permite acceder a la encuesta desde cualquier dispositivo digital. El software tiene la capacidad necesaria para organizar la información recuperada en una hoja de cálculo.

Fase 3. Análisis e interpretación

Con el fin de realizar el análisis cuantitativo se llevó a cabo la limpieza de la base de datos para migrarla al software estadístico Minitab Statistical Software 20. En este entorno se trabajaron los resultados estadísticos con los que se estableció la relación entre las dimensiones analizadas. Finalmente se desarro-

llaron las discusiones y las conclusiones acerca del aprendizaje del pensamiento computacional en el entorno de realidad virtual basada en web.

3. Resultados

Los resultados se organizaron de acuerdo con el objetivo de investigación, por lo que primero se describieron los hallazgos relacionados con la evaluación de la experiencia y posteriormente se compararon los resultados de aprendizaje, tanto del grupo experimental como de control.

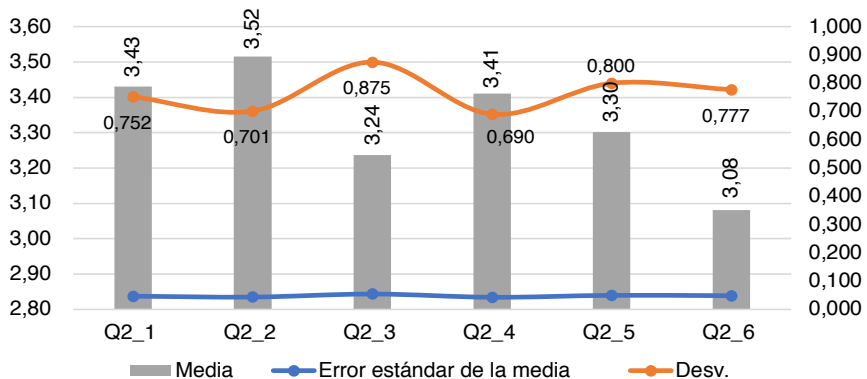
3.1. Aceptación de la tecnología WebVR

En este apartado se describen los hallazgos relacionados con las dimensiones que determinan la aceptación de la experiencia formativa utilizando el Virtual Campus.

3.1.1. Facilidad de uso

En esta dimensión se puede observar que los resultados son alentadores, en la figura 2 se observa que a la mayor parte de los alumnos les pareció que el entorno WebVR es fácil de utilizar para personalizar el avatar, instalar el software y adaptarse al uso de los comandos necesarios para moverse e interactuar en los espacios virtuales ($\bar{X} > 3,4$). Del mismo modo, los estudiantes coinciden en que su interacción con otros participantes fue clara y comprensible ($\bar{X} = 3,30$). No obstante, se evidencia que la experiencia en la capacitación para el uso del Virtual Campus fue satisfactoria, pero tiene algunas áreas de oportunidad ($\bar{X} = 3,24$), sin embargo, para los estudiantes no fue tan fácil desarrollar actividades interactivas utilizando las herramientas del Virtual Campus ($\bar{X} = 3,08$). Se toman en cuenta para estas afirmaciones el valor estándar de

Figura 2. Resultados de la dimensión de facilidad de uso



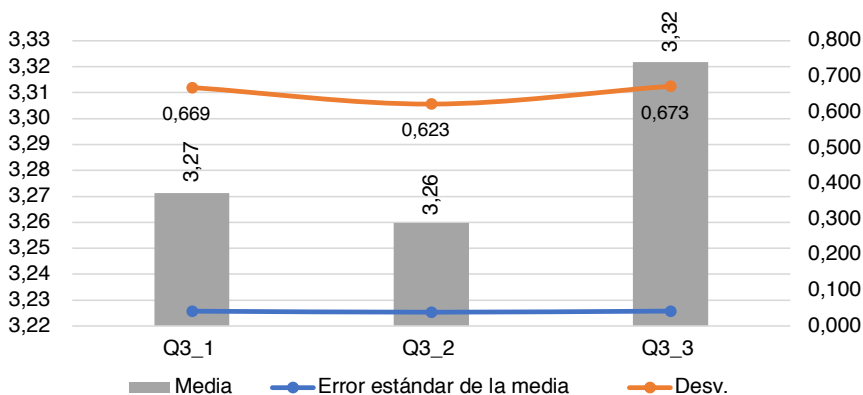
Fuente: elaboración propia.

la media (Standard Error of the Mean, SEM) ($SEM < 0,054$), que indica una estimación más precisa de la media de la población.

3.1.2. Utilidad percibida

Respecto a la utilidad percibida, en la figura 3 se muestra que existió una tendencia positiva que considera que las herramientas a las que tuvieron acceso los estudiantes les permitieron desarrollar de forma apropiada actividades de colaboración y trabajo en equipo ($\bar{X} = 3,32$). Las opiniones indican que no todos tuvieron afinidad por realizar trabajos colaborativos en el entorno de realidad virtual durante el desarrollo de la actividad pedagógica, y se reconocen estos hallazgos tomando en cuenta la dispersión de los datos con resultados $\sigma < 0,6$.

