

Educación STEM en Matemática

Mario Marín Sánchez^a y Juan Miguel Ribera Puchades^b

^a *Escuela de Matemática, Instituto Tecnológico de Costa Rica*

^b *Departamento de Ciencias Matemáticas e Informáticas, Universitat de les Illes Balears, España*

1.1 Introducción

En la actualidad, la educación se ha convertido en uno de los temas más sensibles y prioritarios en la agenda política. Su relevancia radica en su estrecha relación con el desarrollo integral y sostenible de los países y sus ciudadanos. En este contexto, dos vertientes fundamentales plantean desafíos significativos que requieren transformación y adaptación.

Por un lado, presenciamos cambios tecnológicos vertiginosos, una explosión en el crecimiento y valor de la información, la volatilidad en el concepto de individuo y su contexto, la creciente competitividad, la evolución de perfiles profesionales, así como la irrupción de tecnologías digitales como los Chatbots y la realidad aumentada, entre otros elementos. Por otro lado, en países como Costa Rica, se refleja un deterioro en el desempeño de los estudiantes, lo cual se manifiesta en los resultados de pruebas internacionales, como las pruebas PISA, y en informes nacionales, como el informe del estado de la educación. Estos factores exigen un análisis profundo y la búsqueda de alternativas para transformar la educación, fortaleciendo su papel como motor de desarrollo científico y social, y adaptándola en términos de formas y objetivos.

La educación integrada en Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM, por sus siglas en inglés) ha emergido en las últimas décadas como una alternativa prometedora para abordar debilidades en la formación académica de los estudiantes (European Schoolnet, 2018; Hasanah, 2020; Li et al., 2020). Esta filosofía busca orientar la educación hacia el desarrollo de habilidades relacionadas con las vocaciones STEM y promover una alfabetización que concientice sobre la naturaleza de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas, fomentando la integración de estas disciplinas.

Otros factores respaldan esta filosofía, la creencia de que los graduados con conocimientos STEM prácticos serán altamente demandados en todos los sectores laborales (Bybee, 2010), y la convicción de que la educación y la investigación en esta área son fundamentales para el desarrollo, la productividad, la competitividad y el bienestar (Freeman et al., 2019). Además, estudios ocupacionales y proyecciones de desarrollo indican que las ocupaciones STEM son las que experimentarán un mayor crecimiento y demanda (Noonan, 2017).

Ante este desafío, los países deben reevaluar sus enfoques, basándose en una interpretación adecuada del pasado, el presente y el futuro, pero siempre considerando la realidad nacional. Factores como el acceso a la educación, la capacidad real de los docentes, la cultura del cuerpo docente y de los administradores, y las desigualdades geográficas, socioeconómicas, de género y étnicas, deben ser abordados como pasos preliminares en la toma de decisiones.

En este capítulo, ofreceremos una visión parcial sobre la educación STEM en el escenario educativo global y costarricense. Nos interesa reflexionar sobre el concepto, su origen, complejidad y potencial, prestando especial atención a los elementos clave de la filosofía y a cómo estos pueden representar un punto de inflexión en ciertas prácticas educativas, en especial si son interiorizados adecuadamente por los distintos actores. Todo esto se complementará, a su vez, con una colección de herramientas tecnológicas y de propuestas educativas de matemáticas en contextos STEM que permitan ilustrar las múltiples posibilidades de este enfoque educativo.

En última instancia, como apunta Boyd (1978), los propósitos de la escuela pública y el currículo son medios para llevar a cabo objetivos políticos. En ese contexto, STEM es un fenómeno político complejo, nacido en un escenario particular, con una intención específica que se ha extrapolado de diversas maneras a otros contextos, no siempre equivalentes al original, pero impulsados por tentadoras promesas de desarrollo social, económico y científico. Es necesario entender mejor las conexiones

de la educación STEM con la investigación, la salud económica de la nación y el bienestar de sus ciudadanos, siempre teniendo en cuenta el contexto específico que nos interesa (Freeman et al., 2019).

1.2 Anotaciones sobre el origen del concepto

Aunque el término “educación STEM” se acuñó a inicios de este siglo, sus raíces filosóficas se remontan a 1958 (Daugherty, 2013), e incluso antes, ya que desde la década de los 30 se hablaba de enfoques transversales que establecían conexiones interdisciplinarias entre las asignaturas (Drake y Reid, 2020). También en la década de los 70 surgieron movimientos educativos que abogaban por la enseñanza de las ciencias como una unidad del conocimiento científico basada en las contribuciones de cada disciplina particular (Dillashaw y Okey, 1980).

Estos movimientos cobraron mayor relevancia en el contexto de una serie de propósitos políticos en los Estados Unidos de América, inicialmente centrados en objetivos económicos y de hegemonía, y posiblemente influidos por reclamos sociales en un segundo plano. Estas ambiciones respondieron a llamados para mejorar diversos aspectos de la educación, haciendo hincapié en el fomento de la investigación y la competitividad (Mohr-Schroeder et al., 2022), la promoción de las matemáticas y las ciencias para atraer a estudiantes hacia carreras STEM (Freeman et al., 2014) y la visión de las matemáticas y las ciencias como componentes fundamentales de la educación científica.

A mediados de la década de los 90, surgió un nuevo elemento en esta evolución de la educación, proponiendo una orientación hacia una ciencia para todos. Por ejemplo, en el foro del National Institute for Science Education, “Indicators of success in post-secondary SME&T education: Shapes of the future”, realizado en 1998, se evidenció la atención hacia la educación SMET y la opinión de algunos de los participantes sobre la necesidad de una competencia científica básica para todos (Millar, 1998), así como el fortalecimiento de la discusión en temas relacionados con esta dinámica de integración.

En resumen, se puede situar el origen del término SMET (Science, Mathematics, Engineering and Technology) a mediados de la década de 1990 cuando la National Science Foundation (NSF) incluye formalmente la ingeniería y la tecnología con la matemática y las ciencias en la educación preuniversitaria. A partir de este momento las referencias a la educación en ciencias naturales y físicas, las matemáticas, la ingeniería y la tecnología (SMET), empiezan a aparecer en la literatura especializada apuntalando la necesidad expresa de investigación del área en aras de lograr el fortalecimiento de la educación en ciencias y matemáticas (Cooper y Robinson, 1998; Springer et al., 1999), y de reducir los problemas de deserción de los estudiantes de las carreras de corte de ingeniería, matemática, ciencias y tecnología, así como atender las grandes diferencias en la participación en estas disciplinas por sexo o etnicidad. El término SMET se cambia a STEM a principios de este siglo y es a mediados de la década del 2000 que el movimiento STEM cobra mayor relevancia (Sanders, 2009).

1.3 De las teorías a las políticas educativas

Las mayores limitaciones que enfrenta la educación para seguir el ritmo de los cambios promovidos por distintos paradigmas, como el constructivismo en boga a finales del siglo pasado o la educación STEM en las últimas décadas, están relacionadas con varios factores. Uno de los más destacados es la limitada flexibilidad del sistema educativo para transformarse a sí mismo, especialmente para incorporar los cambios sociales, generacionales y tecnológicos que naturalmente suceden y están interrelacionados entre sí, lo que complica las transformaciones en la educación.

