

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO 2022/2023

Potencial del Uso de los Metaversos en Educación Nivel Secundario y STEM

Alumno/a: **Jose F. Rodríguez Cañete**

Tutor/a: **Belkis Yeninfer Lara Rodríguez**

Modalidad: Revisión Sistemática

Especialidad: Tecnología

Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación
Secundaria Obligatoria, Bachillerato, Formación Profesional, Enseñanza de
Idiomas y Enseñanzas Deportivas

UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

RESUMEN

En el presente trabajo de fin de máster, se investiga la existencia de un interés real en utilizar las tecnologías tipo metaverso en las enseñanzas de Nivel Secundario (NS), que incluyen ESO, Bachillerato y Formación Profesional hasta grado medio, según definición del European Centre for the Development of Vocational Training (CEDEFOP, 2021), y en las asignaturas relacionadas con las STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics).

Para ello, se realizó una revisión sistemática con la que cuantificar y cualificar la producción científica de los últimos diez años. Tras examinar aquellos artículos que analizan el uso de los metaversos en la educación, se seleccionaron los que incluyen NS y STEM, y se analizó los posibles beneficios de estas tecnologías en la enseñanza, y si su uso en STEM puede potenciar el interés de los alumnos en las materias y los estudios superiores asociados. Además, se investigó la existencia de implantaciones reales de estas tecnologías en centros educativos.

Como se detallará más adelante, la producción científica ha sido continua durante los últimos 10 años, con altibajos producidos especialmente por la aparición de nuevas tecnologías, y con un repunte especial a partir del año 2020. Del estudio de los artículos analizados, se concluye que se producen mejoras por el uso de metaversos en la enseñanza, sobre todo cuando se aplica un enfoque mixto que combina su uso con metodologías más tradicionales, además de un aumento del interés de los alumnos por las STEM, especialmente en ciertas condiciones. No obstante, no se han encontrado implantaciones permanentes de estas tecnologías en centros educativos, más allá de algún piloto en fase de desarrollo.

Aunque hace más de 30 años que se empezó a hablar de los metaversos y ya se emplean en muchos sectores, aún parece lejano su uso regular en el mundo de la educación. Para que estas tecnologías estén disponibles para la mayor parte de la población, será necesario nuevos desarrollos que reduzcan los precios y la complejidad y nuevas investigaciones que muestren como deben usarse.

Palabras clave: Metaverso, educación, Nivel Secundario, STEM, motivación.

ABSTRACT

This dissertation, undertaken as the final project for a master's degree, thoroughly investigates the veracity of interest in employing metaverse-like technologies within Secondary Level education. This domain encompasses ESO, Baccalaureate, and Vocational Training up to an intermediate level, as stipulated by CEDEFOP (2021). The exploration further extends to utilizing these technologies within STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) disciplines.

To lay a solid empirical foundation, a systematic review of germane literature was initiated, the intent being to both quantify and qualify the scholarly contributions over the past decade. Following rigorous scrutiny of articles discussing the incorporation of metaverses in education, those intersecting Secondary Level education and STEM were set apart. An exhaustive analysis was then undertaken to determine these technologies' potential advantages for pedagogical practices and to evaluate the hypothesis that their use within STEM might feasibly bolster student engagement and their subsequent pursuit of higher education. In tandem, an investigation was initiated to ascertain any tangible implementations of these technologies within educational institutions.

The comprehensive account provided herein illustrates the unbroken evolution of scientific production over the past ten years. It showcases the variances primarily influenced by the emergence of cutting-edge technologies and a marked upswing following the year 2020. Upon careful evaluation of the reviewed articles, the conclusion drawn posits that including metaverses in education yields noticeable improvements, mainly when an integrated approach, combining their use with more traditional methodologies, is employed. This approach also leads to a heightened interest in STEM amongst students, particularly under certain circumstances. However, the quest for the sustained deployment of these technologies within educational institutions bore little fruit, aside from a few developmental stage pilots.

Although metaverse-related discourse has been widespread for over three decades, and these technologies have found applications in a plethora of sectors, their regular employment within the educational sector remains largely a future possibility.

To bring these technologies within reach of a more significant portion of the population, innovative advancements aimed at reducing cost and complexity are of the essence, in addition to research initiatives that clarify on optimal usage practices.

Key words: Metaverse, education, Secondary Level, STEM, motivation.

ÍNDICE

Resumen	II
Abstract.....	III
Índice	V
1. Introducción	1
1.1. Justificación del tema	1
1.2. Definición del problema de investigación	4
2. Marco teórico	5
2.1. Marco contextual	5
2.2. Marco legal.....	5
2.3. Desarrollo teórico y científico de la cuestión	7
2.4. Principales líneas de investigación	11
3. Metodología	16
3.1. Objetivos	16
3.2. Metodología de investigación y procedimiento.....	16
3.2.1. Estrategias de búsqueda.....	17
3.3. Criterios de elegibilidad	18
3.4. Diagrama de flujo	19
4. Resultados.....	21
4.1. Producción científica sobre el potencial de uso de Metaversos	23
4.1.1. Producción Científica en Función del Tiempo	23
4.1.2. Distribución geográfica de la producción científica	25
4.2. Potenciales mejoras por el uso de metaversos.....	27

4.3. Determinar el uso de metaversos en NS y STEM.....	27
4.3.1. Tipo de proyectos desarrollados en las investigaciones	29
4.4. El uso de metaversos y el interés de los alumnos en STEM.....	30
5. Discusión	32
5.1. Producción científica sobre el potencial de uso de Metaversos	32
5.1.1. Producción Científica en Función del Tiempo	32
5.1.2. Distribución geográfica de la producción científica	33
5.2. Potenciales mejoras por el uso de metaversos.....	34
5.3. Determinar el uso de metaversos en NS y STEM.....	35
5.4. El uso de metaversos y el interés de los alumnos en STEM.....	38
6. Conclusiones	39
7. Referencias bibliográficas.....	41
7. Anexo I.....	49

1. INTRODUCCIÓN

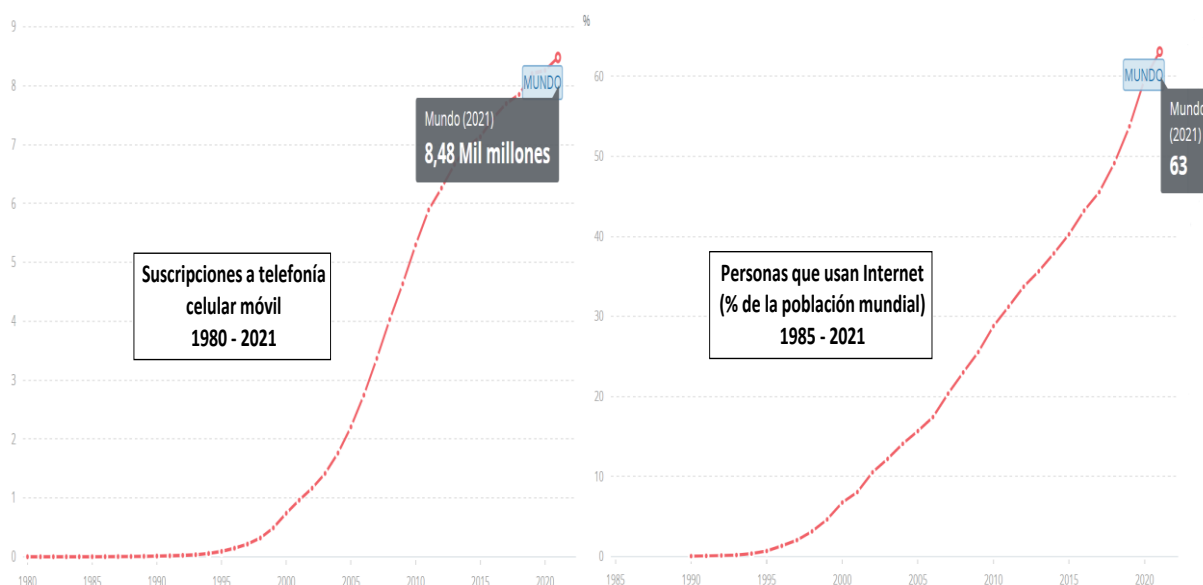
En el presente trabajo fin de máster (TFM), se realiza una revisión sistemática sobre el interés existente en el potencial de uso de los metaversos en NS y en las asignaturas relacionadas con las llamadas STEM, para las que, en este documento, se mantendrá la denominación en inglés STEM, debido a su amplia difusión. También se analizará el nivel de implantación de estas tecnologías en centros educativos.

1.1. Justificación del tema

La popularización del uso de las TIC en la sociedad evolucionó conforme nuevas tecnologías se desarrollaban y bajaban sus precios hasta, inicialmente, estar al alcance de una parte importante de la población de los países más industrializados. Actualmente, miles de millones de personas de gran parte de los países del mundo tienen acceso a las TIC, como puede verse en las estadísticas provenientes del Informe sobre el Desarrollo de las Telecomunicaciones/TIC de 2022 de la Figura 1 (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2022).

Figura 1

Evolución de la telefonía móvil y las personas que usan Internet hasta 2021.



Fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones

La progresiva popularización de las TIC ha puesto al alcance de la población una alta capacidad de cómputo y velocidad de conexión a la red, proporcionando acceso a gran cantidad de datos e información y con pocas limitaciones geográficas.

Estos avances tecnológicos han supuesto un cambio significativo en la forma en la que los jóvenes tratan de acercarse al conocimiento. Hoy día rara vez acuden a libros en busca de información, en su lugar acceden a vídeos de Internet que muchas veces son de dudosa calidad.

Al mismo tiempo, mientras los jóvenes utilizan las TIC desde muy pequeños, se produce una falta de estudiantes de STEM, y no sólo en España. Por ejemplo, en EE.UU., en los últimos años, se ha hablado mucho sobre esta necesidad en artículos como el de Zeidler (2016).

En este contexto, en el que los llamados nativos digitales están ya en la universidad, y en el que se ha pasado por una pandemia que ha impulsado de diferentes modos la educación a distancia, la continua evolución de las tecnologías está llevando al que podría ser el siguiente paso en la evolución de Internet y de la forma de educar, los metaversos (Onggirawan et al., 2023).

Los metaversos ya se utilizan actualmente en muchas áreas de la sociedad, con ejemplos en el comercio, con tiendas por Internet donde previsualizar como queda la ropa, en la industria, con simuladores en las agencias espaciales o en los ejércitos, en Sanidad, con sus múltiples usos en medicina y de forma incipiente en la educación (Firdus et al., 2023).

En el caso concreto del sector de la educación, e impulsado por la pandemia del COVID-19, en los últimos años se ha producido un aumento significativo en el desarrollo de entornos de aprendizaje virtual (Virtual Learning Environments), donde los metaversos tienen un gran potencial (López-Belmonte et al., 2022).

Por otro lado, en Wu et al. (2020) donde se realizó una revisión sistemática de literatura, comparando el aprendizaje utilizando realidad virtual (RV) y gafas virtuales y el aprendizaje tradicional, se considera que estas tecnologías tienen efectos positivos en los alumnos, mejorando sus conocimientos y su desarrollo de

habilidades, aunque también reconoce que el aprendizaje mediante este tipo de tecnologías está todavía en sus inicios.

Otros estudios apoyan similares conclusiones (Anaconda et al., 2019; George Reyes, 2020; V. Mikhailova, 2019), cada uno explorando diferentes aspectos de la educación, pero coincidiendo en que la educación basada en estas tecnologías ofrece ventajas y mejoran el rendimiento de los alumnos frente a la educación tradicional.

Por todo lo anterior, tiene sentido preguntarse:

- ¿Hay interés real en avanzar en estas tecnologías, para su uso masivo en el mundo de la educación?
- ¿Realmente el uso de metaversos ofrece ventajas y mejoras frente a la educación sin ellos?
- Puesto que parece ser necesario tener más estudiantes de STEM, ¿se está impulsando el uso de metaversos en este tipo de estudios?
- Dados los interrogantes sobre el nivel de maduración de estas tecnologías, ¿hay ya metaversos operando en centros educativos de NS y cómo se espera que evolucionen en el futuro?
- ¿Cuál es la situación en España y en el resto del mundo?

Tener la mejor educación posible es un objetivo clave de cualquier sociedad, ya que el futuro de ella depende directamente de la formación que reciban sus jóvenes, como se ve reflejado en el 4º Objetivo para una Educación de Calidad, de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015). Por ello, si existe la posibilidad de que el uso de metaversos mejore la calidad del sistema educativo de España es necesario conocer, en este mundo que está cambiando tecnológicamente con tanta rapidez, cuál es su nivel de implantación actual y su posible evolución. También se debe conocer la situación en otros países, para poder planificar las acciones necesarias para que la educación en nuestro país no solo sea de calidad, sino que además no se quede desfasada con respecto a los demás.

Con este documento se pretende responder a las cuestiones anteriores, para lo que, en primer lugar, se analizará cual es el interés de la comunidad científica y de la

educativa en el desarrollo e implantación de forma masiva de metaversos en los centros educativos. Para ello, se analizará el volumen de textos científicos que han tratado estos temas en los últimos años, teniendo el foco en las etapas de NS y en STEM.

También se revisará la existencia de iniciativas reales de implantación de estas tecnologías en centros educativos en NS, analizando los resultados por países, y distinguiendo entre aquellas iniciativas que lo hacen como un piloto o un proyecto limitado en el tiempo, de aquellas que lo implementan como una herramienta de aprendizaje de uso permanente.