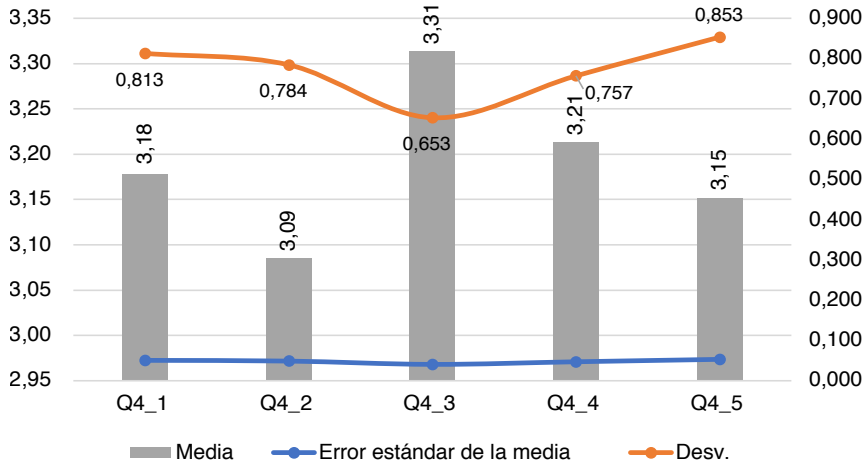
Figura 3. Resultados de la dimensión de utilidad percibida



Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Intención de uso

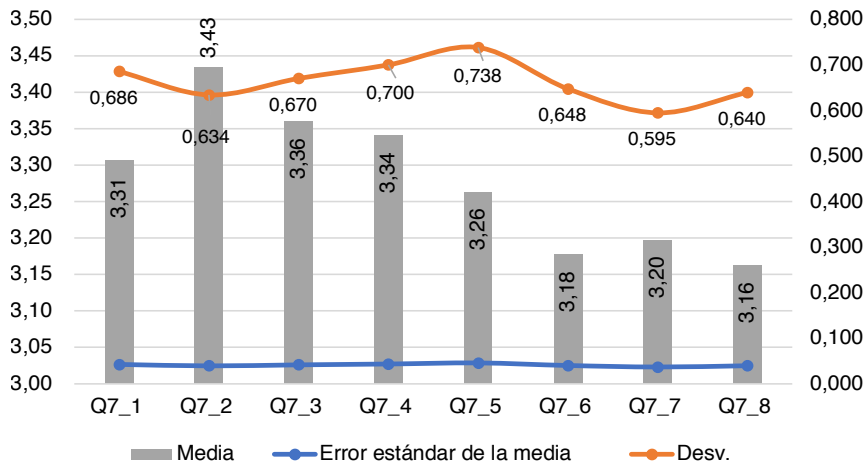
En la figura 4 se observa que en la categoría de intención de uso los estudiantes estuvieron de acuerdo que utilizar el Virtual Campus fue una buena alternativa para participar en algunas actividades formativas en el escenario de la enseñanza no presencial ($\bar{X} = 3,30$) y ($\sigma < 0,653$). Sin embargo, algunos no estuvieron de acuerdo respecto a utilizar la realidad virtual en el aprendizaje ($\bar{X} = 3,18$) ni tampoco para realizar actividades colaborativas ($\bar{X} = 3,09$), y ponen en duda su participación futura en el Virtual Campus para realizar actividades de manera no presencial ($\bar{X} = 3,21$). Los estudiantes no están tan de acuerdo en la afirmación de que participar en el Virtual Campus les haya permitido mejorar la socialización con otros participantes de la comunidad universitaria, como profesores, estudiantes y otros miembros e invitados ($\bar{X} = 3,15$). Estas conclusiones se obtienen tomando en cuenta los resultados de media y el valor alto de dispersión de los ítems vinculados a esta categoría de análisis ($\sigma < 0,750$).

Figura 4. Resultados de la dimensión de intención de uso

Fuente: elaboración propia.

3.1.4. Competencias

Uno de los resultados de mayor interés está relacionado con la oportunidad de mejorar las competencias de los estudiantes. En la figura 5 se observa que la mayor parte de ellos estuvo de acuerdo en que su participación en el Virtual Campus permite ampliar de mejor manera las competencias como transformación digital, que permite promover la cultura digital y utilizar tecnologías de vanguardia ($\bar{X} = 3,43$), así como ampliar sus conocimientos ($\bar{X} = 3,31$) y

Figura 5. Resultados de la dimensión de competencias

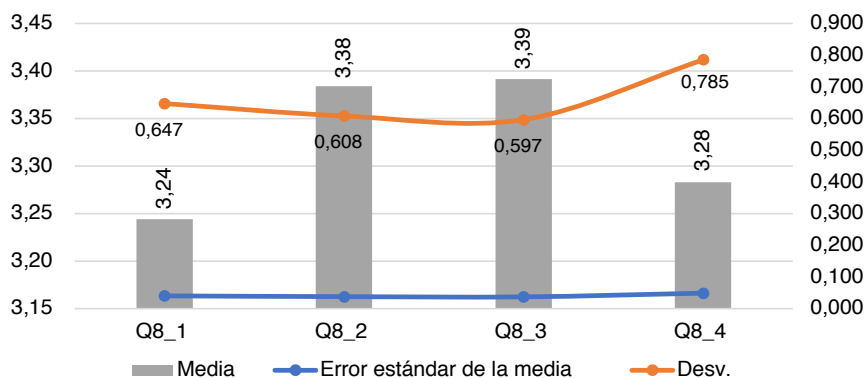
Fuente: elaboración propia.