También, elementos relacionados con el cuerpo de docentes y administradores, con sus contextos y creencias, que influye en cómo interpretan y ejecutan las acciones necesarias para generar las transformaciones propuestas. Además, la complejidad detrás de las transformaciones mismas que pueden hacer que las ideas centrales sean ambiguas y se tiendan a entender e implementar de formas diferentes.

No podemos pasar por alto el hecho de que ninguna política educativa o movimiento de cambio en educación tendrá un efecto positivo y relevante si no convergen al menos tres aspectos vitales: políticas claras en diversas esferas administrativas, un conocimiento profundo por parte de los docentes y administradores de la educación que lleve a una comprensión compartida de los conceptos, especialmente cuando son complejos, y, finalmente, una voluntad de acción consecuente con los dos puntos anteriores. Es importante destacar que las transformaciones significativas en educación requieren largos periodos de asimilación y adaptación. El paradigma de la educación STEM también está sujeto a estos factores.

De acuerdo con lo descrito en (Tanenbaum, 2016), informe elaborado por un grupo de expertos que incluye formadores de políticas educativas, investigadores, educadores y líderes de la industria, se establecen metas para la educación STEM, como cerrar las brechas educativas y económicas, satisfacer las demandas de una economía impulsada por la tecnología, garantizar la seguridad nacional y mantener la preeminencia en la investigación científica y la innovación tecnológica. Aunque estas metas son de gran relevancia en el desarrollo humano, también es cierto que esta visión puede ser ajena a muchos países en desarrollo.

En el caso de países como Costa Rica, esta visión coincide en la necesidad de abordar necesidades humanas fundamentales, como cerrar las brechas educativas y económicas, pero se distancia en las aspiraciones de mantener una preeminencia mundial en investigación científica e innovación. Para muchos países en desarrollo, una aspiración real podría ser reducir las brechas socioeconómicas o en investigación y tecnología, lo que permitiría un crecimiento más sólido y coherente con los objetivos de desarrollo sostenible. Sin embargo, es importante reconocer que las metas STEM en las políticas de desarrollo pueden ser ambiciosas, pero también están sujetas a elementos que aún no se han resuelto.

A pesar de los años transcurridos desde que se planteó la tendencia STEM, el término sigue siendo descrito como ambiguo en muchas referencias (European Schoolnet, 2018; Holmlund et al., 2018; Martín-Páez et al., 2019), y las investigaciones actuales sobre STEM alertan sobre su complejidad. Esto se debe a la diversidad de enfoques e interpretaciones, así como a la falta de esquemas que permitan la implementación de muchas de estas ideas (Stohlmann et al., 2012; Li et al., 2020; Aguilera et al., 2021). Una respuesta razonable a este escenario puede derivarse de afirmaciones de autores como Freeman et al. (2019), que plantean la existencia de paralelismos y similitudes significativas en los enfoques políticos y educativos entre países con respecto a la educación STEM.

Estas coincidencias pueden servir como base para establecer escenarios de trabajo, reconociendo que estas propuestas se han vuelto estratégicamente importantes para todos los países. Por lo tanto, no es factible esperar a tener un escenario ideal para emprender acciones.

A nivel de políticas educativas y estrategias didácticas concretas, debemos buscar enfoques apropiados para definir acciones específicas que favorezcan las metas STEM. Es importante tener en cuenta que las diferencias en varios aspectos requieren enfoques distintos, pero lo esencial es que aquellos que trabajan en el mismo sistema construyan conjuntamente una visión que brinde oportunidades para que todos los estudiantes alcancen metas de alto nivel relacionadas con STEM. Estos elementos comunes deben ser coherentes con los objetivos y metas de desarrollo específicos y están supeditados a un contexto particular.

Para Holmlund et al. (2018), dada la variedad de prácticas institucionalizadas y contextos escolares dentro de los cuales se promulga la educación STEM, podría ser más importante la uniformidad de las prácticas STEM en contextos locales. En el mismo sentido, Bybee (2010) puntualiza que la convergencia de criterios tiene un carácter local, a pesar de que muchas de las ideas y aportes en investigación sean globales.

1.4 Elementos comunes en la educación STEM

La educación STEM es un entramado complejo de aspiraciones sobre cómo articular esfuerzos y recursos en función de lograr un ideal de competencias de formación propias de las demandas del siglo XXI. Si bien no existe una conceptualización común del concepto es posible encontrar puntos de convergencia que se conviertan en puntos de partida robustos hacia las metas STEM.

Bybee (2010) resume tres elementos centrales asociados a la educación STEM, el reconocimiento de la importancia de la ciencia por su estrecha relación con la tecnología y la ingeniería en el currículo escolar, de alguna manera este reconocimiento hacia la matemática siempre ha existido, también, ante la profunda influencia que tiene la tecnología en nuestras vidas, el énfasis que recibe ésta en los programas educativos debe valorarse y ampliarse. Y en la misma línea del punto previo, el rol de la ingeniería en los programas en referencia a que esta disciplina está directamente involucrada en la resolución de problemas y en la innovación.

Thibaut et al. (2018), en una revisión sobre prácticas instruccionales STEM, organizan una serie de elementos que de alguna forma están presentes en la bibliografía, en la misma línea lo hacen Stohlmann et al. (2012) en una reflexión que trata de identificar acciones relevantes. Todas estas "recomendaciones" enfatizan la necesidad de contemplar elementos sociales, étnicos, cognitivos, técnicos, de recursos y políticos, entre otras cosas, al momento de establecer acciones en la educación STEM. De estas revisiones se rescatan.

- Promover la participación en actividades auténticas, por ejemplo, rutas de solución propias basadas en pensamiento inductivo o abductivo, reflexionar, proponer, desarrollar y justificar.
- Fomentar herramientas del siglo XXI como pensamiento crítico, creatividad y trabajo en equipo. Enfocarse en problemas del mundo real como eje para integrar a los estudiantes en los procesos de aprendizaje, esta es una tarea compleja que implica aspectos tanto cognitivos como afectivos, aparte de la complejidad de elegir problemas que promuevan STEM.
- Involucrar a los estudiantes en actividades que les permitan el diseño y la evaluación a partir de datos recopilados, incluido el rediseño y la reingeniería.
- Integración de contexto como elemento generador del aprendizaje apuntalando la necesidad explícita de fomentar en los estudiantes la reflexión y el razonamiento basado en evidencias y el contexto.

Entre los elementos discutidos uno de ellos ha mostrado mayor complejidad, la integración disciplinar. De manera simple, se trata de establecer conexiones interdisciplinarias y transdisciplinarias, no solo entre las disciplinas mismas, sino que también entre ellas y el contexto. Pero la situación real es que no hay una definición común del concepto y tampoco hay claridad sobre cómo enfocar los aspectos de integración (Li et al., 2020; Aguilera et al., 2021). Sin adentrarnos mucho en esta discusión, que es compleja, se reconocen distintos abordajes para la integración de contenidos. Unos más amplios e inclusivos promueven tanto las disciplinas individuales Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas, como las combinaciones interdisciplinarias o transdisciplinarias entre ellas. Otros más restrictivos que referencian solo la interdisciplinariedad o las combinaciones transdisciplinarias de las disciplinas individuales (Li et al., 2020; Aguilera et al., 2021).