1.2. Definición del problema de investigación

En los últimos años se han publicado bastantes artículos sobre la evolución de los metaversos y su relación con la educación, buena parte de los cuales se citan en este documento, aunque dados los continuos cambios, se hace obligado preguntarse cuál es realmente la situación actual y cual puede ser su evolución futura.

Para responder a todo ello, se ha realizado esta revisión sistemática donde se ha tratado de dar respuesta a las cuestiones planteadas. Se ha tratado de clarificar si actualmente hay un interés real en seguir desarrollando los metaversos para su uso en educación; si se están realizando experiencias prácticas de implantación de metaversos en centros educativos, de forma temporal o permanente; si se están haciendo esfuerzos para promover las STEM y todo ello comparando la situación en España y fuera de ella.

En este contexto, se hace necesario definir algunas cuestiones, que sirvan de guía para la elaboración de este trabajo: ¿se hace mención a la educación y a los metaversos?, ¿se incluyen las etapas de NS?, ¿se incluyen STEM?, ¿El uso de estas tecnologías es un avance por las mejoras que produce?, ¿El uso de Metaversos en STEM puede potenciar el interés de los alumnos en estas materias? ¿hay experiencias prácticas con metaversos?, ¿estas actividades son puntuales o permanentes?, ¿en qué países?, ¿en qué años?

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco contextual

Este estudio, responde al trabajo final del Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria, Bachillerato, Formación Profesional, Enseñanza de Idiomas y Enseñanzas Deportivas, en la especialidad de Tecnología.

2.2. Marco legal

En la actualidad, no existe en España una ley específica que regule los metaversos y la educación. Sin embargo, como se verá a continuación, si hay legislación que pueden aplicarse de forma parcial, ya que incluye leyes que regulan situaciones asociadas a la utilización de tecnologías relacionada con los metaversos y la educación. La creación de una regulación al respecto se considera necesaria y urgente, en especial porque afecta a entornos educativos y a menores de edad.

Tras la presentación pública en 2020 de la llamada Agenda España Digital 2025 (Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital de España, 2020), que incluía 50 medidas con las que dar impulso a procesos de transformación digital hasta el año 2025, de acuerdo a la estrategia digital de la Unión Europea, en 2021 y en cumplimiento de uno de sus mandatos, se presentó La Carta de Derechos Digitales, que si bien no tiene carácter normativo, si pretende establecer un marco de referencia para el desarrollo de leyes que garanticen los derechos de los ciudadanos dentro de la nueva realidad digital (Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital de España, 2021).

Se verá a continuación algunas leyes que pueden aplicarse parcialmente:

La Ley de Propiedad Intelectual (Ley 1/1996), puede aplicarse a los contenidos creados en los metaversos, como los avatares, objetos virtuales y otros elementos que puedan estar protegidos por derechos de autor.

La Ley Orgánica de Protección de Datos y Garantía de Derechos Digitales (Ley Orgánica 3/2018) puede aplicarse en lo que se refiere a la privacidad y protección de datos personales en el contexto de los metaversos.

En cuanto a la educación, la LOMLOE (Ley Orgánica 3/2020), establece las normas básicas del sistema educativo, y puede aplicarse en el contexto de la educación a distancia, incluyendo la educación que se imparte con metaversos.

La Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico (Ley 34/2002) y la Ley de Trabajo a Distancia (Ley 10/2021), que regulan temas relacionados con la provisión y pago de servicios necesarios para dar a los estudiantes acceso en línea a los metaversos.

La Ley de Protección Integral a la Infancia y la Adolescencia frente a la Violencia (Ley Orgánica 8/2021), establece normas para la creación de entornos digitales seguros donde se garanticen los derechos digitales, así como el derecho a la plena inserción del alumnado en la sociedad digital y el aprendizaje de los medios digitales.

Los metaversos son un fenómeno relativamente nuevo y en continua evolución, y será necesario que en el futuro se desarrollen leyes y regulaciones específicas para avanzar en su uso y aplicación en los distintos ámbitos de la sociedad, incluyendo la educación.

Con relación a otros países, en la mayor parte del mundo el desarrollo de leyes que regulen la existencia de metaversos y su relación con la educación es inexistente o tiene escasos avances. Por ejemplo, en Kye et al. (2021) indicaban que, si bien el metaverso se esperaba que creciera rápidamente durante y después de la pandemia del Covid-19, también hay factores de riesgo que no están convenientemente regulados y, en Mustafa y Knan (2022), se menciona que en la región de Jammu y Cachemira de la India, hay un gran potencia de mejora en la educación asociado a la implantación de metaversos, por lo que se propone su uso de forma generalizada en las escuelas públicas, y hace mención a que el gobierno deberá elaborar las leyes requeridas para el mundo virtual.

2.3. Desarrollo teórico y científico de la cuestión

Es necesario definir, dentro del contexto de este documento, el significado de las palabras Metaverso y metaversos, y establecer claramente la diferencia entre ambos conceptos, ya que dependiendo del contexto puede tener diferentes significados. De hecho, el Metaverso sigue siendo algo en construcción, ya que su idea surgió de la ciencia ficción y actualmente es sobre todo una suma de tecnologías (Prieto et al., 2022) más que una realidad concreta.

El nombre Metaverso apareció por primera vez en la novela de ciencia ficción *Snow Crash* (Stephenson, 1992). Esta novela está ambientada en un futuro cercano en EE. UU., en donde la realidad virtual y la vida real se mezclan y las personas pasan gran parte de su tiempo conectadas a una red virtual llamada Metaverso. Para tener una idea de como podría ser el futuro Metaverso, sin necesidad de entrar en temas técnicos, se puede ver la película *Ready Player One*, basada en la novela del mismo nombre (Cline, 2011). Aunque no aparece en la película, en la novela la educación tradicional y el sistema escolar han colapsado debido a la pobreza y la falta de recursos, por lo que la mayoría de la gente, incluyendo al protagonista, recibe su educación a través de una plataforma de realidad virtual llamada "La Escuela", que es gratuita y accesible desde cualquier lugar del mundo.

Como se ha comentado, el metaverso es el resultado de una suma de tecnologías. Lee et al. (2021) lo define como un entorno virtual, en el que se combinan lo físico y lo digital, y que se está desarrollando por la convergencia de las tecnologías relacionadas con Internet, la Web y la Realidad Extendida (RE). Están surgiendo muchas tecnologías relacionadas que constituyen la base sobre la que se están construyendo los metaversos y que se escuchan con asiduidad en los medios, como por ejemplo el internet de las cosas (IoT), el blockchain, la inteligencia artificial o el 5G. No es relevante para este estudio describir estas tecnologías, pero si se considera necesario definir aquellas que permiten diferenciar los tipos de metaversos que pueden utilizarse en las aulas. Conforme al estudio de Lee et al. (2021), se definen a continuación las principales tecnologías que conforman los metaversos.

- Realidad aumentada (RA): añade elementos virtuales sobre imágenes del mundo real. Un ejemplo son las aplicaciones disponibles en algunas tiendas

de ropa, donde los clientes se prueban ropa virtual que aparece sobre su propia imagen real en la pantalla del móvil.

- Realidad virtual (RV): se crean mundos virtuales diferentes del mundo real, y puede accederse mediante diferentes dispositivos, siendo los principales las pantallas de ordenador (2D) y las gafas virtuales (3D).
- Realidad mixta (RM): son evoluciones de las anteriores, que mezclan y amplían sus funcionalidades.
- Realidad extendida (RE): es un concepto genérico que se utiliza para hacer referencia a todas las anteriores y sus variantes.

Al analizar los artículos se observa que suelen hablar de mundos virtuales o de realidad virtual, pudiendo referirse a desarrollos muy diferentes que incluyen este tipo de tecnologías. No se ha encontrado diferencias significativas por el uso en las aulas de metaversos más o menos desarrollados, probablemente porque cualquiera de ellos es igualmente novedoso para los alumnos. Principalmente se considerará relevante la utilización o no de dispositivos tipo gafas virtuales que hacen la experiencia más o menos inmersiva.

Cuando en este documento se haga mención del Metaverso, con mayúsculas, se estará haciendo referencia a la idea que transmite la anterior película, Ready Player One. Es decir, la evolución de la actual Internet a un mundo virtual con avatares al que acceder mediante dispositivos tipo gafas virtuales y fácilmente disponible para toda la población, aunque este Metaverso ideal esté todavía lejos de poder estar disponible, y en especial en el mundo de la educación (Guan et al., 2022).

En el presente estudio se pretende entender cual es la situación actual de esta evolución tecnológica y su uso en la educación, y por ello se hablará de metaversos, en plural, en referencia a las diferentes tecnologías que ya se están aplicando a la educación, y que van evolucionando hacia el Metaverso. No obstante, cuando en un texto citado se haga referencia al Metaverso o a los metaversos, se escribirá en ese párrafo tal y como venga en el texto citado.

Una vez establecidos los principales conceptos, se considera relevante entender el entorno en el que los centros educativos están interactuando con estas tecnologías. En los últimos años se ha hablado mucho de la palabra “Metaverso”, en especial

desde que se produjo la necesidad de teletrabajar por la pandemia y desde que algunas grandes corporaciones se comprometieron a realizar elevadas inversiones en su desarrollo, y en especial gigantes como Microsoft Corporation (Microsoft), Google LLC (Google) y Facebook Ink. Esta última llegó incluso, en octubre de 2021, a cambiar su nombre por Meta Platforms Inc. (Meta), en alusión al Metaverso.

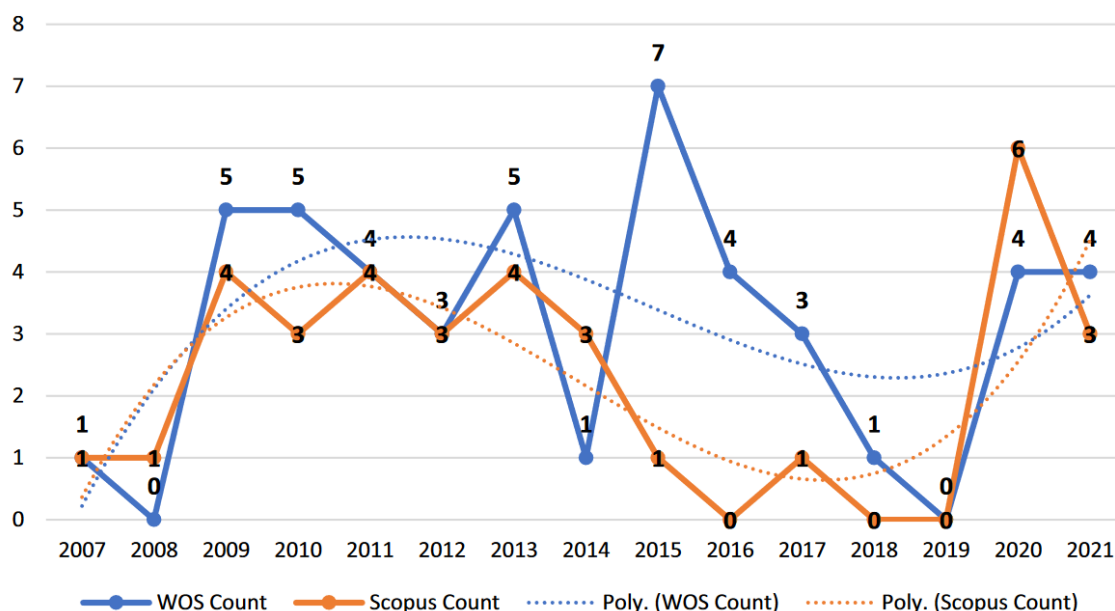
No obstante, este entorno está cambiando continuamente, incluso mes a mes. Después de los anuncios anteriores, esas mismas empresas tuvieron que dar marcha atrás debido a las dudas del mercado sobre la viabilidad a corto plazo de los metaversos y el desplazamiento del foco de los medios hacia la inteligencia artificial. En particular Meta, ante la continua pérdida de valor de sus acciones, anunció en abril de 2023 que dejaba de enfocarse en el Metaverso (Saul, 2023) y, sin embargo, el 5 de junio de 2023 Apple anunció sus nuevas gafas Vision Pro, que proponen un enfoque totalmente diferente a todo lo anterior y que podrían relanzar de nuevo el interés por los metaversos.

Ante todos estos avances y las supuestas ventajas por el uso de los metaversos que se nombran en muchos artículos (Ernawati & Ikhsan, 2021; Guerrero et al., 2016; Liu & Yeh, 2022; Pellas, 2014; Sternig et al., 2017), para poder entender la situación actual y la posible evolución del uso de los metaversos en educación, se considera razonable plantearse el porqué actualmente no están ya todos los centros educativos del mundo utilizando estas herramientas. Para responder a esta pregunta, en esta revisión sistemática se considera la producción científica de los últimos años a nivel global, y para ello se analizan algunos estudios similares.

En una revisión sistemática muy exhaustiva (Tlili et al., 2022), se investigaron muchos parámetros relacionados con la evolución de la producción científica en relación a los metaversos y la educación desde el año 2007 hasta el 2021, y se identificó que la producción científica ha tenido altibajos a lo largo de los años, coincidiendo las etapas con alta producción con aquellos momentos en los que salían al mercado nuevas tecnologías disruptivas. En la Figura 2 puede verse la distribución presentada por dicho estudio, y se comprueba que coincide bastante bien con los resultados obtenidos en el presente documento.