sus competencias éticas y ciudadanas, como el reconocimiento y la empatía, la integridad, el compromiso para la transformación social ($\bar{X} = 3,36$) y el desarrollo del emprendimiento innovador ($\bar{X} = 3,34$). Por otra parte, se reconoce el común acuerdo respecto al aporte del uso del Virtual Campus al desarrollo del pensamiento sistémico, del pensamiento científico y del pensamiento crítico ($\bar{X} = 3,20$). Esta competencia transversal es la que menos dispersión refleja ($\sigma < 0,595$).

3.1.5. *Apreciación de espacios*

La última dimensión evaluada se refiere a la apreciación de la utilidad de los espacios en los que interactuaron los estudiantes durante su participación en el rally de pensamiento computacional. En la figura 6 se puede identificar que los lugares virtuales mejor posicionados son el Meeting Room ($\bar{X} = 3,39$), así como el Conference Hall ($\bar{X} = 3,38$), ya que son espacios en donde los alumnos pueden acceder a una simulación de recintos parecidos a las aulas físicas en las que están acostumbrados a trabajar con docentes y compañeros. El espacio virtual con una apreciación menos favorable es el Soccer Field ($\bar{X} = 3,24$), ya que, al parecer, los estudiantes tienen una mayor apreciación de este espacio como un área de convivencia y no como de aprendizaje.

Figura 6. Resultados de la dimensión de apreciación de espacios



Fuente: elaboración propia.

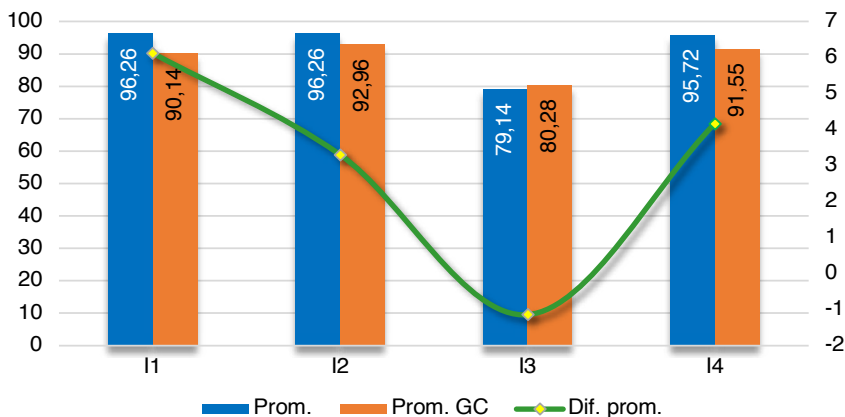
3.2. *Comparación de aprendizajes entre grupos*

En este apartado se muestra la comparación entre los resultados de los estudiantes que participaron en la experiencia de aprendizaje inmersivo y quienes lo hicieron en un entorno tradicional de enseñanza. Los hallazgos se muestran de acuerdo con las dimensiones del instrumento aplicado. En la figura 7 se pueden apreciar las diferencias de los promedios con respecto a problemas relacionados con la actividad de identificar la dirección correcta para llevar un

robot de un punto a otro, que corresponde a cuatro preguntas de secuencia en la prueba TPC (I1, I2, I3, I4). El grupo de implementación obtuvo un promedio total de un 92% de aciertos de los 187 estudiantes que aplicaron, mientras que el grupo de control obtuvo un promedio de un 88% de aciertos de 71 estudiantes que participaron. También puede apreciarse que la mayor diferencia entre los promedios se encuentra en el ítem 1, mientras que en el ítem 3 se observa que existe una diferencia negativa debido a que en el grupo experimental existieron más respuestas incorrectas, las cuales están relacionadas con el uso de programación por bloques para hacer girar un cuadro a una posición solicitada.

El valor de la prueba t es de 0,60783, mientras que el valor p es 0,28279, por lo que se concluye que el resultado no es significativo para $p < 0,05$. Lo anterior permite concluir que el uso de entornos virtuales no influyó de manera significativa para obtener un dominio conceptual alto de los componentes del PC para el grupo de implementación en comparación con el grupo de control.

Figura 7. Puntuaciones en la actividad de direcciones

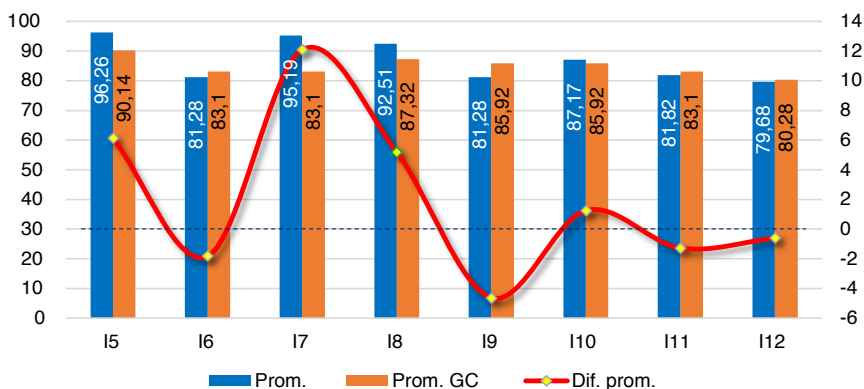


Fuente: elaboración propia.