También hay enfoques más abiertos, por ejemplo, en el reporte European Schoolnet (2018), una educación STEM integradora generalmente implica una enseñanza multidisciplinaria y está dirigida a desarrollar las habilidades de los estudiantes para formular y resolver problemas, así como su capacidad para contextualizar conceptos científicos en situaciones de la vida real. Se centra en el fortalecimiento de algunas disciplinas y en la forma de enseñarlas en un currículo más integrado que fomente el desarrollo de habilidades como razonamiento crítico, creatividad, resolución de problemas, entre otras, y establecer puentes entre las distintas disciplinas STEM y de estas con problemas del mundo real.

Aunado a esto no hay homogeneidad sobre cuáles son las disciplinas STEM (Xie et al., 2015), pero al menos sí la hay sobre el hecho de que las Ciencias, la Tecnología, la Ingeniería y la Matemática son el núcleo STEM (Freeman et al., 2014).

Sobre este tema de la integración algunos autores (Razi y Zhou, 2022) han propuesto distintos niveles: centrados en las disciplinas, multidisciplinarias, interdisciplinarias y disciplinar-integrado. De igual forma, otros autores como Aguilera et al. (2022) proponen tres niveles: multidisciplinar, interdisciplinar y transdisciplinar. Solo como referencia de esta complejidad se citan algunas definiciones en la literatura que ayudarán a comprender mejor estas diferencias de enfoque:

Educación STEM [. . .] es un plan de estudios basado en la idea de educar a los estudiantes en cuatro disciplinas específicas: ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, en un enfoque interdisciplinario y aplicado. En lugar de enseñar las cuatro disciplinas como materias separadas y discretas, STEM las integra en un paradigma de aprendizaje cohesivo basado en aplicaciones del mundo real. (Kakarndee et al., 2018, p. 3).

El enfoque integrador de la educación STEM implica la integración de al menos dos disciplinas STEM al tener en cuenta los intereses y las experiencias tanto de los estudiantes como del docente, manteniendo el enfoque central de la disciplina enseñada. (Çorlu et al., 2015, p. 1715).

Para Stohlmann et al. (2012) "la educación STEM integrada es un esfuerzo por combinar algunas o todas las cuatro disciplinas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas en una clase, unidad o lección que se basa en las conexiones entre las materias y los problemas del mundo real". (p. 38).

La educación STEM integrada es el enfoque para enseñar el contenido STEM de dos o más dominios STEM, vinculados por prácticas STEM dentro de un contexto auténtico con el fin de conectar estas materias para mejorar el aprendizaje de los estudiantes. (Kelley y Knowles, 2016).

1.5 Visión de aula

La educación STEM en el aula plantea desafíos significativos debido a la diversidad de enfoques pero, a partir de la puesta en común de algunos elementos, las acciones de aula pueden orientarse hacia el fortalecimiento de acciones concretas, esto implica algún riesgo que se debe considerar.

Además de ser un problema complejo, que no tiene un abordaje común o uniforme entre los educadores e investigadores, se debe considerar que hay límites en muchos enfoques de educación STEM y que no es posible hacer enseñanza STEM en ciertos enfoques bajo todas las circunstancias. Especialmente hay que considerar la dificultad al hacer conexiones STEM transversales porque requieren que se enseñe contenido STEM deliberadamente, de manera que los estudiantes entiendan cómo el conocimiento STEM se aplica a problemas del mundo real (Kelley y Knowles, 2016).

De manera similar conectar conceptos en distintas disciplinas STEM es una tarea compleja cuando los estudiantes tienen poca a ninguna comprensión de las ideas relevantes en las áreas individuales y cuando el profesor no ha desarrollado tampoco saberes para lograr inducir esas conexiones, muchas veces ocultas para ellos mismos.

Valores STEM que desde nuestras aulas podemos gestionar de manera natural incluyen promover actividades de clase basadas en resolución de problemas, estos problemas de manera ideal deben tender puentes entre conceptos disciplinares y situaciones del mundo real.

Es recomendable no apegarse a esquemas extremos que podrían llevarnos a escenarios áridos, por ejemplo, un esquema simplista de que cada disciplina se enseña por separado y la integración se da por sí sola no es recomendable porque deja un factor central al azar. Tampoco son prácticos esquemas muy complejos que sugieren que todas las actividades de integración parten de una cohesión rigurosa de todas las disciplinas en igualdad de condiciones e hilvanadas a través de un problema del mundo real, es posible que haya escenarios para hacerlo, pero no son simples.

Enfocarse en las conexiones entre las disciplinas, entender el rol y el cómo integrar la tecnología y la ingeniería son retadoras para los docentes, pero no necesariamente imposibles.

Promover actividades centradas en el estudiante, fomentar el pensamiento autónomo, el análisis crítico, la indagación, la justificación del pensamiento, usar la evaluación como parte de la instrucción, el aprendizaje cooperativo, el uso de materiales concretos, son prácticas que no solo los docentes conocemos bien, sino también apropiadas en el desarrollo de habilidades STEM. Lo anterior debe ir asociado con el logro de objetivos generales importantes, tales como:

- Desarrollo individual. La persona debe estar más preparada para afrontar retos laborales, profesionales y ocupacionales distintos. La educación es un instrumento de transformación socioeconómica. Hoy día se demanda autonomía de aprendizaje y mayor capacidad de respuesta ante retos desconocidos, criticidad para evaluar el pensamiento y otras habilidades que deben ayudar al ciudadano a interactuar positivamente con sus similares y con el entorno tecnológico.
- Convivencia y compromiso social. La formación sustentada por valores, concepciones humanísticas y solidarias.
- Desarrollo económico del país. No podemos concebir un país de oportunidades si no produce riqueza. La educación tiene la obligación de favorecer el desarrollo de profesionales que impulsen en desarrollo económico sostenible y coherente con modelos de justicia social y equidad.

La integración de conocimientos de distintas disciplinas científicas, la ingeniería, la matemática y la tecnología han sido y seguirán siendo los factores que generan todo el desarrollo de la industria, la medicina y en general todas las áreas del conocimiento humano. En educación es razonable pensar en una integración ponderada en la que las distintas áreas asumen distintos roles en distintos momentos. STEM implica una visión de educación funcional en la que coexisten visiones de pensamiento convergente que se desarrollan alrededor de metodologías integradoras de las distintas áreas del conocimiento y alrededor de resolver una tarea académica razonablemente cercana a problemas del mundo real y visiones de pensamiento divergente muy relacionadas con la creatividad y flexibilidad en el abordaje de un problema.

A manera de resumen como educadores podemos emprender distintas acciones en la línea de la educación STEM.

- Comprender la complejidad del concepto para no caer en simplificaciones inapropiadas. Si bien el abordaje integral es complejo los elementos centrales de la filosofía STEM marcan una ruta de desarrollo con la que podemos avanzar significativamente en nuestro entorno.