Figura 2

Investigación de la distribución del Metaverso en Educación por año



Fuente: Tlili et al. (2022)

La misma revisión sistemática (Tlili et al., 2022) obtiene resultados similares a los de este estudio en cuanto al análisis de la distribución geográfica y al porcentaje de estudios que incluyen NS respecto del total. No obstante, no se enfocan ni en NS ni en STEM y sólo llega hasta 2021, dejando fuera los dos últimos años que han tenido cambios muy significativos. Por otro lado, no se tuvo constancia de más investigaciones que analizasen la distribución de la producción científica a lo largo de los años, o que se centrasen en los NS y las STEM, lo que confirmó la relevancia de esta investigación.

Otras revisiones sistemáticas (Anaconda et al., 2019; Merchant et al., 2014; Wu et al., 2020) parecieron confirmar las hipótesis de partida relativas a la existencia de mejoras por el uso de metaversos en educación y el incremento de interés en las STEM por el aprendizaje de asignaturas de ciencias utilizando metaversos, aunque ninguna de ellas consideró la existencia de ninguna aplicación práctica operando en un centro escolar de forma regular.

En Wu et al. (2020), que identifica 35 artículos entre 2013 y 2019, se centra en las mejoras que se producen por la utilización de mundos virtuales con gafas virtuales frente a la educación tradicional. Entre sus conclusiones, considera que se consigue importantes mejoras, aunque el uso normal de metaversos en educación sigue estando lejos de las aulas. También indican que la progresiva bajada de precios de los dispositivos ha ido aumentando el número de investigaciones.

En Merchant et al. (2014) se analizaron 69 artículos y en Anacona et al. (2019) 100 artículos, y si bien cada uno se enfoca en áreas diferentes, ambos coinciden en destacar que el empleo de metaversos en la enseñanza mejora el aprendizaje, con respecto a modelos de enseñanza que no utilizan estas tecnologías.

2.4. Principales líneas de investigación

La idea del Metaverso surgió de la ciencia ficción hace más de 30 años, y en todo este tiempo se ha ido reinventando al ritmo al que surgían nuevos avances, de modo que su evolución parece tener forma de ola en la que el interés por utilizar estas tecnologías en la educación aumenta o disminuye progresivamente (Tlili et al., 2022).

La última subida de la ola empezó con la pandemia del COVID-19, y supuso una revolución social que no sólo ha afectado al mundo de la educación, sino también a la forma de aprender. Debido al confinamiento, se incrementó considerablemente el desarrollo de recursos orientados a la formación, utilizando tecnologías TIC y accesos remotos, con lo que se han visto impulsadas metodologías de enseñanza que se apoyan en las TIC y el aprendizaje activo, como el aprendizaje en línea (e-learning), el aprendizaje invertido (flipped learning), el aprendizaje mixto (blended learning) o el aprendizaje móvil (López-Belmonte et al., 2022).

El aprendizaje mixto hace referencia a la modalidad de enseñanza que combina la educación presencial con el aprendizaje en línea. Es decir, los estudiantes tienen acceso a contenido y actividades en línea, y también a clases en persona. Un buen ejemplo de este tipo de metodología se encuentra en Hodges et al. (2018), en el que se realiza una experiencia con alumnos de secundaria, mezclando prácticas en el laboratorio de química, con prácticas en un mundo virtual.

El aprendizaje móvil se refiere al uso de dispositivos móviles como teléfonos inteligentes y tabletas (Tablet) para apoyar el proceso de aprendizaje. Esta modalidad de enseñanza permite a los estudiantes aprender en cualquier momento y en cualquier lugar, y también se puede apoyar en aplicaciones, juegos educativos y metaversos. Un buen ejemplo se encuentra en Gadille et al. (2023), donde se desarrolla una actividad de aprendizaje con un mundo virtual, instalado en las tabletas de los alumnos de secundaria de un colegio de Francia.

Los cambios sufridos en los últimos dos años han sido vertiginosos, por lo que al buscar referencias en la revisión sistemática se ha cubierto desde 2013 hasta abril de 2023 incluido, dándose preferencia en la selección final a los artículos más recientes, si bien se han considerado algunos más antiguos para analizar el origen, la evolución y los conceptos clave de esta revolución tecnológica.

Un tema relevante es conocer los tipos de mejoras que resultan en los estudios analizados. Al iniciar una investigación, siempre se empieza por comprobar la literatura existente al respecto, por lo que es habitual que las nuevas investigaciones traten de centrarse en temas no tratados anteriormente. En esta línea, hay mejoras como la motivación, el interés y el mejor rendimiento que están incluidas en un número elevado de artículos, mientras que otros se centran en tratar de demostrar temas más específicos, como la mayor retención de lo aprendido con el tiempo (Abdulrahman Alrehaili, 2022), la mejora en la resolución de problemas (Cho & Lim, 2017), el aprendizaje significativo (Jacobson et al., 2016), la mayor autonomía al aprender (Brassinne et al., 2020), el incremento y la mejora de las relaciones con los iguales (Hernández et al., 2022) o el incremento en las capacidades científicas (Holly et al., 2021).

Las asignaturas seleccionadas para el estudio del uso de los metaversos en educación son mayoritariamente las relacionadas con las STEM, seguidas de la educación en general y de las artes y humanidades. Las STEM proporcionan soporte técnico para aprender las asignaturas con ejemplos como las simulaciones y se han usado también para tratar de promocionar este tipo de estudios, en la educación en general la combinación del mundo físico con el mundo virtual proporciona nuevas posibilidades en temas como la colaboración, la cooperación o el aprendizaje basado

en la resolución de problemas y en las artes y humanidades destaca sobre todo el aprendizaje de idiomas (Tlili et al., 2022). Este estudio se centrará en las asignaturas relacionadas con las STEM.

Al centrar este estudio en los NS y las STEM, cabe preguntarse si este enfoque puede suponer una limitación que empobrezca los resultados obtenidos. Por ello resulta pertinente analizar el porcentaje de artículos que incluyen NS y STEM con relación a todos los artículos que tratan sobre metaversos y educación en cualquier etapa educativa, desde primaria a la universidad. Dentro de NS, también resulta pertinente preguntarse que cursos están incluidos en las investigaciones.

Desde hace años se viene discutiendo la necesidad de aumentar el número de alumnos de STEM y buenos ejemplos de ello son un informe presentado al presidente de los EE.UU. (Olson & Donna, 2012) y un artículo de Zeidler (2016). Se plantea la pregunta, que se tratará de responder, de si el uso de metaversos en asignaturas de ciencias puede estimular a los alumnos a realizar estudios superiores STEM.

Entre las tecnologías empleadas para el desarrollo de los metaversos utilizados en educación, se han encontrado diferentes tipos:

- Existen algunos desarrollos a medida que aprovechan los móviles de los alumnos y las tabletas disponibles en algunos centros (Gadille et al., 2023).
- Otros crean proyectos a medidas con plataformas comerciales específicamente diseñadas para crear experiencias 3D, entre las que Unity destaca como la más utilizada (Abdulrahman Alrehaili, 2022; Guan et al., 2022; Holly et al., 2021; Jacobson et al., 2016).
- Hay desarrollos que utilizan plataformas comerciales, como Google Cardboard (Sternig et al., 2017), OpenSim (Guerrero et al., 2016), Roblox (Hernández et al., 2022) o Second Life (Simsek, 2016).
- También hay plataformas no comerciales, sobre todo creadas por universidades, como EcoLearn (Dede et al., 2017; Reilly et al., 2021), GAPc (Brassinne et al., 2020) o WISE (Hodges et al., 2018).

De las plataformas comentadas destaca Unity 3D, que es un motor de juego y una plataforma de desarrollo que permite crear simulaciones, juegos y en general

aplicaciones interactivas en 2D y 3D. Se utiliza principalmente para el desarrollo de videojuegos y metaversos.

Entre los desarrollos comerciales destacan:

- Roblox: es una plataforma de juegos en línea y multijugador, donde los jugadores pueden crear y compartir sus propios juegos. También se puede personalizar los avatares y comprar artículos virtuales con la moneda virtual. Es muy popular entre los niños y los adolescentes.
- Second Life: fue creado en 2003 como uno de los primeros mundos virtuales en línea. Permite a los usuarios crear avatares y mundos virtuales y se creó enfocado a la interacción entre usuarios y su participación en actividades sociales y económicas. Actualmente ya es bastante menos utilizada.
- OpenSim: es un entorno de software libre de código abierto creado en 2007, que se utiliza para crear mundos virtuales similares a Second Life, aunque al ser de código abierto los usuarios tienen total control sobre sus mundos virtuales. También es una plataforma que se utiliza cada vez menos.
- Metaverse: se lanzó en 2016 como una plataforma para crear mundos virtuales y aplicaciones de realidad aumentada. Posteriormente, evolucionó hacia la educación, y se centró en la creación de experiencias de aprendizaje interactivas en áreas como las matemáticas y la ciencia.
- Google Cardboard: es una plataforma de realidad virtual que incluye un visor de cartón de bajo coste que utiliza un móvil como pantalla y potencia de procesamiento. La idea de esta plataforma es hacerla accesible económicamente a todo el mundo.

Entre las plataformas no comerciales, se han utilizado principalmente:

- GAPc: es una aplicación desarrollada en la plataforma OpenEducation de la empresa Blackboard. Actualmente está ubicada en la Hasselt University y se utiliza para la enseñanza de cursos de química de preparación para la universidad.
- EcoLearn: es un grupo de investigación de la Escuela de Educación de Postgrado de Harvard (Harvard Graduate School of Education) que se dedica

al estudio de tecnologías avanzadas inmersivas como soporte al aprendizaje de los ecosistemas. Tiene desarrollos como ecoMUVE o ecoXPT.

- WISE: es un entorno web diseñado para apoyar la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia a través de la investigación. Fue desarrollado en la Universidad de Berkeley y está diseñado para ser utilizado en entornos educativos, especialmente en el aula.

En el Anexo I se enumeran todos los artículos seleccionados, con los desarrollos informáticos utilizados y los enlaces de internet.

3. METODOLOGÍA

3.1. Objetivos

Objetivo general:

Analizar el interés en el uso de los metaversos en educación y su implantación actual en NS y en las asignaturas relacionadas con las STEM.

Objetivos específicos:

1. Analizar la producción científica sobre el potencial del uso de metaversos en educación en NS y STEM.
2. Analizar la tendencia de la producción científica sobre las mejoras por el uso de estas tecnologías respecto a una educación sin ellas.
3. Determinar el uso de metaversos en NS y STEM.
4. Determinar si el uso de los metaversos en STEM es un elemento potenciador del interés de los alumnos en las materias y en los estudios superiores asociados.

3.2. Metodología de investigación y procedimiento

Dado que los temas a tratar son novedosos, inicialmente existía la duda de si se encontraría suficiente bibliografía científica, por lo que empezó realizando una primera búsqueda con la que tener una visión general de la realidad a investigar, y que ayudase a definir las variables y objetivos del estudio.

La búsqueda inicial se realizó directamente en el Catálogo del CRAI, y en tres bases de datos. A partir del análisis de los documentos seleccionados, se pudo avanzar en la descripción de las características fundamentales a tener en consideración. Las palabras clave fueron:

- “Metaverso and educación”, con búsqueda en español.
- “Metaverse and education”, con búsqueda en inglés.

A partir de estas búsquedas, se seleccionaron aquellos documentos que se consideraron más relevantes como aproximación a las preguntas inicialmente planteadas, para lo que se tuvieron en consideración las directrices de la declaración PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021). De un análisis de dichos documentos se pudo avanzar en la descripción de las características fundamentales a tener en consideración, y así se definió la siguiente pregunta de investigación: ¿hay interés, en España y fuera de España, en el uso de los metaversos en NS, favorecen estos una mejora en el aprendizaje y en el impulso de las STEM, y cuál es el nivel actual de implantación de estas soluciones?

3.2.1. Estrategias de búsqueda

Se decidió seleccionar el idioma inglés, por ser el más utilizado y tener un mayor número de artículos. Además, se decidió complementarlo con una búsqueda adicional en español, con la que ampliar la extensión del estudio en países de habla hispana. Se comprobó que la práctica totalidad de los documentos en español incluyen también el título, las palabras clave y el resumen en inglés, por lo que se decidió hacer la búsqueda de documentos cambiando únicamente el idioma al español, pero manteniendo todo lo demás igual, incluyendo las palabras clave en inglés.

Para obtener resultados lo más generales posibles en la búsqueda definitiva, se utilizaron las siguientes bases de datos con el acceso a través del Catálogo del CRAI:

- Dialnet.
- Academic Search Ultimate (ASU).
- Scopus.
- Web of Science (WOS).
- Education Resources Information Center (ERIC).
- Teacher Reference Center.

Se dio prioridad a hacer las búsquedas filtrando únicamente por el título, las palabras clave y el resumen, aunque debido al sistema de búsqueda de cada base de datos, en el caso de ERIC, ASU, TRC y Dialnet se tuvo que buscar en todos los campos, dando lugar a un resultado algo menos preciso.

Las palabras clave utilizadas fueron:

- (education OR learning OR teaching).
- AND (metaverse OR "virtual world").
- AND (school OR baccalaureate OR "grade 7" OR "grade 8" OR "grade 9" OR "grade 10" OR "grade 11" OR "grade 12" OR "grade 13").
- AND NOT (health OR healthcare OR medical OR medicine OR surgical OR surgery OR patient OR nursing).
- AND NOT (museum OR "art galleries" OR "art gallery").
- AND NOT (architecture OR "architectural design" OR "building design").