De igual modo, en la figura 8 se presentan los resultados para la actividad de bucles, que corresponde a ocho preguntas de secuencia en la prueba TPC (I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12). El grupo de implementación obtuvo un promedio de un 87% de aciertos de los 187 estudiantes que aplicaron, mientras que el grupo de control obtuvo un promedio de un 85% de aciertos de 71 estudiantes que participaron. Se pueden apreciar las diferencias de promedios con respecto a la actividad de bucles, que consiste en repetir n veces un ciclo o bien hasta que se cumpla una condición. En los resultados de las pruebas estadísticas el valor t es de 0,76723 y p es de 0,227846, por lo que se puede afirmar que no existen diferencias significativas entre el grupo en el que

se implementó la experiencia mediada por la realidad virtual y en el que se aplicó la práctica docente presencial. En general se puede apreciar que si bien la mayor diferencia de promedios es favorable para el grupo que participó en el Virtual Campus (ítem 7 = 12,09), existen diferencias negativas para diversos ítems (ítem 6 = -1,82, ítem 9 = -4,63, ítem 11 = -1,28, ítem 12 = -0,6), lo que indica que, si bien algunos aprendizajes se fortalecen al desarrollar experiencias formativas en escenarios de realidad virtual, otros son mejor asimilados en entornos presenciales. Lo anterior permite concluir que el uso de entornos virtuales solo ayudó ligeramente a obtener un dominio conceptual medio alto del PC para el grupo de implementación en comparación con el grupo de control.

Figura 8. Puntuaciones en la actividad de bucles (repetir n veces y repetir hasta)



Fuente: elaboración propia.

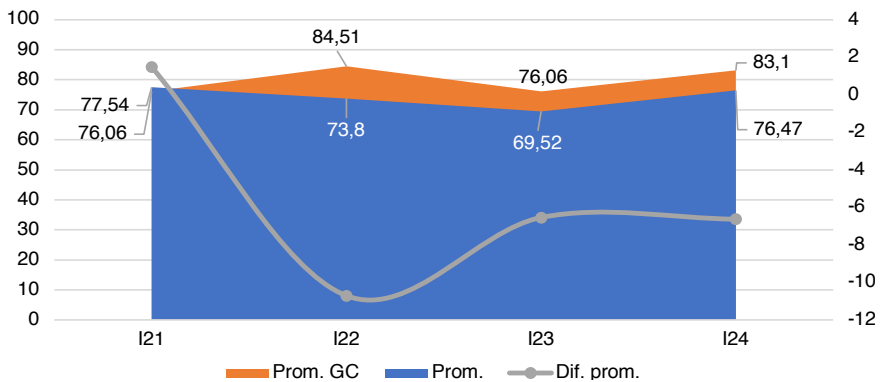
En la tabla 2 se muestran las diferencias de promedios en las actividades relacionadas con la comprensión de funciones condicionales *if/ if else*. El valor t es 1,33988 y p es 0,095173, lo cual no representa diferencias significativas. Sin embargo, en esta serie de actividades es en donde existen diferencias positivas más amplias (ítem 17 = 14,71, ítem 18 = 12,96, ítem 20 = 11,16) relacionadas con funciones condicionales compuestas. Los datos muestran que se mejoró el aprendizaje cuando los estudiantes estuvieron inmersos en un entorno de realidad virtual. Del mismo modo, en la tabla 3 se presentan los ítems correctos frente a los incorrectos para la actividad de funciones (*if/ if else*), correspondiendo a nueve preguntas de secuencia en la prueba TPC (I13, I14, I15, I16, I17, I18, I19, I20, I21). El grupo de implementación obtuvo un promedio de un 85% de aciertos de los 187 estudiantes que aplicaron, mientras que el grupo de control obtuvo un promedio de un 79% de aciertos de los 71 estudiantes que participaron. Lo anterior permite concluir que el uso de entornos virtuales sí ayudó a obtener un dominio conceptual medio alto del PC para el grupo de implementación en comparación con el grupo de control.

Tabla 2. Puntuaciones en la actividad de funciones *if / if else*

Ítems	Grupos implementación WebVR			Grupos de control			Dif. prom.
	Correctos	Incorrectos	Promedio	Correctos	Incorrectos	Promedio	
I13	174	13	93,05	66	5	92,96	0,09
I14	133	54	71,12	45	26	63,38	7,74
I15	170	17	90,91	63	8	88,73	2,18
I16	139	48	74,33	53	18	74,65	-0,32
I17	175	12	93,58	56	15	78,87	14,71
I18	177	10	94,65	58	13	81,69	12,96
I19	145	42	77,54	56	15	78,87	-1,33
I20	171	16	91,44	57	14	80,28	11,16
I21	145	42	77,54	54	17	76,06	1,48

Fuente: elaboración propia.