- Identificar qué elementos de STEM se vuelven críticos y acomodar nuestros esfuerzos en ese sentido. Por ejemplo, para Costa Rica, el caso debe ser similar en otros contextos, en este momento exportamos trabajo profesional calificado (Computación, Ingenierías, Medicina, entre otras) y se vuelve crítico priorizar hacia dónde orientar los esfuerzos para lograr que las futuras generaciones logren una mejor integración en los entornos de trabajo, pero también que desarrollen resiliencia ante cambios.
- Reconocer que por ahora no hay una sola solución de educación STEM y que además los esfuerzos que se hagan en esta línea tendrán que competir con arraigo entre los docentes sobre el para qué, el qué y el cómo de la educación, una conceptualización implícita, que no se puede cambiar de la noche a la mañana a través de una propuesta sustituta o explícita.
- Todas las acciones cuentan. Si el maestro enseña piezas de información aislada, el estudiante lo aprende de esa forma. El reto es encontrar estrategias de enseñanza que promuevan esquemas integradores, no tienen que ser altamente complejos, pero sí tener objetivos formativos claros para el docente. Exploración a través de experiencias que evidencien y faciliten que los estudiantes establezcan conexiones, aprendan y construyan su conocimiento de la misma forma que lo hacen en su interacción con los objetos de la vida real.
- Valorar críticamente y adaptar estrategias para educación STEM. Ante la dificultad de una integración de todas las disciplinas (STEM) y de estas con otras disciplinas periféricas la integración de dos o más áreas ofrece un aporte significativo. Se ha documentado que los estudiantes que participan en clases integradas de STEM suelen estar más motivados para aprender porque la relevancia de lo que se les enseña evidencia las conexiones intra-disciplinas y con escenarios de la vida real (Satchwell y Loepp, 2015). No se trata de cual área es más importante, se trata de una dinámica que visibilice las áreas y sus conexiones, buscando que los estudiantes interioricen la interrelacionalidad en sus aprendizajes.
- Las comunidades de apoyo, el trabajo colaborativo, el análisis crítico, la generación de ideas son importantes en educación. Si como docentes somos puntos aislados poco estamos contribuyendo en construir escenarios de integración. Sinergias entre docentes, que se atrean a construir bajo ideas STEM para luego evaluar de manera crítica y mejorar mediante el trabajo en equipos, son críticas si se quieren lograr metas de alto nivel.

1.6 Matemática en el contexto STEM

En la educación STEM integrada, es esencial considerar la naturaleza intrínsecamente diferente de cada disciplina integradora y su arraigo histórico y cultural en la sociedad. Cada disciplina STEM tiene un enfoque epistémico único, que abarca conocimientos específicos, métodos, valores y objetivos (Fernández-Blanco et al., 2020).

La enseñanza de STEM plantea retos complejos, y hacer que las matemáticas sean accesibles para los estudiantes es uno de ellos. Es por esto que se torna vital identificar aspectos disciplinarios, interdisciplinarios o transdisciplinarios que puedan contribuir a la integración STEM de manera sólida.

A partir de diversidad de interpretaciones y la complejidad de la integración STEM, es prudente adoptar una posición estratégica que permita una didáctica de las matemáticas que, de manera gradual, incorpore elementos relevantes para la educación STEM.

El aprendizaje de la matemática tiene dos vertientes principales que son comprender conceptos matemáticos, las relaciones entre ellos y su relación con habilidades de pensamiento, y el desarrollo de herramientas para usar en el análisis y resolución de situaciones de conceptos en otras disciplinas, o más avanzados dentro de la matemática misma.

En el reporte Scientix Observatory Report (2018) sobre las políticas educativas en Europa se señala que la visión de la matemática como silo independiente respecto a las otras disciplinas es una realidad, y que a menudo hay pocas relaciones entre la matemática como materia y otras materias de ciencias. Plantean que el mejoramiento de la enseñanza STEM requiere de una profunda reflexión sobre matemática, y que los docentes deban buscar en otras disciplinas enfoques basados en desarrollo de proyectos, indagación e investigación para consolidar el rol de la matemática en esta filosofía. Este reporte va más allá y sugiere que las matemáticas podrían usarse como puerta para promover las disciplinas STEM: pero para hacer esto de manera efectiva, parece necesario fortalecer los vínculos entre los educadores de matemáticas y otros educadores STEM.

Se hará necesario también que los docentes paulatinamente amplíen algunos de sus conocimientos mediante alianzas con pares de su propia disciplina o de otras disciplinas, para que puedan guiar el descubrimiento que se quiere en los estudiantes y que además, agudicen su capacidad de análisis crítico para elegir o crear actividades que contribuyan con objetivos STEM.

También, y puesto que las interpretaciones sobre el tema son amplias, no es extraño que dadas las características propias de la matemática y la complejidad de la integración misma en muchas experiencias en la literatura su papel de integración sea más bien de soporte. Una situación similar podría darse con otras disciplinas que podrían quedar subrepresentadas por sus propias características ya sea por un entendimiento parcial de sus roles, por la diversidad de interpretaciones en la literatura o simplemente por la complejidad de hacerlo. Una visión de esta naturaleza implica claramente relegar la matemática en los contextos STEM a un rol de apoyo, lo que no solo incide en una percepción poco realista de la matemática, sino también tiene un impacto educativo en la construcción de un sentido STEM en los estudiantes y reduce significativamente capacidades centrales en la alfabetización STEM. El reto fundamental radica en identificar acciones que permitan situar la matemática en esta dinámica de integración a través de acciones que fortalezcan elementos STEM.

Sobre el rol de la matemática en la educación STEM integrada, Maass et al. (2019) proponían tres posibles escenarios para la integración de la matemática, los autores no evidencian elementos metodológicos al respecto. Estos tres escenarios son la adquisición de herramientas para el siglo XXI, dar mayor relevancia al modelado matemático en la educación escolar y contribuir con una educación para una ciudadanía responsable, este enfoque ofrece posibilidades reales.

Primero, respecto al desarrollo de habilidades para el siglo XXI, la matemática auténtica evoca un pensamiento crítico, flexible y creativo, búsqueda e interpretación de hechos, justificación y comunicación. Hay que romper creencias sobre la relación biunívoca entre problemas y soluciones. La resolución de problemas, como se suele entender en matemática, es un proceso centrado en reconocer o identificar hechos (premisas y relaciones), interpretarlos para generar o inducir nuevos datos (hipótesis) y luego justificarlos y comunicar. Problemas con soluciones múltiples o sin solución ayudan a que los estudiantes comprendan una arista realista de pensamiento científico, la necesidad de ser creativos, la resiliencia ante el fallo y la capacidad de buscar enfoques alternativos. En Rahman et al. (2021), en un estudio sobre las prácticas de los docentes en educación STEM y sustentado en una revisión de fuentes en entre 2016 y 2020, se reconocen una serie de competencias o habilidades matemáticas a desarrollar con miras a las competencias hacia el siglo XXI. Se destilan como centrales pensamiento crítico, resolución de problemas, creatividad, comunicación, colaboración, alfabetización en datos y alfabetización digital e informática. Identifican también las prácticas instruccionales de los maestros involucradas en educación STEM, pedagogía basada en investigación, integración de contenidos, aplicaciones al mundo real, aprendizaje basado en proyectos o problemas, andamiaje, evaluación, sensibilidad y relevancia cultural. Un listado con elementos similares aparece en Maass et al. (2019).