3.3. Criterios de elegibilidad

Se realizó un primer filtrado, en el que se consideraron los siguientes criterios.

Criterios de inclusión:

- Fecha de publicación entre 2013 y la fecha de la búsqueda final (30/4/2023).
- Idiomas inglés y español.
- Tipo de documento: artículo (article).
- Tipo de fuente: publicaciones académicas (academic journal).

Criterios de exclusión:

- Documentos que no sean artículos científicos.
- Documentos que no hagan referencia al sector de la educación.
- Documentos en los que no se hable de metaversos.

Esta selección proporcionó 221 artículos, lo que se consideró un número suficiente para poder analizar con precisión la producción científica de investigaciones que incluyen los metaversos y la educación en el período comprendido entre 2013 y abril de 2023. Estos datos también permitieron comparar la producción científica que incluye las etapas de NS y las STEM, de la que no las incluye.

A continuación, se aplicaron criterios de inclusión adicionales para seleccionar los artículos que incluyen NS y STEM.

Criterios de inclusión adicionales:

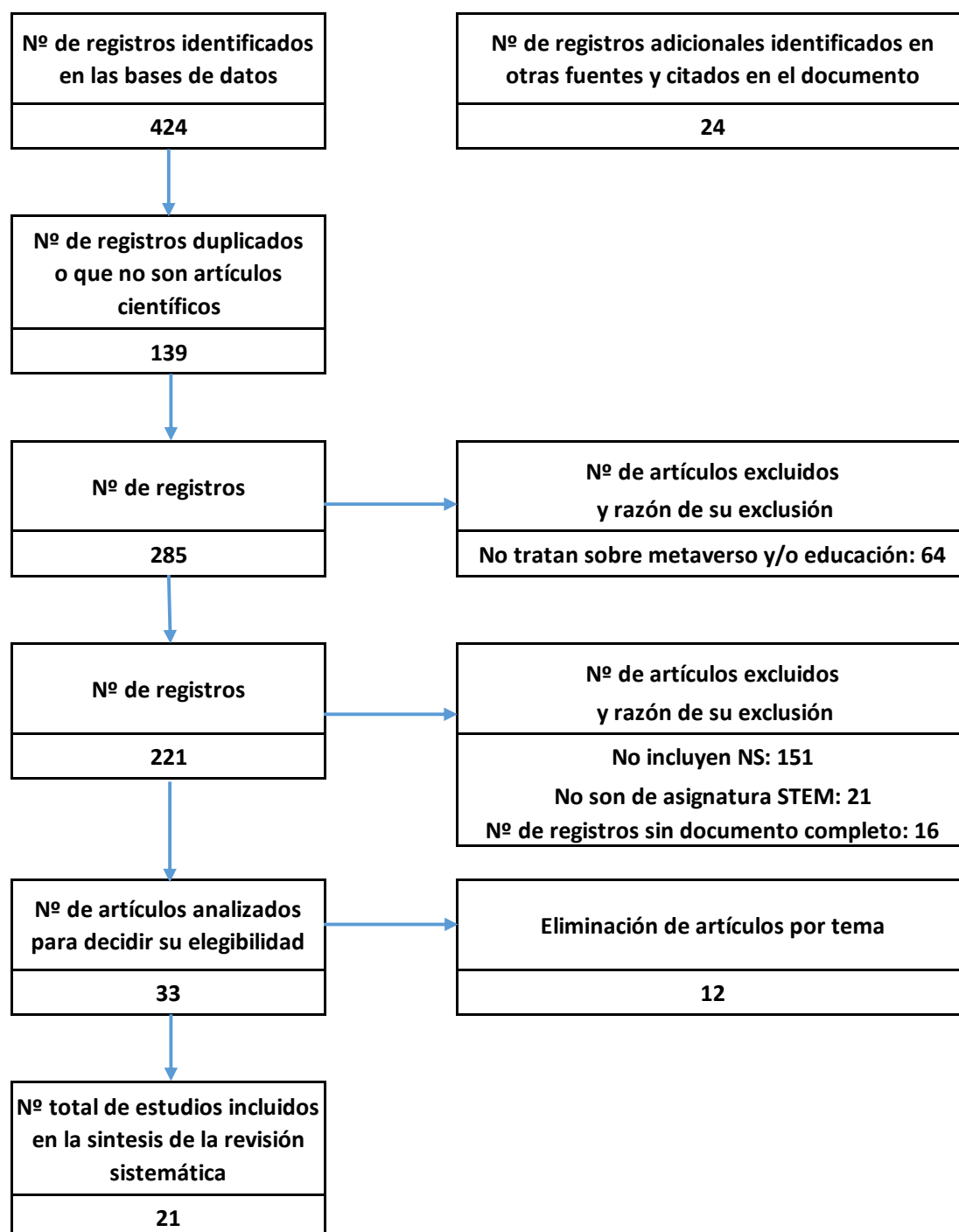
- La incorporación en el análisis de jóvenes con edades comprendidas dentro de alguna etapa de NS. Se dio por válido algún documento que se refería en general a todas las etapas de la educación, ya que incluían las de NS.
- La inclusión de asignaturas relacionadas con las STEM.
- Se dio por válido algún documento que se refería en general a todas las áreas del conocimiento, si se incluían las STEM.
- El acceso al documento completo a través de Internet.

Tras la realización de las búsquedas anteriores, se incluyó en la redacción del trabajo algunas citas adicionales que aportaban algún tipo de valor y algunos documentos que surgieron en la primera búsqueda. Se considera que es conveniente añadir estos artículos ya que son relevantes para entender mejor las tecnologías de los metaversos, incluido alguno que pueda no tratar específicamente sobre la educación. Finalmente, de la lista final de artículos que cumplían los criterios, se seleccionaron aquellos que se consideraron más relevantes.

3.4. Diagrama de flujo

Una vez establecidas las palabras clave, se procedió en cada base de datos a ejecutar las búsquedas y se añadió algunos artículos interesantes adicionales. Esta selección se ordenó y se eliminaron los artículos repetidos y aquellos que resultaron no ser artículos científicos. Sobre el resto, se aplicaron los criterios de elegibilidad para tener aquellos que los cumplían, y entre estos se realizó la selección final con los que se consideraron más significativos.

Todo el detalle de este proceso puede verse en el diagrama de flujo que se presenta en la Figura 3.

Figura 3*Diagrama de flujo.*

Fuente: elaboración propia, basada en los criterios PRISMA 2020.

4. RESULTADOS

Los 21 artículos seleccionados se presentan en la Tabla 1, y a continuación se detallarán los resultados de acuerdo con los objetivos específicos.

Tabla 1

Artículos seleccionados.

Autores	Título	Año	País
Abdulrahman Alrehaili	A virtual reality role-playing serious game for experiential learning	2022	Canadá
Brassinne et al.	Developing and Implementing GAPc, a Gamification Project in Chemistry, toward a Remote Active Student-Centered Chemistry Course Bridging the Gap between Precollege and Undergraduate Education	2020	Bélgica
Cho & Lim	Effectiveness of collaborative learning with 3D virtual worlds.	2017	Corea del Sur
Dede et al.	EcoXPT: Designing for deeper learning through experimentation in an immersive virtual ecosystem	2017	EE. UU.
Domik et al.	Helping high schoolers move the (Virtual) world	2013	Alemania
Ernawati & Ikhsan	Fostering Students' Cognitive Achievement Through Employing Virtual Reality Laboratory (VRL)	2021	Indonesia
Fiorella et al.	Effects of Playing an Educational Math Game That Incorporates Learning by Teaching	2019	EE. UU.
Gadille et al.	Material and Socio-Cognitive Effects of Immersive Virtual Reality in a French Secondary School: Conditions for Innovation	2023	Francia
George Reyes	Percepción de estudiantes de bachillerato sobre el uso de Metaverse en experiencias de aprendizaje de realidad aumentada en matemáticas	2020	México

Autores	Título	Año	País
Guan et al.	Optimization of 3D Virtual Reality Technology in High School Physics Direct-Type Teaching	2022	China
Guerrero et. al.	Integrating Virtual Worlds with Tangible User Interfaces for Teaching Mathematics: A Pilot Study	2016	España
Hernández et al.	The use of Massive Online Games in game-based learning activities	2022	México
Hodges et al.	An exploratory study of blending the virtual world and the laboratory experience in secondary chemistry classrooms	2018	EE. UU.
Holly et al.	Designing VR Experiences – Expectations for Teaching and Learning in VR	2021	Austria
Jacobson et al.	Computational Scientific Inquiry with Virtual Worlds and Agent-Based Models: New Ways of Doing Science to Learn Science	2016	Australia
Liu & Yeh	The Influence of Competency-Based VR Learning Materials on Students' Problem-Solving Behavioral Intentions-Taking Environmental Issues in Junior High Schools as an Example	2022	Taiwán
Loula et al.	Modeling a virtual world for the educational game Calangos	2014	Brasil
Pellas	The development of a virtual learning platform for teaching concurrent programming languages in secondary education: The use of open Sim and Scratch4OS	2014	Grecia
Reilly et al.	Assessing Science Identity Exploration in Immersive Virtual Environments: A Mixed Methods Approach.	2021	EE. UU.
Simsek	The Effect of 3D Virtual Learning Environment on Secondary School Third Grade Students' Attitudes toward Mathematics	2016	Turquía

Autores	Título	Año	País
Sternig et al.	Learning in a Virtual Environment: Implementation and Evaluation of a VR Math-Game	2017	Austria

4.1. Producción científica sobre el potencial de uso de Metaversos

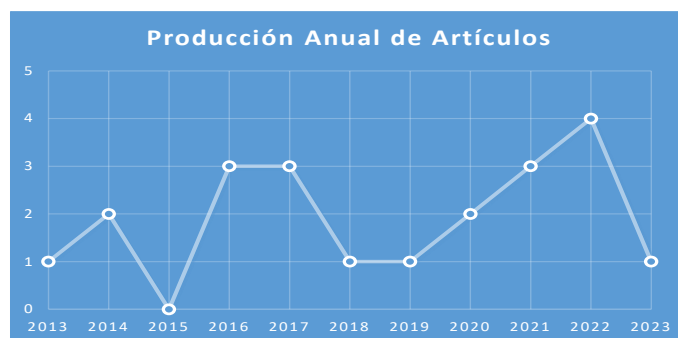
Se presentan a continuación los resultados con relación al primer objetivo específico: Analizar la producción científica sobre el potencial del uso de metaversos en educación en NS y STEM.

4.1.1. Producción Científica en Función del Tiempo

Todos los artículos seleccionados están en inglés, excepto uno de México y además los dos artículos mexicanos provienen de la base de datos Dialnet. Se presenta en la Figura 4 la producción de artículos por año. En adelante se pondrá el número total de elementos de las gráficas en el título de las figuras.

Figura 4

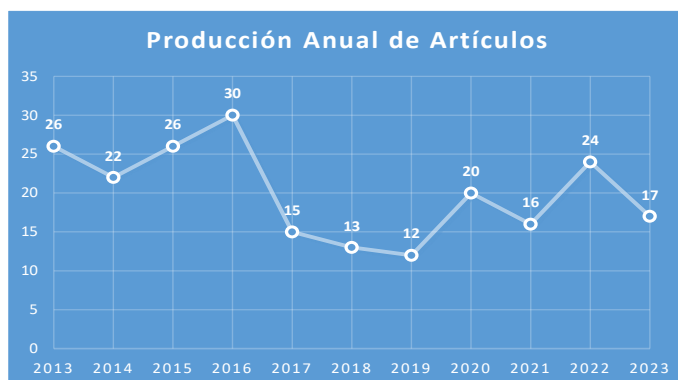
Producción de artículos seleccionados en función del tiempo (21 artículos).



Dado que el número de artículos es pequeño (21), en relación con el número de años que abarca el estudio (10), el resultado puede no ser muy preciso. Se analizó el mismo parámetro en la selección de artículos previa, que tenía aquellos que incluían los metaversos y la educación, pero sin considerar el filtro de los NS y las STEM, resultando 221 artículos (ver diagrama de flujo). El resultado es el de la figura 5.

Figura 5

Producción de artículos en función del tiempo sin considerar NS y STEM (221).



En la figura pueden verse varias etapas:

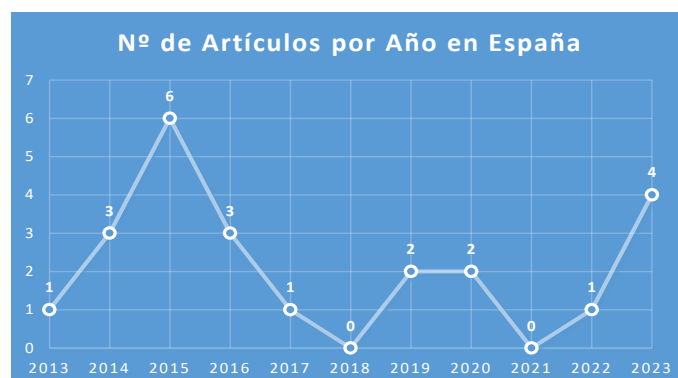
- Entre 2013 y 2016 hay una producción media de 2,17 artículos mensuales.
- Entre 2017 y 2019 la producción media baja casi a la mitad (1,11).
- Entre 2020 y abril de 2023 sube a una media de 1,93 artículos al mes.
- En los 4 primeros meses de 2023 la media es de 4,25 artículos al mes.