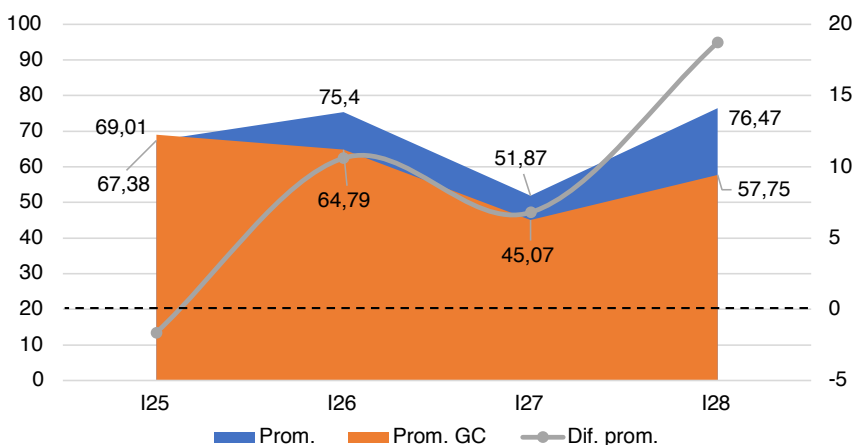
En cuanto al aprendizaje de funciones relacionadas con la repetición de un conjunto de operaciones hasta que se cumpla la condición especificada, en la figura 9 se aprecia que en los grupos en los que se realizaron actividades presenciales existió un mejor desempeño de los estudiantes en la actividad de funciones (*while*), correspondiendo a cuatro preguntas de secuencia en la prueba TPC (I21, I22, I23, I24). El grupo de implementación obtuvo un promedio de un 74% de aciertos de los 187 estudiantes que aplicaron, mientras que el grupo de control obtuvo un promedio de un 80% de aciertos de 71 estudiantes que participaron. Se encontraron diferencias significativas, ya que el valor t es de $-1,94692$, mientras que p es $0,049741$. Lo anterior invita a reflexionar acerca de las oportunidades de mejora en el diseño instruccional de la experiencia llevada a cabo en el Virtual Campus relacionada con el diseño de algoritmos.

Figura 9. Puntuaciones en la actividad de funciones *while*

Fuente: elaboración propia.

En la figura 10 se aprecian las diferencias de promedios relacionadas con la resolución de problemas que implican el uso de funciones simples (ítems I25, I26, I27, I28), es decir, en donde el estudiante debe analizar estructuras de repetición para realizar una instrucción de forma adecuada. El grupo de implementación obtuvo un promedio de un 68% de aciertos de los 187 estudiantes que aplicaron, mientras que el grupo de control obtuvo un promedio de un 59% de aciertos de 71 estudiantes que participaron. No se encontraron diferencias significativas, ya que el valor t es 1,11651 y p es 0,153456. Se resalta una diferencia positiva amplia en los ítems 25 y 28, los cuales consisten en usar repeticiones. Lo anterior permite concluir que el uso de entornos virtuales no ayudó a obtener un mejor dominio conceptual del PC para el grupo de implementación en comparación con el grupo de control.

Figura 10. Puntuaciones en la actividad de funciones simples

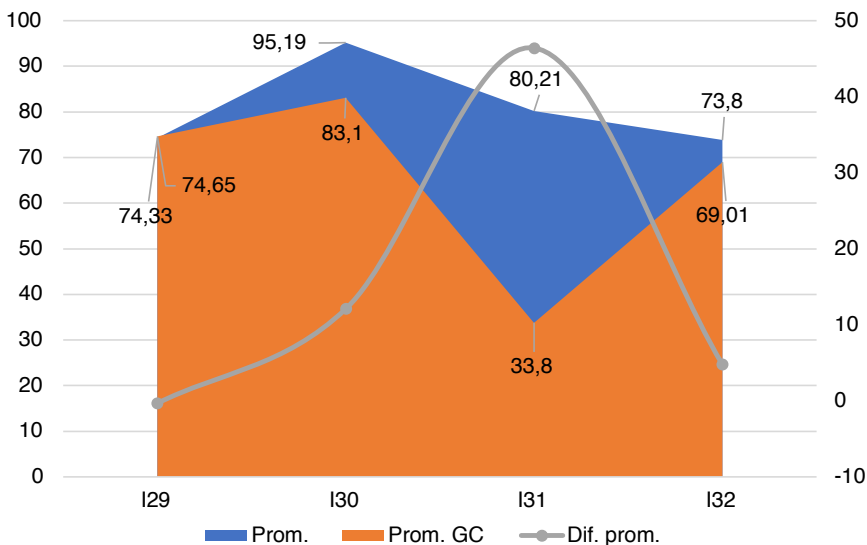


Fuente: elaboración propia.