La segunda vertiente parte del hecho de que la naturaleza interdisciplinar de la matemática ofrece oportunidades de hacer conexiones entre disciplinas de STEM a través del modelamiento matemático. El modelaje debería motivar un mejor entendimiento de la matemática y de sus conceptos a la vez que debería contribuir a ver la matemática en una perspectiva útil para resolver problemas del mundo real. En un enfoque integrado la matemática busca habilidades de modelaje y resolución de problemas que contribuyan con el desarrollo de otras disciplinas, mientras que se vale ellas para lograr sus propios objetivos disciplinares. Se reconoce que todavía sobre este tema hay mucha investigación que debe hacerse (Maass et al., 2019). Para puntualizar algunas acciones concretas, primero, el concepto de problema del mundo real común en el vocabulario STEM debe ser ampliado a un concepto más general que pueda incluir problemas anclados en situaciones reales, pero didácticamente productivos y factibles. Segundo, es central reconocer qué tipo de modelaje puede hacerse en las distintas etapas del desarrollo de los niños para no producir un efecto contrario a lo que se busca. Las conexiones disciplinares deben hacerse explícitas a través de tareas o proyectos con un andamiaje apropiado que permita al estudiante reconocer una lógica de interconexión entre las disciplinas. Por ejemplo, en etapas tempranas, por aspectos de desarrollo cognitivo y por limitaciones de conocimiento de los niños, es posible que los discursos educativos deban centrarse mucho más en desarrollo y fortalecimiento de prácticas o hábitos STEM, por ejemplo, en fortalecer la indagación, el pensamiento crítico y la resolución de problemas simples que muestren una matemática relevante. En edades más avanzadas el descubrimiento, la simulación, la modelación entre otras, abren escenarios para evidenciar el rol de la matemática y su relación con las otras disciplinas. Tercero, la construcción de las experiencias de conocimiento no deben encapsularse, se dan a través de procesos de interacción crítica con la resolución de problemas en los que haya un sentido, si son problemas reales mucho mejor. Las conexiones disciplinares deben ser evidenciadas. La percepción general es que alguna parte de los maestros suelen hacer actividades de esta naturaleza en sus dinámicas de aula; quizá el tema se resuma en fortalecer y hacer más tangibles estos puentes o conexiones.

La tercera consideración que no puede la matemática dejar de lado está relacionada con el compromiso de la educación en el

desarrollo de ciudadanos sensibles a los aspectos sociales y culturales, y comprometidos con metas de desarrollo, conscientes de las implicaciones de sus decisiones tanto de manera personal como de manera colectiva. En esta parte la estadística elemental ofrece un amplio repertorio de oportunidades de compilación de datos, análisis crítico sobre las conclusiones mismas y sobre las implicaciones de estas conclusiones en temas sensibles como contaminación, responsabilidad social, medio ambiente, bienestar y desarrollo humano equitativo o en temas personales como finanzas o salud.

El tema medular es, a partir de elementos centrales de la filosofía STEM, construir, con base en las experiencias personales o de otros profesionales, prácticas didácticas sensibles a los ideales STEM en un proceso iterativo donde estas se puedan ir perfeccionando. La integración de la matemática en educación STEM puede enfocarse desde varias perspectivas, se advierte que desde esta percepción la integración STEM ocurre en variados escenarios y en distintos niveles, y que además tiene enfoques, e inclusive objetivos de integración, distintos a través de los niveles escolares. Se reconoce también que hay limitantes de experiencia, formación, recursos y socioculturales, que pueden influir en la forma y resultados de esos enfoques.

La cuestión no es si hay formas definidas de hacer este tipo de educación, más bien el tema es si como docentes hay disposición a asumir retos que gradualmente lleven a metas de educación acorde con las exigencias del contexto global actual y futuro.

1.7 Tecnologías en la enseñanza de las matemáticas a través de un enfoque STEM

Dado que el uso de tecnologías en la educación STEM puede fomentar la creatividad, el pensamiento crítico y la resolución de problemas de matemáticas (Aguilera y Ortiz-Revilla, 2021), se considera de interés revisar las diferentes tecnologías que permiten desarrollar dichas habilidades.

1.7.1 Robótica educativa en primeras edades

La robótica educativa, desde las primeras edades, ha emergido como una herramienta innovadora para fomentar el desarrollo de habilidades matemáticas, fortalecer la educación STEM (en especial en ingeniería y tecnología) e iniciar la enseñanza de la programación (Alam, 2022). De hecho, la robótica educativa se considera un enfoque STEM ya que abarca aspectos como algoritmos de diseño, medición con unidades no estándar, codificación, estructuras mecánicas, construcción y operación de robots y kits robóticos. Además, al participar en actividades de robótica basadas en la construcción, los niños pueden interesarse no solo en muchos aspectos de la robótica, sino también en aprender muchas características de programación y pensamiento computacional. Los objetivos pedagógicos de la robótica se pueden dividir en dos categorías principales de situaciones para la primera infancia y la primera edad escolar:

- *Kits de construcción robótica*: El robot se compone de bloques de construcción, típicamente tipo Lego, como LEGO®-WeDo, que permiten la construcción y programación del robot.
- *Robots programables*: Son robots prefabricados que se programan para ejecutar una secuencia de comandos, como Bee-Bot.

En la educación temprana, se trata principalmente de manejar y no construir robots (Papadakis, 2020). Así, los robots programables permiten a los estudiantes introducir secuencias de comandos para movimientos específicos. Estos robots, a menudo referidos como robots de suelo debido a su movimiento en superficies planas, pueden ejecutar instrucciones simples como moverse hacia adelante, hacia atrás o realizar giros de 90° en direcciones horarias o antihorarias (sin desplazamiento). Además de las instrucciones de movimiento, estos robots suelen estar equipados con botones adicionales que permiten iniciar, pausar o reiniciar la secuencia de comandos programada por el usuario.

Existen propuestas de actividades de matemáticas y de iniciación a la programación con robots programables desde las primeras edades en las que se contextualizan los problemas en contextos variados como los cuentos (Kim, 2021; Samuelsson, 2022; Terroba et al., 2021) o la música (Torrejón y Ventura-Campos, 2019). Desde la resolución de problemas, como menciona Papadakis (2020), las actividades robóticas suelen ofrecer un 'piso bajo' (inversión cognitiva mínima requerida para comenzar una actividad), un 'techo alto' (sin límites establecidos en cuán lejos se puede llevar una idea) y 'paredes anchas' (puede usarse para una amplia variedad de experiencias de aprendizaje).

En concreto, en la bibliografía se encuentran propuestas en las que se usan robots programables donde se plantean problemas de localización y posición relativa de objetos, visualización y modelización geométrica.

1.7.2 Propuesta de resolución de problemas de matemáticas con el uso de robots

Siguiendo las etapas de resolución de problemas propuestas por Pólya (1945) -que incluyen comprensión, planificación, ejecución y evaluación-, los robots programables de suelo con direccionalidad programada facilitan la descomposición de problemas en partes más simples y promueven la identificación y corrección eficiente de errores (Resnick, 2013). De esta forma se pueden diseñar tableros de diferente tipo en los que proponer problemas como el de la Figura 1.1.



Figura 1.1: Tablero para el uso de robot de suelo de direccionalidad programada

Una propuesta de problemas que pueden ser resueltos mediante el uso de un robot de suelo de direccionalidad programada podría ser la siguiente:

- ¿Cuál es el menor número de casillas, incluidas la de inicio y final, que debe pisar el robot para llegar a la posición final? ¿Cuál es el menor número de instrucciones para llegar desde la posición inicial a la final?
- ¿Cuántos caminos diferentes existen si solo usamos los botones adelante y derecha (sin poder presionar este último dos veces seguidas)? ¿De cuántas formas posibles llegamos al obstáculo de la derecha (marcado con una X) siguiendo las mismas condiciones de la pregunta anterior? ¿Cuántos caminos habría si pudiéramos presionar el botón de giro más de una vez? ¿Por qué?
- Si el robot debe pasar por las cruces, la casilla de fin y volver al punto de inicio, ¿se podría dibujar un cuadrado con el camino del robot?, ¿se podría dibujar un rectángulo (no cuadrado) con el camino del robot? ¿Cuáles serían los pasos para dibujarlo? ¿Existen más alternativas para dibujar cuadrados/rectángulos?