Si se compara con el resultado de los 21 artículos seleccionados, se verá que no hay una similitud concluyente, lo que es debido al escaso número de artículos. Entre los 221 artículos, hay 16 que se descartaron por no tener acceso al documento completo y de estos 9 incluían NS y STEM y si se suman a los 35 que cumplieron todos los requerimientos, resultan 44 artículos. Con ello, el 19,9% de los artículos que tratan sobre metaversos y educación, incluyen también NS y STEM.

Como dato destacado se incluye España, que es el segundo país después de EE. UU. con el 10,4% de todos los artículos. Si se descartasen las búsquedas en español y en la base de datos Dialnet, el valor hubiese sido del 8,9%, por lo que España seguiría siendo el segundo país. Su producción puede verse en la Figura 6.

Figura 6

Producción de artículos de España sin considerar NS y STEM (23).



4.1.2. Distribución geográfica de la producción científica

La producción científica por país está muy repartida. Véase las figuras 7 y 8.

Figura 7

Distribución geográfica de la producción científica por región (21).

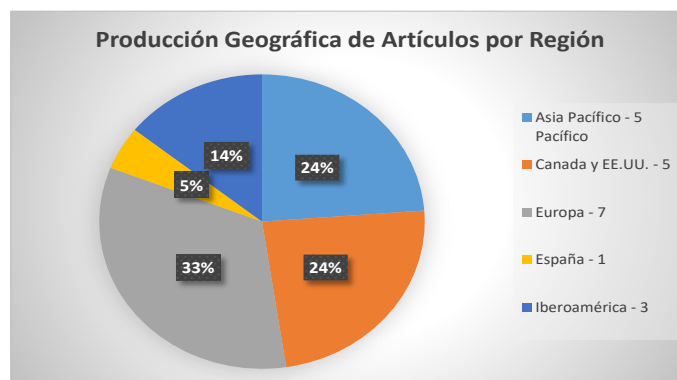


Figura 8

Distribución geográfica de la producción científica por país (21).



Se incluye en las figuras 9 y 10 la distribución geográfica de la producción de artículos sin incluir el filtro de NS y STEM. Se observará que se ha incluido España separada del resto de Europa.

Figura 9

Distribución geográfica de la producción científica por región 2013-2023 (221).

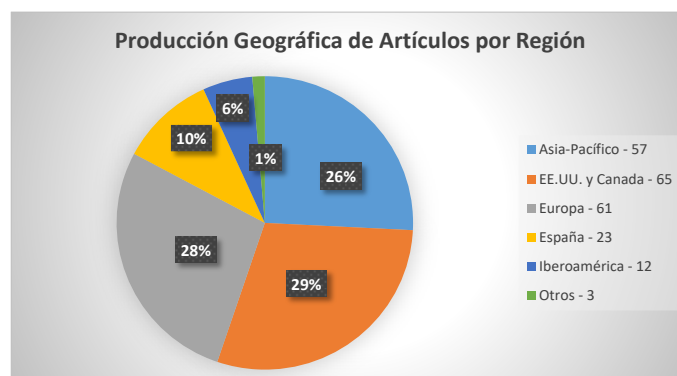
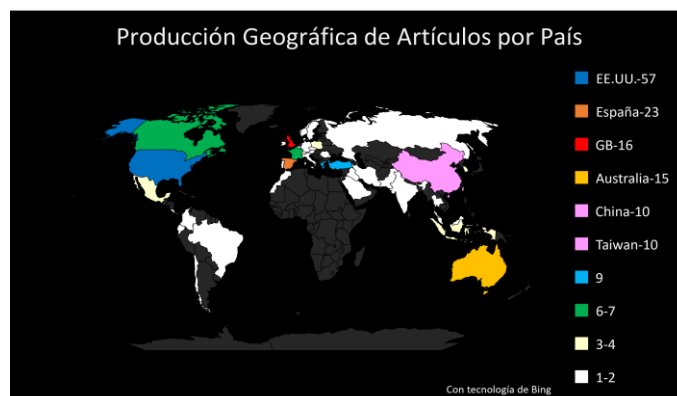


Figura 10

Distribución geográfica de la producción científica por país 2013-2023 (221).



Un dato interesante es comparar la producción científica geográfica por regiones, en las diferentes etapas que se definieron en el punto anterior. Como puede verse en las figuras 11 y 12, entre 2013 a 2016, EE. UU., Canadá y Europa suponían el 78% de los artículos, mientras que Asia-Pacífico solo tenía el 14%. Sin embargo, entre 2020 y 2023 la producción se desplaza hacia la región de Asia-Pacífico, que pasa del 14% al 40%, y se convierte en la primera. Por el contrario, EE. UU. baja de un 35% a un 20%, y Europa del 43% al 34%, sumando ambos el 53% del total.

Figura 11

Producción geográfica de artículos por región entre 2013 y 2016 (104).

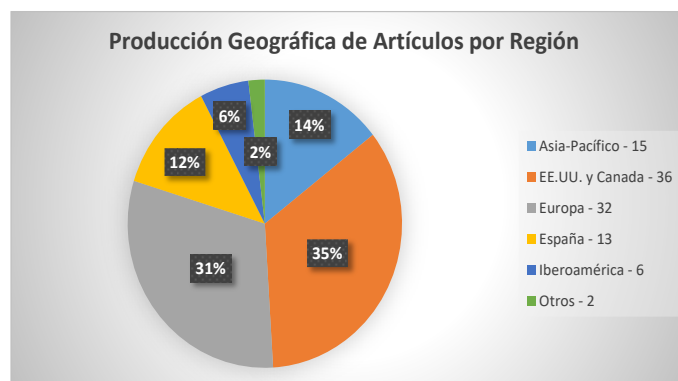
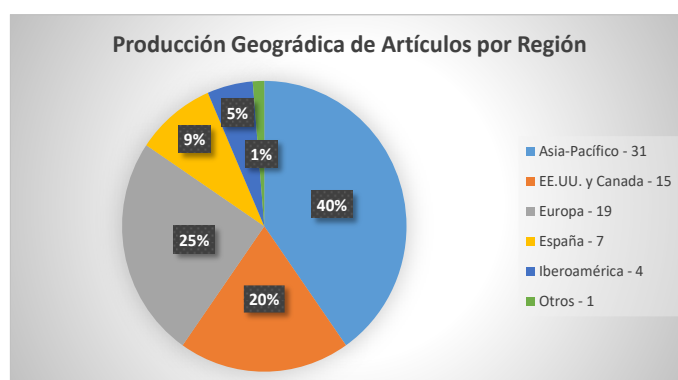


Figura 12

Producción geográfica de artículos por región entre 2020 y 2023 (77).



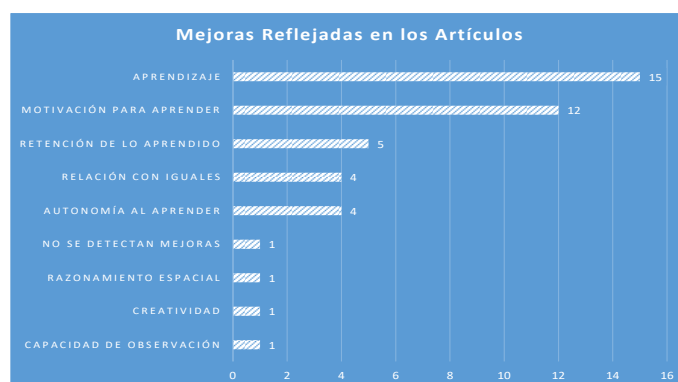
4.2. Potenciales mejoras por el uso de metaversos

Se presentan en este apartado los resultados con relación al segundo objetivo específico: Analizar la tendencia de la producción científica sobre las mejoras por el uso de estas tecnologías respecto a una educación sin ellas.

Las investigaciones analizadas, excepto una (Fiorella et al., 2019), revelan mejoras por el uso de metaversos en educación, si bien cada estudio se enfoca en el análisis de diferentes cuestiones. En la Figura 13 se observa las mejoras comentadas en los 21 artículos. Se comprueba que el número de referencias es mayor que el de artículos. Esto es debido a que un artículo puede reflejar más de una mejora.

Figura 13

Mejoras reflejadas en los artículos por el uso de metaversos (44)



4.3. Determinar el uso de metaversos en NS y STEM

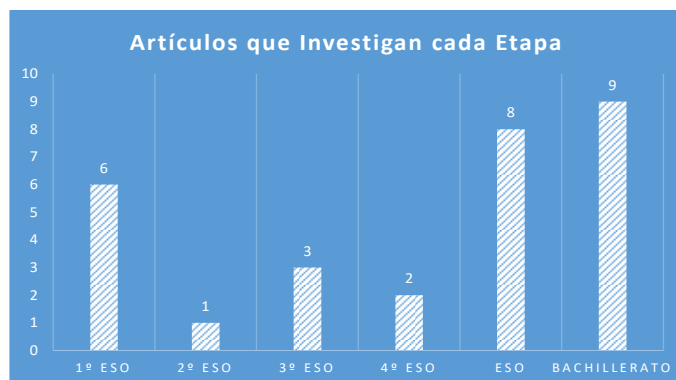
Se presentan los resultados con relación al tercer objetivo específico: Determinar el uso de metaversos en NS y STEM.

Aunque no se estableció como un criterio de elegibilidad, durante la selección final de artículos se priorizaron aquellos que tuviesen alguna experiencia práctica, con lo que finalmente los 21 artículos seleccionados la tienen. Además, por los propios criterios de selección, todas ellas incluyen las etapas de NS y alguna asignatura relacionada con las STEM. Se analiza en primer lugar las etapas NS y las STEM incluidas en los artículos seleccionados, y posteriormente los tipos de tecnologías de metaversos utilizados y los tipos de proyectos.

Se detallan en la Figura 14 las etapas de NS incluidas en los 21 artículos seleccionados. Se observará que el número de etapas es superior al de artículos, lo que se debe a que algunos artículos investigan más de una etapa. En la tabla, el parámetro ESO se refiere a artículos que incluyen todos los cursos de la ESO.

Figura 14

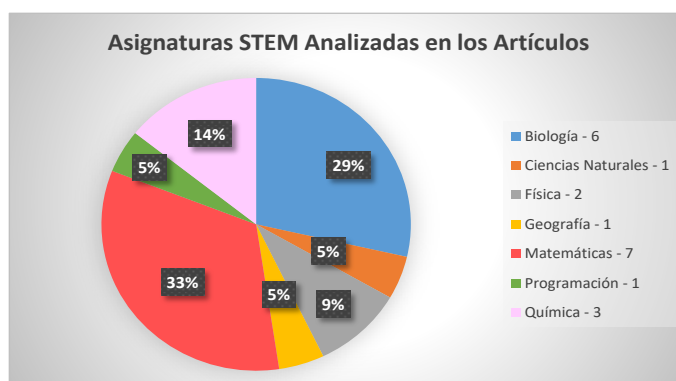
Número de artículos que investigan cada etapa (29)



En la Figura 15 se desglosa la producción científica por tipo de STEM.

Figura 15

Asignaturas relacionadas con las STEM incluidas en cada artículo (21)

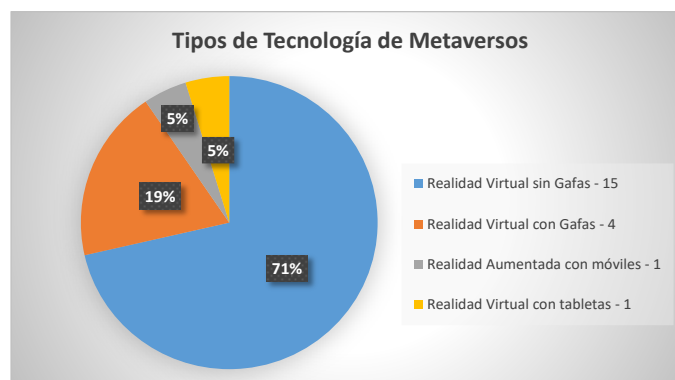


Hasta llegar al concepto de metaverso se fueron desarrollando tecnologías cada vez más complejas que nos acercan a ese Metaverso ideal al que parece que se está evolucionando. Con el tiempo estas tecnologías se han ido integrando, por lo que actualmente es fácil verlas todas juntas en un proyecto concreto. Los desarrollos se basan en mundos virtuales creados principalmente con realidad virtual, con gafas o sin ellas. Además, hay uno (George Reyes, 2020), en el que se utiliza realidad

aumentada y los dispositivos móviles de los alumnos, y otro (Gadille et al., 2023), que utiliza tabletas con realidad virtual. En la figura 16 se puede observar el resultado.

Figura 16

Tipo de tecnología de metaverso empleadas en los artículos (21).



En el Anexo I se ha incluido la relación de artículos con el año de publicación, el detalle de las herramientas utilizadas en cada uno y un enlace web a la aplicación o a la plataforma donde se ha desarrollado.