Finalmente, en la figura 11 se muestran las diferencias de promedios de las respuestas de los estudiantes al combinar el uso de funciones de repetición con estructuras condicionales, así como de tipo *while*, correspondiendo a cuatro preguntas de secuencia en la prueba TPC (I29, I30, I31, I32). El grupo de implementación obtuvo un promedio de un 81% de aciertos de los 187 estudiantes que aplicaron, mientras que el grupo de control obtuvo un promedio de un 65% de aciertos de 71 estudiantes que participaron. Lo anterior permite concluir que el uso de entornos virtuales ayudó a obtener un mejor dominio en nivel medio conceptual del PC para el grupo de implementación en comparación con el grupo de control. En este apartado la mayoría de los promedios favorecen a la experiencia de aprendizaje basada en el entorno de realidad virtual, incluso existe la brecha de promedio más alta entre las puntuaciones correctas e incorrectas (ítem 31 = 46,41) y está relacionada con la resolución

de problemas con base en el diseño de secuencias algorítmicas. La única diferencia negativa es débil (ítem 29 = 0,32). Sin embargo, nuevamente no se observan diferencias significativas entre ambos grupos ($t = 1,31937$; $p = 0,117578$).

Figura 11. Puntuaciones en la actividad de funciones complejas



Fuente: elaboración propia.

Con el análisis de los datos anteriores se puede afirmar que el rally de pensamiento computacional desarrollado en el entorno de WebVR contribuyó de manera favorable a desarrollar el aprendizaje de los estudiantes, debido a que las diferencias de promedios fueron en su mayoría favorables en cada una de las actividades realizadas. Además, se apreciaron diferencias significativas que indican que la experiencia virtual no debería ser replicada sin antes hacer una revisión del diseño instruccional, así como de la selección de herramientas utilizadas en la plataforma WebVR.

4. Discusión

El pensamiento computacional es una de las habilidades que deben desarrollar los estudiantes para poder afrontar de forma exitosa los ecosistemas educativos constantemente cambiantes. De acuerdo con González y Ramírez (2022) existe una relación favorable al aplicar los componentes de la Educación 4.0 tales como las aplicaciones de realidad virtual con el desarrollo del pensamiento computacional, en particular con el diseño de algoritmos. Como se observó en los resultados, utilizar herramientas educativas como la realidad virtual

permite fortalecer los conocimientos de los estudiantes para resolver favorablemente dificultades relacionadas con la identificación de patrones, la descomposición de problemas y el diseño de algoritmos. Sin embargo, no se debe dejar de señalar que los escenarios inmersivos no siempre son la mejor opción para llevar a cabo algunas actividades que requieren de un acompañamiento más cercano por parte del docente. Al término de la implementación de la experiencia de aprendizaje, no solamente se generó una estrategia de enseñanza disruptiva, sino que también se fortalecieron competencias relacionadas con la transformación educativa, ya que el interactuar en espacios simulados facilita ubicar al participante en entornos de toma de decisiones.

Por otra parte, el uso del Virtual Campus como una herramienta de aprendizaje es bien aceptada por parte de los estudiantes. Al observar las respuestas de la encuesta para determinar la aceptación de la experiencia formativa utilizando el Virtual Campus se pudo notar que los estudiantes perciben que no requieren de esfuerzos extraordinarios para poder interactuar en el entorno virtual y perciben que el realizar actividades de aprendizaje en este campus mejoraría su desempeño. Al respecto, Fuentes et al. (2019) mencionan que los procesos educativos eventualmente tendrán que migrar a entornos enriquecidos por tecnologías inmersivas, en los que no solamente se favorecerá el desarrollo de competencias disciplinares, sino también el pensamiento crítico y las competencias digitales. Ante esta realidad, las instituciones educativas deberán estar preparadas para incorporar como parte de sus pedagogías modelos de intervención que hagan uso de realidades extendidas como la realidad virtual o la realidad inmersiva.

Si bien el uso de la tecnología WebVR como aplicación para el desarrollo de experiencias formativas ya tiene un largo camino recorrido, es necesario diseñar estrategias de aprendizaje que permitan explotar al máximo su capacidad para crear entornos formativos en los que la inmersión permita fortalecer competencias comunicativas y digitales, así como el pensamiento crítico. El estudio evidenció que existió una diferencia significativa en el aprendizaje de funciones relacionadas con repetir un conjunto de operaciones hasta que se cumpla la condición especificada. Lo anterior lleva a reflexionar que, aunque los entornos de aprendizaje virtuales promueven aspectos como la innovación, la creación y la cooperación, siempre es necesario que los contenidos y los diseños pedagógicos acompañen a las intervenciones tecnológicas (Piazza y Mengual, 2020).

5. Conclusiones

La realidad virtual es una herramienta que puede aportar mejoras al proceso de enseñanza-aprendizaje, la revisión de la literatura indica que su implementación en entornos escolares ha sido exitosa, debido a que permite construir escenarios simulados donde estudiantes y profesores cuentan con un entorno controlado de inmersión para la formación, la sensibilización y la evaluación de competencias y habilidades. Los hallazgos de este estudio muestran que

existen contribuciones viables de la realidad virtual para generar estrategias de enseñanza innovadoras.

El uso de la WebVR permite complementar de forma exitosa los procesos formativos de los estudiantes. En particular, la utilización de los espacios virtuales logra mejorar competencias relacionadas con el pensamiento complejo y con las habilidades comunicativas. Por otra parte, brinda tanto a docentes como a alumnos la posibilidad de experimentar la sensación de presencialidad simulada, el desplazamiento en 3D y la interacción con múltiples copartícipes.