Estas preguntas pretenden ser una pequeña muestra de la variedad de retos que se pueden proponer con este recurso. En ellas se puede observar preguntas en las que intervienen contenidos de matemáticas (aritméticos, combinatorios, geométricos y otras) y también de iniciación a la programación informática (descomposición, modelización, codificación, implementación y otras). Así mismo, este tipo de propuestas permite el uso de estrategias de juego de roles en las que puede no ser necesario el uso de robots, sino que se usa el cuerpo humano como instrumento para abordar los problemas propuestos (Zazkis et al., 2013).

1.7.3 Videojuegos educativos

A lo largo de los últimos años, los videojuegos han sido implementados en la educación, siendo el aprendizaje basado en juegos un área prometedora. Los videojuegos educativos son una subcategoría de videojuegos diseñados específicamente para proporcionar experiencias de aprendizaje a los jugadores. Estos juegos se distinguen de otros videojuegos por su intención principal: facilitar el aprendizaje de conceptos, habilidades o competencias específicas mientras se mantiene el entretenimiento y la interactividad inherentes a los videojuegos. Cole et al. (2023) definen las características esenciales de los videojuegos educativos como:

- Medio Digital Visual: Se presentan exclusivamente en un medio digital visual, lo que significa que se accede a ellos a través de dispositivos electrónicos y se interactúa con ellos a través de interfaces visuales.
- Juego Basado en Reglas: Al igual que otros videojuegos, tienen un conjunto de reglas que los jugadores deben seguir. Estas reglas proporcionan una estructura y un marco para la interacción del jugador con el juego.
- Resultados Variables: Los videojuegos educativos tienen resultados que pueden variar según las acciones del jugador. Estos resultados, ya sea ganar o perder, avanzar o no, son influenciados por el esfuerzo y las decisiones del jugador.
- Contexto Educativo: Lo que distingue principalmente a los videojuegos educativos de otros videojuegos es su propósito educativo. Están diseñados para ser utilizados en un contexto educativo y tienen como objetivo cumplir con resultados de aprendizaje específicos.

Además, los mismos autores añaden la posibilidad de que aparezcan otras características en los videojuegos educativos que van a permitir enriquecer la experiencia educativa; de esta forma, pueden incorporar elementos de fantasía que permitan a los jugadores asumir roles variados, presentar desafíos educativos para desarrollar habilidades y ofrecer oportunidades para la interacción social a través de diversas modalidades de juego.

De hecho, Ueno (2014) identifica diez factores que otorgan a los videojuegos principios atractivos para la enseñanza en contextos STEM: identidad, interacción, asunción de riesgos, personalización, dificultad graduada, desafío y consolidación, contextualización, desarrollo del pensamiento lateral, equipos multidisciplinarios y rendimiento previo a la competencia. A su vez, los metaanálisis como los de Wang et al. (2022) sobre el uso de videojuegos en la educación STEM indican que los videojuegos pueden promover eficazmente el logro académico de los estudiantes. Estos autores indican, además, que los videojuegos tienen efectos positivos en todas las materias STEM, aunque destaca especialmente en las materias de ciencias y matemáticas.

En el ámbito de las matemáticas, autores como Muñiz-Rodríguez et al. (2014) argumentan que el uso de juegos aporta tres valores adicionales en este contexto. El primero de estos es la relación directa que se establece entre las etapas de desarrollo del juego y las fases al desarrollar una estrategia para resolver un problema. Esto fomenta que los estudiantes potencien habilidades cognitivas que demandan un mayor grado de esfuerzo, rigor, atención, memoria e imaginación. Esto se relaciona con el segundo valor añadido: la naturaleza atractiva de las matemáticas que se presenta a los estudiantes. Se muestra el aprendizaje y la práctica de las matemáticas como algo más atractivo y motivador. El último valor adicional en la didáctica de las matemáticas mediante juegos se centra en la atención a la diversidad que puede llevarse a cabo en el aula. Los juegos son herramientas motivacionales que ofrecen el apoyo necesario a estudiantes con mayores dificultades, al igual que pueden ser el incentivo académico para aquellos estudiantes con mayores habilidades en matemáticas.

1.7.4 Minecraft Education

Minecraft es una plataforma digital que ofrece un entorno de construcción basado en bloques, como el de la Figura 1.2, donde los usuarios pueden crear, modificar y explorar mundos virtuales, fomentando así el desarrollo de habilidades creativas y espaciales. Estos bloques representan diferentes elementos naturales y artificiales, como tierra, piedra, agua, y diversos tipos de minerales y vegetación.

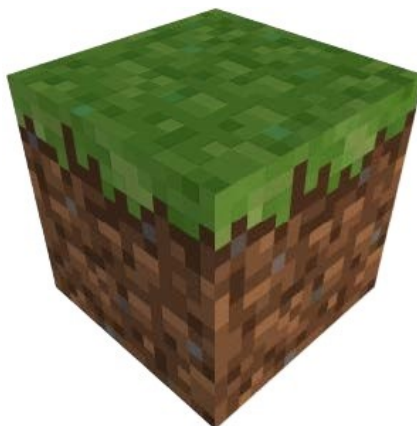


Figura 1.2: Bloque básico del juego Minecraft

La capacidad del juego Minecraft Education (<https://education.minecraft.net/>) de Mojang Studios (2011), versión educativa de Minecraft, para fomentar el aprendizaje activo, la colaboración y la creatividad lo convierte en una herramienta valiosa para educadores y estudiantes por igual. Este juego proporciona al docente herramientas especializadas que facilitan la adaptación del proceso de enseñanza-aprendizaje de las materias STEM en el aula, herramientas que no están presentes en otras versiones de la plataforma Minecraft. Por ejemplo, este juego ha sido utilizado en diferentes materias STEM específicas como:

- En ingeniería (Lamont et al., 2021), para realizar proyectos de diseño y desarrollar habilidades de trabajo en equipo, comunicación e impacto de la ingeniería en la sociedad y el medio ambiente.
- En química (Panja y Berge, 2021), ya que el juego incluye características relacionadas con los elementos de la tabla periódica y laboratorios virtuales sin necesidad de implementaciones adicionales.

Asimismo, se encuentran otras propuestas que integran diferentes materias STEM como Bile (2022) en la que integra contenidos de ciencia, matemáticas y codificación para el desarrollar de habilidades intelectuales y científicas o Rotger et al. (2022) en la que se realiza un diseño de un espacio tridimensional sobre el que se plantea una secuencia de problemas de matemáticas contextualizados en materias STEM. Desde una perspectiva educativa en matemáticas, y en relación con otras áreas STEM, Minecraft presenta diversas características que facilitan el aprendizaje de conceptos tales como:

- Geometría Espacial: Este mundo está compuesto por bloques cúbicos, lo que proporciona una excelente oportunidad para explorar conceptos de geometría especial como volumen, área y, en general, formas tridimensionales. Así mismo, estas formas geométricas pueden modelizar estructuras tridimensionales que son construidas a través de herramientas tecnológicas existentes en el propio juego.
- Proporciones y escala: Los bloques usados permiten generar estructuras a escala, lo que facilita la comprensión de proporciones y relaciones de tamaño. Estas habilidades son fundamentales en ingeniería para el diseño y construcción de edificaciones y otros objetos.
- Patrones y simetría: Minecraft permite a los usuarios crear patrones y estructuras simétricas, ayudando a desarrollar habilidades de pensamiento computacionales. Estos conceptos se relacionan con el arte, permitiendo a los jugadores expresar su creatividad.