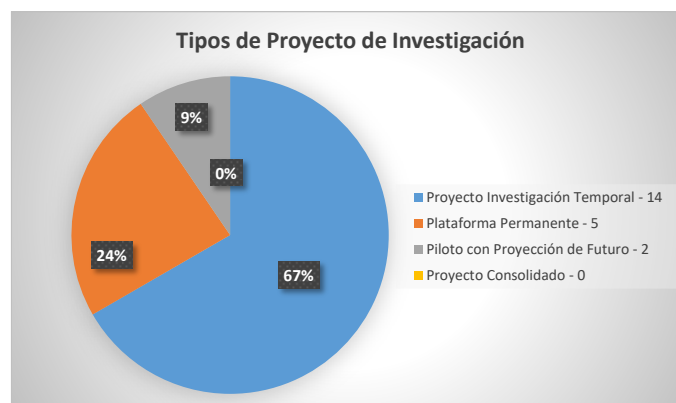
4.3.1. Tipo de proyectos desarrollados en las investigaciones

Con relación a las experiencias prácticas implantadas en los centros educativos, se analiza de que tipo son (ver Figura 17) conforme a la siguiente clasificación:

- Proyecto de investigación temporal: es aquel con una duración limitada en el tiempo y normalmente con un desarrollo software propio.
- Proyecto de investigación temporal sobre plataforma permanente: es igual al anterior pero desarrollado sobre una plataforma existente que proporciona herramientas enfocadas a la educación. Algunas plataformas están desarrolladas por universidades y otras son comerciales.
- Piloto con proyección de futuro: igual que alguno de los anteriores, pero con una intencionalidad de que evolucione hacia un servicio que permanezca en el tiempo, en uno o más centros educativos.
- Proyecto consolidado: es la evolución del anterior en el que ya se da un servicio completo que está implantado en uno o más centros educativos.

Figura 17

Tipo de proyectos de investigación incluidos en los artículos (21).



Como puede verse en la figura, hay cinco artículos que incluyen proyectos desarrollados sobre plataformas permanentes (Brassinne et al., 2020; Dede et al., 2017; George Reyes, 2020; Hodges et al., 2018; Reilly et al., 2021), aunque realmente son cuatro plataformas, ya que dos proyectos se realizaron sobre la misma (ver Anexo I). Hay dos pilotos (Holly et al., 2021; Loula et al., 2014), de los que el primero es reciente y el segundo lleva sin avanzar varios años. En cuanto a proyectos consolidados en centros escolares, no se ha encontrado constancia de ninguno.

4.4. El uso de metaversos y el interés de los alumnos en STEM

Se presentan los resultados en relación con el cuarto objetivo específico: Determinar si el uso de los metaversos en STEM es un elemento potenciador del interés de los alumnos en las materias y en los estudios superiores asociados.

En el punto 4.3 se enumeró las asignaturas STEM incluidas en las investigaciones. Aunque en todos los artículos se trabaja con alguna asignatura STEM, únicamente en 6 de ellos se analiza si mejora el interés en realizar estudios superiores STEM, con resultado positivo en cuatro de ellos (Brassinne et al., 2020; Domik et al., 2013; Hodges et al., 2018; Holly et al., 2021) y negativo en los otros dos (Reilly et al., 2021; Simsek, 2016), como puede verse en la Figura 18.

Figura 18

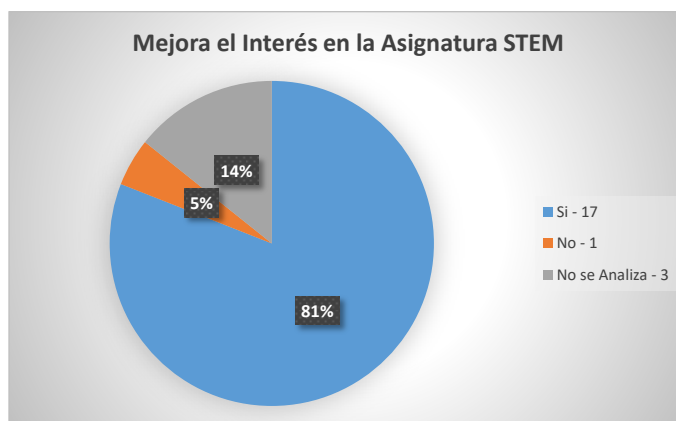
Mejora en el interés de los alumnos en estudios superiores STEM, como consecuencia de la experiencia con Metaversos en asignaturas relacionadas (21).



Por otro lado, si se suele destacar el interés en la propia asignatura STEM en la que se ha realizado el ejercicio con metaversos. El resultado está en la Figura 19.

Figura 19

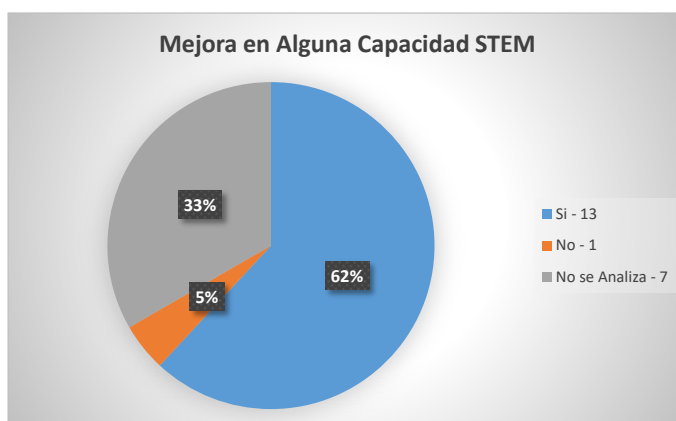
Mejora en el interés de los alumnos en una asignatura STEM, como consecuencia de la experiencia con Metaversos en dicha asignatura (21).



Sobre la mejora en alguna capacidad STEM como consecuencia de la experiencia con Metaversos al dar la asignatura, el resultado es el de la Figura 20.

Figura 20

Mejora en alguna capacidad STEM (20).



5. DISCUSIÓN

5.1. Producción científica sobre el potencial de uso de Metaversos

5.1.1. Producción Científica en Función del Tiempo

Tras la revisión de artículos realizada, incluyendo los 221 del primer filtro y los adicionales procedentes de otras fuentes, sólo se localizó una investigación que analizase la producción científica en función del tiempo y de la geografía (Tlili et al., 2022), y que se centra en metaversos y educación, sin entrar en etapas o áreas de conocimiento. Esta falta de estudios similares confirma la relevancia de este estudio.

Un primer dato relevante es que solo el 19,9% de la producción científica sobre metaversos y educación, trata también los NS y las STEM. Un número importante del resto de artículos se centran en estudios universitarios, y un número menor en primaria o a formación de adultos, sobre todo en la formación de profesores.

Al comparar la distribución de la producción anual de los 21 artículos finales con la de los 221 artículos se observa que no es relevante, ya que el escaso número de artículos por año de la primera hace que cualquier pequeño cambio en la selección final afecte significativamente al resultado.

La evolución de la producción científica en la gráfica de 221 artículos tiene cierta forma de ola, con una cresta entre 2013 y 2016, un valle entre 2017 y 2019 y una nueva elevación a partir de 2020, que no parece haber llegado todavía a su cresta, y que se relaciona con diferentes avances tecnológicos. La primera etapa con máximos estaría relacionada con avances como la Web 3.0, la realidad aumentada, la realidad virtual, el incremento de la capacidad de cálculo de los ordenadores y la capacidad de renderización de mundos virtuales. Posteriormente, habría un período donde el interés bajaría, antes de volver a subir repentinamente, como consecuencia del teletrabajo en la pandemia del COVID-19, y las promesas de grandes inversiones en metaversos por parte de las empresas ya citadas (Tlili et al., 2022).

En la primera etapa se identificaron 6 artículos, de los que dos tienen desarrollos específicos sin continuidad (Domik et al., 2013; Loula et al., 2014), tres se montaron

sobre mundos virtuales comerciales que estaban de moda en esa época y que actualmente han perdido relevancia, en concreto Second Life (Simsek, 2016) y Open Sim (Guerrero et al., 2016; Pellas, 2014) y el último utilizó Unity 3D, que es una plataforma de desarrollo que actualmente sigue siendo popular (Jacobson et al., 2016).

Posteriormente, se utilizaron herramientas fruto de nuevos desarrollos que fueron surgiendo y con las que era posible implementar proyectos y pilotos a medida. En el Anexo I se resumen los desarrollos y plataformas utilizados.

Es relevante el hecho de que España es el segundo país en producción científica después de EE. UU. con el 10,4% de los artículos. Cabría preguntar si añadir la base de datos Dialnet y la segunda búsqueda en español, puede haber influido en este resultado. Si se elimina la búsqueda en español el porcentaje baja al 9,0%, y si además se elimina la base de datos Dialnet, el resultado es el 8,9% con 18 artículos, lo que mantiene a España en el segundo lugar. No obstante lo anterior, solo uno de los artículos españoles fue seleccionable (Guerrero et al., 2016).

5.1.2. Distribución geográfica de la producción científica

Aquí se produce el mismo dilema que en el caso de la distribución temporal. Debido al número de registros seleccionados, no hay una muestra suficiente para que el resultado sea determinante. Ejemplos de ello se observa al comparar los resultados de los 21 artículos seleccionados con los del filtro anterior de 221, en el primer caso Iberoamérica pasa de ser un 14% con 3 artículos (George Reyes, 2020; Hernández et al., 2022; Loula et al., 2014), a sólo el 6% con 12 artículos, y España pasa del 5% con un artículo (Guerrero et al., 2016) al 10% con 23 artículos. Casualmente, en el resto de las regiones los resultados coinciden bastante.

Es destacable el dato resultante al comparar la producción científica en diferentes períodos de tiempo, ya que en los últimos años se ha producido un desplazamiento de la producción científica de Europa y América del Norte hacia Asia-Pacífico. Así, entre 2013 y 2016, Europa, EE. UU. y Canadá tenían el 78% de las investigaciones y Asia-Pacífico el 14%, mientras que entre 2020 y 2023, los primeros

bajaron al 53% y Asia-Pacífico subió al 40%. En este sentido cabe destacar a China, que pasó de un 1% con un artículo en el primer período al 12% con 9 artículos en el segundo, aunque en la selección final solo entró uno (Guan et al., 2022). Se considera que este tema es de gran actualidad por la situación geopolítica global, y que merece ser objeto de estudios futuros.

5.2. Potenciales mejoras por el uso de metaversos

Al analizar los resultados, se observa que la mayor parte de artículos encuentran beneficios por la utilización de metaversos en la enseñanza, destacando las mejoras en el aprendizaje y en la motivación para aprender. Normalmente se revisan las investigaciones previas y las investigaciones se centran en temas novedosos, por lo que se distinguen diferentes enfoques, que se resumen a continuación.

En un artículo (Fiorella et al., 2019) el resultado no indicó mejoras por enseñar con un metaverso. Se diseñó un juego basado en una plataforma comercial no identificada, en el que completar misiones para aprender matemáticas con actividades tipo aprender-enseñando. Con 58 alumnos se hicieron dos grupos siendo uno de ellos de control y, en contra de las hipótesis previas, no se detectaron diferencias entre ambos grupos en resultados o motivación. En las conclusiones del artículo se analizan las causas de este resultado, considerando relevante balancear convenientemente la parte lúdica y la propia del aprendizaje y dar suficiente tiempo a los alumnos para que se familiaricen con la plataforma, antes de empezar la enseñanza propiamente dicha.

En otro estudio (Gadille et al., 2023) realizado en Francia con alumnos de 1º de la ESO, se desarrolló una experiencia diseñando un metaverso con tabletas. El foco fue describir las condiciones materiales y sociocognitivas para diseñar y usar un entorno virtual tridimensional en la escuela para un aprendizaje innovador mixto.

En la investigación de Holly et al. (2021) se realizó una experiencia de 6 meses de aprendizaje de física, con alumnos de colegio y estudiantes de profesorado. Se usó una plataforma de libre acceso que llevaban varios años desarrollando y se estableció que, cuando se utilizan los mundos virtuales como complemento a la educación tradicional, además de motivar a los alumnos y animarlos a esforzarse, se

dan otras posibilidades de mejora y es posible realizar experimentos peligrosos en entornos seguros y visualizar procesos naturales invisibles al ojo humano.

En un estudio (Abdulrahman Alrehaili, 2022), con adolescentes de entre 13 y 16 años, se recreó un mundo virtual de abejas. Se crearon tres grupos para aprender la vida de estos insectos de los que uno usaba gafas virtuales, otro sin ellas y un tercero con libros. Se hicieron encuestas justo después del experimento y una semana más tarde y se concluyó que con el mundo virtual se mejora en el aprendizaje y en la retención respecto al aprendizaje con libros, pero sin diferencias por el uso de gafas.

Hay otras investigaciones en la misma línea que la anterior. Por ejemplo, en Ernawati & Ikhsan (2021) se formaron tres grupos y se compararon los resultados de experimentos en dos laboratorios de química, uno real y otro virtual. Se consideró que se mejoraba en el aprendizaje y en la retención, además el virtual proporcionaba mayor autonomía al permitir las conexiones remotas. En Jacobson et al. (2016) se recrea un mundo virtual para aprender biología, con resultados similares en cuanto a aprendizaje, motivación y retención, e igualmente en Guerrero et. al. (2016), donde se puntualiza la posible mejora de la motivación por la novedad de la experiencia y la necesidad de investigaciones adicionales para profundizar en ello.

En varios artículos, además de nombrar algunas de las mejoras anteriores, analizan otros temas más específicos. Así, en Sternig et al. (2017) se enfocan en la parte de experiencia práctica de los metaversos y destaca que promueve la creatividad, en Liu & Yeh (2022) se desarrolla la mejora en capacidades en resolución de problemas y en Pellas (2014), además de la motivación y la cooperación con iguales, se destaca el desarrollar la capacidad de conseguir los objetivos de aprendizaje y el aprendizaje más sencillo de la programación.