Uno de los hallazgos más importantes está relacionado con la formación de las competencias de pensamiento para la complejidad y la comunicación. La percepción de los estudiantes muestra que al participar en un entorno simulado se pueden generar dinámicas que requieren de una mayor concentración y toma de decisiones, por otra parte, se debe destacar que los alumnos expresaron opiniones mayormente positivas en cuanto a la realización de las actividades dentro del campus virtual, puesto que son divertidas y útiles para el aprendizaje y para mejorar la interacción mediante entornos de socialización simulados y disruptivos.

Respecto a las limitaciones del estudio, en la experiencia llevada a cabo no se utilizaron dispositivos plenos de realidad virtual tipo Oculus, sino los equipos de cómputo que tuvieron disponibles los participantes, lo que originó que algunos de ellos no pudieran expresar su opinión respecto al aprendizaje mediado por realidad virtual. Así mismo, la muestra considerada se acotó a estudiantes de bachillerato, por lo que es recomendable replicar la experiencia en otros contextos con el fin de comparar los resultados. En cuanto a la prospectiva de la investigación, se sugiere diseñar la experiencia de aprendizaje con el Virtual Campus de forma segmentada, es decir, para desarrollar actividades tanto de aprendizaje como de socialización, con el fin de no provocar prácticas rutinarias que mitiguen su aceptación. Futuras líneas de investigación podrían incorporar otras tecnologías emergentes similares a la WebVR, incrementar el número de participantes en el estudio, seleccionar otros enfoques o diseños metodológicos e integrar diferentes técnicas didácticas.

Referencias bibliográficas

- ALMEIDA, F. y SIMOES, J. (2019). The role of serious games, gamification, and Industry 4.0 tools in the Education 4.0 paradigm. *Contemporary Educational Technology*, 10(2), 120-136. <<https://doi.org/10.30935/cet.554469>>
- ÁNGEL, C., SEGREDO, E., ARNAY, R. y LEÓN, C. (2020). Simulador de Robótica Educativa para la promoción del Pensamiento Computacional. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 20(63). <<https://doi.org/10.6018/red.410191>>
- ATTIENO, L., BAAFI, R. y MARTA, T. (2020). Are computational thinking skills measurable?: An analysis. *Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings*, 2650, 12-23. <<http://ceur-ws.org/Vol-2650/paper2.pdf>>.

- CRANFORD, S. (2020). Zoom fatigue, hyperfocus, and entropy of thought. *Matter*, 3(3), 587-589.
<<https://doi.org/10.1016/j.matt.2020.08.004>>
- CRESWELL, J. y CRESWELL, D. (2017). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. Sage.
- EBNER, N. y GREENBERG, E. (2020). Designing binge-worthy courses: Pandemic pleasures and COVID-19 consequences. *Negotiation Journal*, 36(4), 535-560.
<<https://doi.org/10.1111/nej.12339>>
- FUENTES, A., LÓPEZ, J. y POZO, S. (2019). Análisis de la Competencia Digital Docente: Factor Clave en el Desempeño de Pedagogías Activas con Realidad Aumentada. *REICE: Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 17(2), 27-42.
<<https://doi.org/10.15366/reice2019.17.2.002>>
- GARCÍA, A. y CABALLERO, Y. (2019). Robótica para desarrollar el pensamiento computacional en Educación Infantil. *Comunicar: Revista Científica Iberoamericana de Comunicación y Educación*, 27(59), 63-72.
<<https://doi.org/10.3916/C59-2019-06>>
- GONZÁLEZ, C. (2019). Estado del arte en la enseñanza del pensamiento computacional y la programación en la etapa infantil. *Education in the Knowledge Society*, 20, 1-15.
<https://doi.org/10.14201/eks2019_20_a17>
- GONZÁLEZ, L. y RAMÍREZ, M. (2022). Components of Education 4.0 in 21st Century Skills Frameworks: Systematic Review. *Sustainability*, 14, 1493.
<<https://doi.org/10.3390/su14031493>>
- GROVER, S. y PEA, R. (2017). *Computational Thinking: A competency whose time has come*. En S. SENTENCE, E. BARENDSEN y C. SCHULTE, *Computer science education: Perspectives on teaching and learning in school*. Bloomsbury Academic.
- GUTIÉRREZ, Y., BUSTAMANTE, R., NAVARRO, S., LÓPEZ, A., MOLINA, A. y ÁLVAREZ, I. (2021). A Challenge-Based Learning Experience in Industrial Engineering in the Framework of Education 4.0. *Sustainability*, 13(17), 9867.
<<https://doi.org/10.3390/su13179867>>
- HAHN, J. F. (2018). Virtual reality learning environments: Development of multi-user reference support experiences. *Information and Learning Science*, 119(11), 652-661.
<<https://doi.org/10.1108/ILS-07-2018-0069>>
- KHAKIMOVA, A., YANG, X., ZOLOTAREV, O., BERBEROVA, M. y CHARNINE, M. (2020). Tracking Knowledge Evolution Based on the Terminology Dynamics in 4P-Medicine. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(20), 7444.
<<http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17207444>>
- MASDOKI, M. y DIN, R. (2021). Teaching 4.0 Competency in Higher Learning Institutions: A Systematic Mapping Review. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 20(10).
<<https://doi.org/10.26803/ijlter.20.10.12>>
- MIRANDA, J., NAVARRETE, C., NOGUEZ, J., MOLINA, J., RAMÍREZ, M., NAVARRO, S., BUSTAMANTE, R., ROSAS, J. y MOLINA, A. (2021). The core components of education 4.0 in higher education: Three case studies in engineering education. *Computers & Electrical Engineering*, 93, 107278.
<<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107278>>
- MORA, C., ROJAS, A. y MEJÍA, C. (2020). An immersive experience in the virtual 3D VirBELA environment for leadership development in undergraduate students