- **Coordenadas y orientación espacial:** El juego utiliza un sistema de coordenadas para ubicar posiciones en el mundo virtual, lo que ayuda a los jugadores a desarrollar habilidades de orientación espacial y comprensión de sistemas de coordenadas. Estas habilidades son fundamentales para explorar y comprender el mundo en ciencias como la geografía y la astronomía.
- **Lógica y programación:** Minecraft incluye elementos de redstone, que pueden ser utilizados para crear circuitos y sistemas de automatización, proporcionando una introducción a conceptos de lógica y programación. Estos elementos se utilizan para crear mecanismos que pueden realizar diversas funciones, desde abrir puertas y activar trampas hasta construir computadoras simples dentro del juego. Estas componentes del juego proporcionan, por tanto, una introducción práctica a conceptos de lógica y programación, áreas fundamentales en tecnología e ingeniería.

Particularmente, se pueden proponer otros problemas de matemáticas como la construcción de objetos tridimensionales (como cubos) o de modelos de objetos tridimensionales (como esferas). Además, se pueden plantear actividades de estimación muy interesantes como obtener aproximaciones al valor de π aplicando las fórmulas del volumen y el área a los modelos de las esferas y los círculos (Figura 1.3), respectivamente.



Figura 1.3: Modelos de construcciones circulares y esféricas a partir de bloques sobre Minecraft

Este tipo de actividades sobre la plataforma Minecraft a través de elementos intrínsecos del juego permiten a los estudiantes explorar y aplicar conceptos matemáticos de manera práctica. A su vez, el enfoque interdisciplinario STEM permite desarrollar competencias clave que enriquecen la experiencia educativa y promueven el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la creatividad.

1.7.5 Realidad aumentada y virtual

La realidad aumentada (RA) es una tecnología que superpone elementos digitales, como imágenes, sonidos o datos, en el entorno real del usuario, enriqueciendo así su percepción del mundo que le rodea. Por otro lado, la realidad virtual (RV) es una tecnología que sumerge al usuario en un entorno completamente digital, creado por computadora, que simula la realidad y le permite interactuar con ella de manera inmersiva. La integración de estas tecnologías emergentes en la educación STEM ha sido objeto de creciente interés en la comunidad académica y educativa ya que ofrecen un entorno inmersivo y dinámico que facilita la comprensión de conceptos abstractos y complejos, característicos de las disciplinas STEM (Ibáñez y Delgado-Kloos, 2018). La RA y la RV, denominadas de forma general Realidad Extendida (RE), permiten a los estudiantes interactuar con representaciones tridimensionales de objetos y fenómenos, experimentando de primera mano los principios científicos y matemáticos en acción, proporcionando así una experiencia de aprendizaje más rica y significativa (Demitriadou et al., 2020).

La revisión realizada por Ibáñez y Delgado-Kloos (2018) muestra que, en entornos STEM, la Realidad Aumentada se aplica principalmente para la exploración y la simulación y, en menor medida, para el aprendizaje basado en juegos. Más concretamente, las principales aplicaciones de exploración se utilizan principalmente para temas de ciencias de la vida en entornos fuera del aula, utilizando RA basada en la ubicación, mientras que las aplicaciones de simulación se utilizan principalmente para entornos de aprendizaje instruccional de matemáticas y física, llevados a cabo en entornos en el aula utilizando RA basada en imágenes o marcadores. En general, la mayoría de las aplicaciones educativas de la RA aprovechan las características de superposición de texto, imágenes y animaciones para mejorar la experiencia de aprendizaje (ver Figura 1.4).

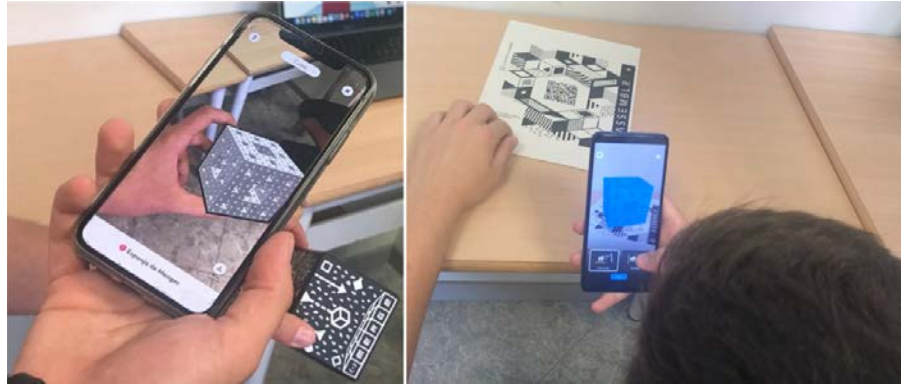


Figura 1.4: Realidad Aumentada a través de marcadores y de cubo holográfico (Merge Cube)

En la literatura se encuentran otras propuestas educativas de uso de la RA de alto interés en materias STEM en las que se destaca las posibilidades que esta ofrece en la mejora de visualización de conceptos:

- En ciencias ambientales y geológicas, existen experiencias que combinan la RA con la realización de excursiones de campo en las que también intervienen habilidades de orientación y geometría para la geolocalización (Bursztyn et al., 2017).
- En química y física se encuentran numerosos ejemplos de uso de la RA para la visualización de modelos 3D de átomos o vídeos de experimentos reales (Abd Majid y Abd Majid, 2018). La combinación de elementos químicos reales con modelos virtuales de reacciones químicas favorece la visualización de los procesos químicos.
- En la enseñanza de las matemáticas en contextos STEM también se encuentran experiencias educativas en las que se usa la realidad aumentada para la modelización de objetos tridimensionales y la experimentación a través de programas de geometría dinámica como Geogebra (Kramarenko et al., 2019).

La revisión realizada por Radianti et al. (2020) indica que el interés en la Realidad Virtual (RV) para fines educativos es bastante alto, aunque su uso sigue siendo experimental y no es sistemático ni se basa en las mejores prácticas. Sin embargo, en algunas áreas STEM, como la ingeniería y la informática, ciertas aplicaciones de RV, como lo que se muestra en la Figura 1.5, se han utilizado de manera regular para enseñar ciertas habilidades, especialmente aquellas que requieren conocimiento declarativo y conocimiento práctico-procedimental.