5.3. Determinar el uso de metaversos en NS y STEM

En el apartado 4.1.1. se determinó que el porcentaje de investigaciones que incluyen NS y STEM respecto del total de artículos que tratan sobre el uso de metaversos en educación es del 19,9%. Este porcentaje se considera bajo y coherente con el hecho de que la mayor parte de las investigaciones se desarrollan

en universidades. De hecho, incluso parte de los estudios analizados centrados en NS se desarrollan en universidades o sobre plataformas creadas por universidades (Brassinne et al., 2020; Dede et al., 2017; Hodges et al., 2018; Reilly et al., 2021).

Dentro de NS las investigaciones se reparten entre los diferentes cursos, con cierto foco en bachillerato y 1º de la ESO y sin incluir ninguna de formación profesional. Igualmente se piensa que tiene relación con el hecho de que la mayor parte de las investigaciones están en las universidades y que sería conveniente la realización de más estudios enfocados a la formación profesional y especialmente teniendo en consideración que estas enseñanzas son eminentemente prácticas, lo que encaja perfectamente con los metaversos.

Sobre las asignaturas relacionadas con las STEM, cada artículo suele centrarse en una sola, aunque algunos realizan estudios que buscan ser mas exhaustivos, incluyendo alumnos de varios cursos o varias asignaturas. En uno de ellos (Gadille et al., 2023), se incluyen las matemáticas, la lengua local y una lengua extranjera, y en otro (Hernández et al., 2022), en el que se investiga el uso de juegos multiusuarios masivos, hay un grupo de secundaria con biología, otro de bachillerato con ciencias de la salud, y otros dos grupos universitarios con otras asignaturas. Este tipo de estudios se consideran relevantes ya que permiten comparar y así obtener resultados más generales y cercanos a la realidad.

Dado que las tecnologías de metaversos han ido convergiendo hacia mundos virtuales donde están mezcladas, no se analizan sus diferencias en profundidad, ya que se considera que son poco relevantes en relación con su uso en educación. Solo hay un estudio (George Reyes, 2020) en el que se utiliza realidad aumentada y los dispositivos móviles de los alumnos y otro (Gadille et al., 2023) que utiliza tabletas con realidad virtual. En el resto se emplean diferentes mundos virtuales, de los que solo se tendrá diferenciación aquellos con gafas virtuales de los que no las usan, ya que su uso representa un salto en cuanto a la complejidad de gestión y el coste de implantación en las aulas. Por otro lado, en un estudio se comparan el aprendizaje con realidad virtual con gafas y sin gafas y el aprendizaje en libros (Abdulrahman Alrehaili, 2022), concluyendo que hay mejoras significativas por usar realidad virtual en lugar de libros, pero no entre las dos opciones con realidad virtual. Es de destacar

que el número de investigaciones sin gafas virtuales es mayoritario con 15 artículos, frente a las 4 que las utilizan, no obstante, el reciente lanzamiento de las gafas Vision Pro de Apple pueden acelerar los cambios, ya que proponen un modelo nuevo intermedio entre el mundo real y el aislamiento del mundo virtual.

Como ya se indicó, se han categorizado las experiencias prácticas de las investigaciones analizadas en cuatro tipos diferentes: proyecto de investigación temporal, proyecto de investigación temporal sobre plataforma permanente, piloto con proyección de futuro, y proyecto consolidado.

La mayor parte de las investigaciones son del primer y segundo tipo. Se han identificado cinco artículos en los que se utilizan cuatro plataformas que se pueden emplear en el desarrollo de metaversos para la educación, además de los cuatro artículos citados al principio de este punto por estar relacionados con desarrollos en la universidad, hay un quinto artículo escrito en México (George Reyes, 2020) donde se destaca también la dificultad de implantación de estas tecnologías por la brecha digital existente en muchos países. Este es un tema que se olvida con frecuencia y que necesitaría de mucha más atención en las investigaciones.

En la misma línea es interesante un artículo (Mustafa & Khan, 2022), en el que se propone al gobierno de una región poco desarrollada de la India la implantación de metaversos en los colegios públicos para mejorar los resultados.

Un desarrollo interesante es la plataforma GAPc (Brassinne et al., 2020) donde mediante gamificación se ayuda a alumnos que están terminando el bachillerato o empezando la universidad a refrescar y consolidar sus conocimientos de química. Ya se está utilizando en algunos cursos universitarios de verano, pero no se ha incluido como piloto debido a que actualmente está solo adscrito al ámbito universitario.

En relación a los dos pilotos encontrados, en Holly et al. (2021) y después de varios años desarrollando y probando una plataforma para enseñar física, consideran que los metaversos tienen un gran potencial, pero que aún deben superar varios retos antes de poder estar disponibles para los centros educativos. En el otro piloto (Loula

et al., 2014), se desarrolló una experiencia virtual donde enseñar biología con un ecosistema existente en Brasil, pero lleva varios años sin ningún avance.

No se ha podido encontrar ningún artículo en el que se trate sobre un proyecto consolidado en un centro educativo. Como se indica en Guan et al. (2022), los metaversos en las aplicaciones pedagógicas están todavía lejos del objetivo ideal que muchos tienen, por lo que son necesarios costes menores, más investigación y experimentación para que los centros educativos puedan empezar a usarlos.

5.4. El uso de metaversos y el interés de los alumnos en STEM

Desde hace algunos años se viene discutiendo la necesidad del incremento de estudiantes de STEM, como en Zeidler (2016) y en el informe que se presentó en 2012 al presidente de los EE.UU. (Olson & Donna, 2012). Esto ha llevado a cuestionar si la utilización de metaversos en la enseñanza de asignaturas científicas y tecnológicas puede ayudar con este objetivo (Reilly et al., 2021).

De los artículos analizados, en la mayoría se mejora el interés por la asignatura incluida, excepto en uno donde el resultado fue negativo (Fiorella et al., 2019) y tres donde no se trató el tema (Abdulrahman Alrehaili, 2022; Gadille et al., 2023; Hernández et al., 2022). Por otro lado, solo en el mismo artículo de Fiorella et al. (2019) se indica que no se observan mejoras en habilidades STEM, mientras que en otros siete no se analiza y en los restantes 13 si se detecta algún tipo de mejora. Esto refuerza las conclusiones anteriores sobre las mejoras en el interés y en los resultados, aunque más enfocados a las STEM.

Solo se identificaron seis artículos que tratan explícitamente el uso de los metaversos como potenciador del interés de los alumnos en las STEM y el incremento en su intención de estudiarlas. De estos seis, hay dos (Reilly et al., 2021; Simsek, 2016) en los que el resultado es negativo, aunque lo atribuyen en buena parte a que los alumnos son de 1º de la ESO, por lo que el interés por estudios superiores les resulta lejano. Otras cuatro investigaciones (Brassinne et al., 2020; Domik et al., 2013; Hodges et al., 2018; Holly et al., 2021) llegan a resultados positivos.

6. CONCLUSIONES

La motivación inicial que dio lugar a esta revisión sistemática fue conocer el estado del arte de los metaversos en general, y en la educación en particular. Se considera que se han obtenido algunos resultados significativos, lo que unido a lo actual del tema y a la no localización de otras investigaciones que cubran algunos de sus puntos más destacados, hace que el estudio tenga sentido y relevancia.

De los resultados obtenidos, se puede concluir que la producción científica que trata sobre metaversos y educación ha sido bastante prolífica en los últimos 10 años, incluyendo los estudios que se han centrado en NS y STEM. Además, es interesante comprobar que España es el segundo país en producción científica, y que en los últimos años esta producción se ha desplazado hacia Asia-Pacífico.

La mayoría de los estudios se realizaron en países desarrollados, lo que plantea el análisis de posibles retrasos de muchos países por el efecto de la brecha tecnológica. No obstante, parece que se mejora en este punto en los últimos años ya que la producción científica empieza a incluir bastantes artículos de países en desarrollo.

Aún cuando las distintas investigaciones se enfocan en temas diversos, la mayoría destacan ventajas por el uso de metaversos, y en especial en motivación y aprendizaje. Sería interesante investigar si la motivación esta principalmente asociada a la novedad y si un uso habitual podría hacer que el resultado cambiase.

Hay investigaciones en las que parece faltar un equilibrio entre los expertos en diferentes disciplinas. Esto debe tenerse en consideración en futuras investigaciones procurando siempre constituir equipos multidisciplinares que incluyan tanto personal especializado es tecnología como expertos en educación.

Se ha destacado en los últimos años la necesidad de incrementar el número de alumnos de STEM. En los estudios analizados que tratan esta necesidad se concluye que los metaversos pueden ayudar en este objetivo, lo que hace pertinente realizar más investigaciones sobre esta necesidad.

Si bien el concepto de metaverso nos ha acompañado durante más de 30 años, y se ha comprobado que despierta interés y que ofrece mejoras cuando se usa en un modelo mixto junto a métodos más tradicionales, su utilización en los centros educativos no acaba de consolidarse, debido a diferentes factores como el elevado coste del equipamiento, la complejidad tecnológica y la dificultad de uso para los profesores.

Es difícil prever cuando se producirá el despegue definitivo de estas tecnologías en la educación, ya que si bien por un lado los costes y la complejidad van mejorando y empieza a haber más profesores que han crecido utilizando tecnología, también es cierto que no dejan de aparecer noticias contradictorias. La pandemia del COVID-19 supuso un nuevo empuje, que fue respaldado por las noticias de empresas del mundo digital como Meta comprometiéndose a hacer grandes inversiones. Sin embargo, poco después Meta anunció que cambiaba su estrategia y paraba sus inversiones en metaversos al tiempo que la foto se desplazaba hacia la inteligencia artificial. Hace apenas unos días Apple sorprendió al mercado con sus nuevas gafas Vision Pro, que suponen un cambio radical en la forma de aproximación a los metaversos y que puede hacer que de nuevo se acelere su implantación.

No obstante, no solo es necesario que evolucione la tecnología y que se reduzcan los costes, es igualmente importante la realización de nuevas investigaciones que analicen la parte humana y la pedagógica y que definan la mejor forma de utilizar estas tecnologías en las aulas. También son necesarios estudios que investiguen los riesgos que, aunque son nombrados en algunas investigaciones, no se profundiza en ellos. En particular, sería relevante investigar si las emisiones de las gafas virtuales pueden dañar de alguna forma al cerebro. Otro punto relevante para investigar es el efecto en estudiantes con necesidades especiales que, si bien pueden incluir riesgos y retos adicionales, también pueden implicar una ayuda importante para que puedan enfrentarse a sus limitaciones. Por último y no menos importante, es necesario el avanzar en el desarrollo de una legislación específica.

En este estudio el foco ha estado en NS y STEM, que supone solo el 20% de los artículos encontrados. Una extensión del estudio a todas las etapas educativas y una comparación de los resultados podría proporcionar conclusiones reveladoras.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulrahman Alrehaili, E. (2022). A virtual reality role-playing serious game for experiential learning. *Interactive Learning Environments*, 30(5), 922-935. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1703008>
- Anacona, J. D., Millán, E. E., & Gómez, C. A. (2019). Aplicación de los metaversos y la realidad virtual en la enseñanza. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 13(25), 59-67. <https://doi.org/10.31908/19098367.4015>
- Brassinne, K., Reynders, M., Coninx, K., & Guedens, W. (2020). Developing and implementing GAPc, a gamification project in chemistry, toward a remote active student-centered chemistry course bridging the gap between precollege and undergraduate education. *Journal of Chemical Education*, 97(8), 2147-2152. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00986>
- Cho, Y. H., & Lim, K. Y. T. (2017). Effectiveness of collaborative learning with 3D virtual worlds: Collaborative learning. *British Journal of Educational Technology*, 48(1), 202-211. <https://doi.org/10.1111/bjet.12356>
- Cline, E. (2011). *Ready player one*. Crown Publishing Group.
- Dede, C., Grotzer, T. A., Kamarainen, A., & Metcalf, S. (2017). EcoXPT: Designing for deeper learning through experimentation in an immersive virtual ecosystem. *Educational Technology & Society*, 20(4), 166–178. <http://nrs.harvard.edu/urn-3:HUL.InstRepos:37231211>
- Domik, G., Arens, S., Stilow, P., & Friedrich, H. (2013). Helping high schoolers move the (virtual) world. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 33(1), 70-74. <https://doi.org/10.1109/MCG.2013.6>
- Ernawati, D., & Ikhsan, J. (2021). Fostering students' cognitive achievement through employing virtual reality laboratory (VRL). *International Journal of Online and*

Biomedical Engineering (IJOE), 17(13), 44-58.