- during the COVID-19 quarantine. *Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings*, 2714, 42-52. <http://ceur-ws.org/Vol-2714/icaiw_aiesd_2.pdf>.
- NERONI, M., OTI, A. y CRILLY, N. (2021). Virtual Reality design-build-test games with physics simulation: Opportunities for researching design cognition. *International Journal of Design Creativity and Innovation*, 9(3), 13973. <<https://doi.org/10.1080/21650349.2021.1929500>>
- NOGUEZ, J., NERI, L., ROBLEDI, V., GARCÍA, R., GONZALEZ, A., ESCOBAR, D. y MOLINA, A. (2021). VIS-HAPT: A Methodology Proposal to Develop Visuo-Haptic Environments in Education 4.0. *Future Internet*, 13(10), 255. <<https://doi.org/10.3390/fi13100255>>
- ORTEGA, B. y ASENSIO, M. (2018). DIY robotics: Computational thinking-based patterns to improve problem solving. *Revista Latino Americana de Tecnología Educativa-Relatec*, 17(2), 129-143. <<https://doi.org/10.17398/1695-288X.17.2.129>>
- PIAZA, A. y MENGUAL, S. (2020). Computational thinking and coding in primary education: Scientific productivity on SCOPUS. *Pixel-Bit: Revista de Medios y Educación*, 59, 147-181. <<https://doi.org/10.12795/pixelbit.79769>>
- RADIANTI, J., MAJCHRZAK, T., FROMM, J. y WOHLGENANT, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778. <<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>>
- ROCHA, F., RUIZ, A., GEORGE, C. y GLASSERMAN, L. (2022). Evaluation of a Virtual Campus adapted to WebVR Spaces: Assessments of teachers and students. *Frontiers in Education*, 7, 918125. <<https://doi.org/10.3389/educ.2022.918125>>
- ROMÁN, M., PÉREZ, J. y JIMÉNEZ, C. (2017). Which cognitive abilities underlie computational thinking?: Criterion validity of the Computational Thinking Test. *Computers in Human Behavior*, 72, 678-691. <<https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.08.047>>
- ROSE, S., HABGOOD, J. y JAY, T. (2017). An exploration of the role of visual programming tools in the development of young children's computational thinking. *Electronic Journal of E-Learning*, 15(4), 297-309. <<https://eric.ed.gov/?id=EJ1154629>>.
- SHIREY, K. y CHANDRAMOULI, M. (2021). Work in progress pilot study: Virtual reality for computational thinking foundations and STEM enrichment. *Paper presented at the ASEE Annual Conference and Exposition*. <<https://peer.asee.org/38113>>.
- SUKIRMAN, S., IBHARIM, L., SAID, C. y MURTIYASA, B. (2022). A strategy of learning computational thinking through game based in virtual reality: Systematic review and conceptual framework. *Informatics in Education*, 21(1), 179-200. <<https://doi.org/10.15388/infedu.2022.07>>
- VIDEVA, J., MARCHIORI, E. y CANTONI, L. (2019). Assessing usability and user experience of immersive web VR platforms for tourism destinations. *e-Review of Tourism Research*, 17(2). <<https://journals.tdl.org/ertr/index.php/ertr/article/view/509>>.
- VOROBYEVA, D. V., LEUKHIN, A. D. y KUGURAKOVA, V. V. (2017). Vr & Web Gui Shell: Interactive Web-System for Virtual Reality. *Revista Publicando*, 4(13-2), 542-554. <<https://revistapublicando.org/revista/index.php/crv/article/view/914>>.
- VUORIKARI, R., VELICU, A., CHAUDRON, S., CACHIA, R. y DI GIOIA, R. (2020). How families handled emergency remote schooling during the Covid-19 lockdown in

- spring 2020. *Publications Office of the European Union*. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC122303/remote_schooling_families_summary.pdf>.
- WING, J. (2006). Computational thinking: It represents a universally applicable attitude and skill set everyone, not just computer scientists, would be eager to learn and use. *Communications of the ACM*, 49(3). <<https://doi.org/10.1109/vlhcc.2011.6070404>>
- XIA, J., XIAO, B., LI, D. y WANG, K. R. (2018). Improvement of virtual EAST system based on WebVR. *Fusion Engineering and Design*, 127, 267-274. <<https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2018.01.024>>
- YE, Q., HU, W., ZHOU, H., LEI, Z. y GUAN, S. (2018). VR interactive feature of HTML5-based WebVR control laboratory by using head-mounted display. *International Journal of Online Engineering*, 14(3), 20-33. <<https://doi.org/10.3991/ijoe.v14i03.8112>>