<https://doi.org/10.3991/ijoe.v17i13.24529>

European Centre for the Development of Vocational Training. (2021). *Spotlight on VET, 2020 compilation: Vocational education and training systems in Europe*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2801/667443>

Fiorella, L., Kuhlmann, S., & Vogel-Walcutt, J. J. (2019). Effects of playing an educational math game that incorporates learning by teaching. *Journal of Educational Computing Research*, 57(6), 1495-1512. <https://doi.org/10.1177/0735633118797133>

Firdus, E., Rustamova, D., Veyis, A., & Talibov, Z. (2023). Virtual reality in training impact on students of educational programs in augmented reality. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 14, 7-7-11. Academic Search Ultimate. <https://doi.org/10.47750/pnr.2023.14.S02.02>

Gadille, M., Corvasce, C., & Impedovo, M. (2023). Material and socio-cognitive effects of immersive virtual reality in a French secondary school: Conditions for innovation. *Education Sciences*, 13(3), 251. <https://doi.org/10.3390/educsci13030251>

George Reyes, C. E. (2020). Percepción de estudiantes de bachillerato sobre el uso de Metaverse en experiencias de aprendizaje de realidad aumentada en matemáticas. *Pixel-Bit Revista de Medios y Educación*, 58, 143-159. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.74367>

Guan, S., Li, G., & Fang, J. (2022). Optimization of 3D virtual reality technology in high school physics direct-type teaching. *Wireless Communications and Mobile Computing 2022*, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2022/8475594>

- Guerrero, G., Ayala, A., Mateu, J., Casades, L., & Alamán, X. (2016). Integrating virtual worlds with tangible user interfaces for teaching mathematics: A pilot study. *Sensors*, *16*(11), 1775. <https://doi.org/10.3390/s16111775>
- Hernández, L., Hernández, V., Neyra, F., & Carrillo, J. (2022). The use of massive online games in game-based learning activities. *Revista Innova Educación*, *4*(3), 7-30. <https://doi.org/10.35622/j.rie.2022.03.001>
- Hodges, G. W., Wang, L., Lee, J., Cohen, A., & Jang, Y. (2018). An exploratory study of blending the virtual world and the laboratory experience in secondary chemistry classrooms. *Computers & Education*, *122*, 179-193. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.03.003>
- Holly, M., Pirker, J., Resch, S., Brettschuh, S., & Gütl, C. (2021). Designing VR experiences-expectations for teaching and learning in VR. *Educational Technology & Society*, *24*(2), 107–119.
- Jacobson, M. J., Taylor, C. E., & Richards, D. (2016). Computational scientific inquiry with virtual worlds and agent-based models: New ways of doing science to learn science. *Interactive Learning Environments*, *24*(8), 2080-2108. <https://doi.org/10.1080/10494820.2015.1079723>
- Kye, B., Han, N., Kim, E., Park, Y., & Jo, S. (2021). Educational applications of metaverse: Possibilities and limitations. *Journal of Educational Evaluation for Health Professions*, *18*, 32. <https://doi.org/10.3352/jeehp.2021.18.32>
- Lee, L.-H., Braud, T., Zhou, P., Wang, L., Xu, D., Lin, Z., Kumar, A., Bermejo, C., & Hui, P. (2021). All One Needs to Know about Metaverse: A Complete Survey on Technological Singularity, Virtual Ecosystem, and Research Agenda. *Journal Of Latex Class Files*, *14*(8). <https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.05352>

Ley 10/2021, de 9 de julio, de trabajo a distancia. Boletín Oficial del Estado, 164, de 10 de julio de 2021, 82540-82583. <https://www.boe.es/eli/es/l/2021/07/09/10>

Ley 34/2002, de 11 de julio, de servicios de la sociedad de la información y de comercio electrónico. Boletín Oficial del Estado, 166, de 12 de julio de 2002, 25388-25403. <https://www.boe.es/eli/es/l/2002/07/11/34>

Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de datos Personales y garantía de los derechos digitales. Boletín Oficial del Estado, 294, de 6 de diciembre de 2018, 119788-119857. <https://www.boe.es/eli/es/lo/2018/12/05/3>

Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Boletín Oficial del Estado, 340, de 30 de diciembre de 2020, 122868-122953. <https://www.boe.es/eli/es/lo/2020/12/29/3>

Ley Orgánica 8/2021, de 4 de junio, de protección integral a la infancia y la adolescencia frente a la violencia. Boletín Oficial del Estado, 134, de 5 de junio de 2021, 68657-68730. <https://www.boe.es/eli/es/lo/2021/06/04/8>

Liu, F.-J., & Yeh, C.-C. (2022). The influence of competency-based VR learning materials on students' problem-solving behavioral intentions—taking environmental issues in junior high schools as an example. *Sustainability*, 14(23), 16036. <https://doi.org/10.3390/su142316036>

López-Belmonte, J., Pozo-Sánchez, S., Carmona-Serrano, N., & Moreno-Guerrero, A.J. (2022). Flipped learning and e-learning as training models focused on the metaverse. *Emerging Science Journal*, 6, 188-198. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2022-SIED-013>

Loula, A. C., De Castro, L. N., Apolinário, A. L., Da Rocha, P. L. B., Carneiro, M. D. C. L., Reis, V. P. G. S., Machado, R. F., Sepulveda, C., & El-Hani, C. N. (2014). Modeling a virtual world for the educational game calangos. *International*

Journal of Computer Games Technology, 2014, 1-14.
<https://doi.org/10.1155/2014/382396>

Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., & Davis, T. J. (2014). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education*, 70, 29-40. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033>

Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital de España. (2020). *España Digital 2025*. Gobierno de España. https://avancedigital.mineco.gob.es/programas-avance-digital/Documents/EspanaDigital_2025_TransicionDigital.pdf

Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital de España. (2021). *Carta de Derechos Digitales*. https://www.lamoncloa.gob.es/presidente/actividades/Documents/2021/140721-Carta_Derechos_Digitales_RedEs.pdf

Mustafa, M. A., & Khan, S. (2022). Evaluating the potential of Metaverse and its impact on primary and secondary school education in Jammu & Kashmir. *Gap Bodhi Taru - A Global Journal of Humanities*, 5(4), 145-155. <https://doi.org/10.47968/gapbodhi.540032>

Olson, S., & Donna, G. R. (2012). *Engage to Excel: Producing one million additional college graduates with degrees in science, technology, engineering, and mathematics*. Executive Office of the President. <https://eric.ed.gov/?id=ED541511>

Onggirawan, C. A., Kho, J. M., Kartiwa, A. P., Anderies, & Gunawan, A. A. S. (2023). Systematic literature review: The adaptation of distance learning process during the COVID-19 pandemic using virtual educational spaces in metaverse.

Procedia Computer Science, 216, 274-283.

<https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.137>

Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C.

D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville,

J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-

Wilson, E., McDonald, S., ... Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración

PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de revisiones

sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799.

<https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>

Pellas, N. (2014). The development of a virtual learning platform for teaching

concurrent programming languages in the Secondary Education: The use of

Open Sim and Scratch4OS. *Journal of E-Learning and Knowledge Society*,

10(1), 107-121. <https://doi.org/10.20368/1971-8829/876>

Prieto, J. D. L. F., Lacasa, P., & Martínez-Borda, R. (2022). Approaching metaverses:

Mixed reality interfaces in youth media platforms. *New Techno Humanities*,

2(2), 136-145. <https://doi.org/10.1016/j.techum.2022.04.004>

Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto

refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, regularizando, aclarando y

armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia. Boletín

Oficial del Estado, 97, de 22 de abril de 1996, 14369-14396.

<https://www.boe.es/eli/es/rdlg/1996/04/12/1>

Reilly, J. M., McGivney, E., Dede, C., & Grotzer, T. (2021). Assessing science identity

exploration in immersive virtual environments: A mixed methods approach. *The*

Journal of Experimental Education, 89(3), 468-489.

<https://doi.org/10.1080/00220973.2020.1712313>

Saul, D. (2023, April 26). Meta stock surges to 14-month high after earnings beat-even as it bleeds billions of dollars in the Metaverse. *Forbes.com*.
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=buh&AN=163338597&site=eds-live>

Simsek, I. (2016). The effect of 3D virtual learning environment on secondary school third grade students' attitudes toward mathematics. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 15(3), 162-168. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1106361>

Stephenson, N. (1992). *Snow crash*. Bantam Books.

Sternig, C., Spitzer, M., & Ebner, M. (2017). *Learning in a virtual environment: implementation and evaluation of a VR math-game: Vol. mobile technologies and augmented reality in open education*. IGI Global.
<https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2110-5.ch009>

Tlili, A., Huang, R., Shehata, B., Liu, D., Zhao, J., Metwally, A. H. S., Wang, H., Denden, M., Bozkurt, A., Lee, L.-H., Beyoglu, D., Altinay, F., Sharma, R. C., Altinay, Z., Li, Z., Liu, J., Ahmad, F., Hu, Y., Salha, S., ... Burgos, D. (2022). Is Metaverse in education a blessing or a curse: A combined content and bibliometric analysis. *Smart Learning Environments*, 9(1).
<https://doi.org/10.1186/s40561-022-00205-x>

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2022). *Informe sobre el Desarrollo Mundial de las Telecomunicaciones/TIC y base de datos*. Grupo Banco Mundial.
<https://datos.bancomundial.org/indicador/IT.CEL.SETS?end=2021&start=1980&view=chart>

- V. Mikhailova, O. (2019). High school students involved and not involved in MMORPG: Creativity and innovativeness. *International Journal of Cognitive Research in Science Engineering and Education*, 7(2), 29-39. <https://doi.org/10.5937/IJCRSEE1902029M>
- Wu, B., Yu, X., & Gu, X. (2020). Effectiveness of immersive virtual reality using head-mounted displays on learning performance: A meta-analysis. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 1991-2005. <https://doi.org/10.1111/bjet.13023>
- Zeidler, D. L. (2016). STEM education: A deficit framework for the twenty first century? A sociocultural socioscientific response. *Cultural Studies of Science Education*, 11(1), 11-26. <https://doi.org/10.1007/s11422-014-9578-z>

7. ANEXO I

En la tabla 2 se comentan las herramientas software y hardware utilizadas en los artículos y se incluye los enlaces a sus páginas. Esta tabla tiene por objeto facilitar el acceso a dichas herramientas a aquellos lectores que deseen profundizar en la parte más técnica de los artículos.

Se ha ordenado la tabla por el año de publicación del artículo para que sirva de referencia en cuanto a la antigüedad de la herramienta. Cuando se haya explicado una herramienta y se repita en una nueva fila, no se incluirá de nuevo la descripción.

Tabla 2

Herramientas utilizadas en los artículos

Autor	Año	Herramienta (Nombre)	Descripción Herramienta	Enlace Web
Domik et al.	2013	OpenGL (Move the World)	Prácticas en la que los alumnos programan problemas matemáticos en OpenGL Se nombra un desarrollo que evolucionó a esta página web de ofrece simulaciones gratuitas	https://phet.colorado.edu/es/
Loula et al.	2014	Desarrollo a medida con C++ (Calagos)	Calagos es un juego de simulación 3D, no actualizado desde hace años	https://calagos.sourceforge.net/
Pellas	2014	OpenSim y Scratch4OS	OpenSim (mundo virtual 3D comercial) y Scratch4OS (2D entorno de programación 2D)	https://opensim.stanford.edu https://scratch.mit.edu
Guerrero et. al.	2016	OpenSim y Virtual Touch	Virtual Touch permite integrar diferentes tipos de interfaces tangibles y diferentes tipos de tecnologías hardware con mundos virtuales	https://virtualtouch.tech/
Simsek	2016	Second Life	Mundo virtual enfocado a las relaciones sociales	https://secondlife.com

Autor	Año	Herramienta (Nombre)	Descripción Herramienta	Enlace Web
Jacobson et al.	2016	Unity3D	Los productos creados se llaman 3D Omosa Virtual World y Omosa NetLogo Agent Based Model	http://unity3d.com/
Dede et al.	2017	EcoXPT y EcoMUVE	EcoXPT (Ecology Experiential Platform for Teaching) y EcoMUVE (Ecological Multi-User Virtual Environment), de la Universidad de Harvard	https://ecolearn.gse.harvard.edu/projects/ecoxpt
Sternig et al.	2017	Google Cardboard	Plataforma de realidad virtual (VR) desarrollada por Google	https://arvr.google.com/
Cho & Lim	2017	Sin identificar	-	-
Hodges et al.	2018	SenseMaker y WISE	SenseMaker: de Cognitive Edge. Permite recopilar, analizar y comprender datos en forma de narrativas. WISE: entorno web para apoyar el aprendizaje de la ciencia a través de la indagación	https://wise.berkeley.edu/es/ https://gizmos.explorelearning.com/
Fiorella et al.	2019	Sin identificar	Mundo Virtual comercial no identificado	-
George Reyes	2020	Metaverse	Plataforma comercial para crear mundos virtuales con RA	https://studio.gometa.io/landing
Brassinne et al.	2020	OpenEducation (GAPc)	Construido en la plataforma de OpenEducation, que pertenece a la empresa Blackboard	https://documentserver.uhasselt.be/handle/1942/31303
Reilly et al.	2021	EcoXPT y EcoMUVE	-	https://ecolearn.gse.harvard.edu/projects/ecoxpt
Holly et al.	2021	Unity 3D (Maroon)	Laboratorio interactivo virtual de física creado con el motor de desarrollo de videojuegos multiplataforma Unity3D	https://maroon.tugraz.at
Ernawati & Ikhsan	2021	Unity 3D y Blender	Blender es un programa de modelado, animación y renderizado en 3D, de código abierto y gratuito	https://www.blender.org/

Autor	Año	Herramienta (Nombre)	Descripción Herramienta	Enlace Web
Hernández et al.	2022	Roblox Corporation	Plataforma comercial de juegos MMORPG (juego de rol multijugador masivo en línea)	https://www.roblox.com
Guan et al.	2022	Unity 3D y 3Ds MAX	3Ds Max es un software de modelado, animación y renderización 3D desarrollado por Autodesk	https://www.autodesk.es/products/3ds-max/free-trial
Liu & Yeh	2022	Unity 3D y otros	Unity 3D, autodesk Maya, Apache XAMPP, gafas Oculus Quest 2	-
Abdulrahman Alrehaili	2022	Unity 5.5 game engine. Lenguaje C. Oculus DK2	Desarrollo a medida	https://navigator.innovation.ca/en/facility/university-ottawa/distributed-and-collaborative-virtual-environments-research-discover-laboratory
Gadille et al.	2023	Sin identificar	-	-