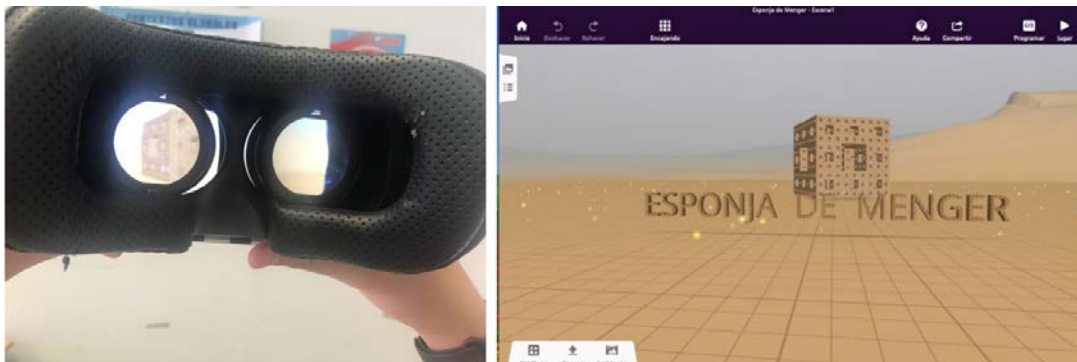


Figura 1.5: Realidad Virtual a través de CoSpaces sobre dispositivo móvil incorporado en gafas

1.8 RA y RV para la resolución de problemas de matemáticas en contextos STEM

La integración de elementos visuales y táctiles en el entorno de aprendizaje permite a los estudiantes visualizar y manipular objetos matemáticos en tiempo real, mejorando así su capacidad para comprender y aplicar conceptos matemáticos. Además, las RE pueden facilitar la colaboración entre estudiantes, permitiéndoles trabajar juntos en problemas matemáticos en un entorno virtual compartido. En línea con lo propuesto con Rotger et al. (2021) y mediante el uso de herramientas de RA y RV de las Figuras 1.4 y 1.5 se pueden plantear problemas de materias STEM en los que sean necesarias las habilidades de visualización de los objetos tridimensionales. Algunos ejemplos de problemas de este tipo propuestos sobre las iteraciones que forman el fractal de la Esponja de Menger podrían ser los siguientes:

- Supongamos que una esponja de Menger es utilizada como modelo para un coral. Si cada orificio permite el paso de una cierta cantidad de agua para alimentar al coral, ¿cómo se relaciona el número de iteraciones con la eficiencia del coral para alimentarse?
- Si se vierte agua sobre la esponja de Menger, describe cómo crees que fluiría el agua a través de ella después de la segunda iteración.
- Imagina que la esponja se somete a vibraciones en una frecuencia f . ¿Cómo podría afectar la estructura fractal a la propagación de estas vibraciones?
- Si el aire fluye a través de la esponja de Menger, ¿cómo podría afectar el número de iteraciones a la resistencia del flujo?
- Suponiendo que cada unidad de área superficial de la esponja de Menger puede capturar una cantidad x de energía solar, ¿cuántas iteraciones serían óptimas para maximizar la captura de energía con la menor cantidad de material?
- Si se construyera una esponja de Menger con un material que cambia de color con la presión, ¿cómo se manifestarían los patrones de color después de aplicar una fuerza en un vértice?

Las preguntas anteriores son solo una muestra de problemas que se pueden proponer, en los que intervienen diferentes materias STEM, en las que la visualización de los objetos geométricos tridimensionales puede ser clave para la mejora de su comprensión y para la modelización de las situaciones propuestas.

1.9 Conclusiones

En este artículo hemos explorado la importancia de la educación STEM para el progreso sostenible de las naciones y el desarrollo integral de sus ciudadanos. En un mundo caracterizado por rápidos avances tecnológicos, un crecimiento exponencial de la información y perfiles profesionales en constante evolución, el sistema educativo se enfrenta al reto de adaptarse y evolucionar para mantenerse relevante.

La integración de la tecnología en la educación, especialmente en el ámbito de las matemáticas, es una estrategia clave para abordar estos desafíos. Juegos como Minecraft, con sus elementos intrínsecos, se convierten en un espacio de aprendizaje interactivo donde los estudiantes pueden aplicar sus conocimientos matemáticos en situaciones del mundo real, contribuyendo así al enfoque interdisciplinario de la educación STEM. Además, las realidades aumentada y virtual se presentan como tecnologías innovadoras que enriquecen la experiencia educativa, permitiendo a los estudiantes explorar conceptos matemáticos y científicos en entornos inmersivos.

En conclusión, este artículo trata de resaltar la necesidad de abrazar el cambio y la innovación en la educación matemática, aprovechando las oportunidades que ofrecen las tecnologías emergentes y el enfoque interdisciplinario de la educación STEM. Estos elementos son fundamentales para preparar a los estudiantes para los desafíos del futuro y garantizar que la educación siga siendo relevante y efectiva en un mundo en constante evolución.

1.10 Referencias bibliográficas

- 1 Abd Majid, N. A. y Abd Majid, N. (2018). Augmented reality to promote guided discovery learning for STEM learning. *Int. J. on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(4-2), 1494-1500.
- 2 Aguilera, D. y Ortiz-Revilla, J. (2021). STEM vs. STEAM education and student creativity: A systematic literature review. *Education Sciences*, 11(7), 331. <https://doi.org/10.3390/educsci11070331>
- 3 Aguilera, D., Lupiáñez, J. L., Vílchez-González, J. M. y Perales-Palacios, F. J. (2021). In search of a long-awaited consensus on disciplinary integration in STEM education. *Mathematics*, 9, 597. <https://doi.org/10.3390/math9060597>
- 4 Alam, A. (2022). *Educational Robotics and Computer Programming in Early Childhood Education: A Conceptual Framework for Assessing Elementary School Students' Computational Thinking for Designing Powerful Educational Scenarios*. International Conference on Smart Technologies and Systems for Next Generation Computing (ICSTSN), 1-7. <https://doi.org/10.1109/ICSTSN>
- 5 Bile, A. (2022). Development of intellectual and scientific abilities through game-programming in Minecraft. *Educ Inf Technol* 27, 7241-7256. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10894-z>
- 6 Bybee, R. W. (2010). Advancing STEM education: A 2020 vision. *Technology and engineering teacher*, 70(1), 30.
- 7 Boyd, W. L. (1978). The changing politics of curriculum policy-making for American schools. *Review of Educational Research*, 48(4), 577-628. <https://doi.org/10.2307/1170049>
- 8 Burke, A., Okrent, A., Hale, K. y Gough, N. (2022). *The state of US science & engineering 2022*. National Science Board Science & Engineering Indicators. NSB-2022-1. National Science Foundation.
- 9 Bursztyn, N., Shelton, B., Walker, A. y Pederson, J. (2017). Increasing undergraduate interest to learn geoscience with GPS-based augmented reality field trips on students' own smartphones. *GSA Today*, 27(5), 4-11.
- 10 Cole, C., Parada, R. H. y Mackenzie, E. (2023). *Why and How to Define Educational Video Games?* Games and Culture. Pendiente de publicación. <https://doi.org/10.1177/15554120231183495>
- 11 Cooper, J. y Robinson, P. (1998). Small-group instruction in science, mathematics, engineering, and technology (SMET) disciplines: A status report and an agenda for the future. *Journal of College Science Teaching*, 27(6), 383-388.
- 12 Çorlu, M. S., Capraro, R. M. y Çorlu, M. A. (2015). Investigating the mental readiness of pre-service teachers for integrated teaching. *International Online Journal of Educational Sciences*, 7(1), 17-28.
- 13 Daugherty, M. K. (2013). The prospect of an "A" in STEM education. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, 14(2).
- 14 Demitriadou, E., Stavroulia, K. E. y Lanitis, A. (2020). Comparative evaluation of virtual and augmented reality for teaching mathematics in primary education. *Education and Information Technologies*, 25(1), 381-401. <https://doi.org/10.1007/S10639-019-09973-5>
- 15 Dillashaw, F. G. y Okey, J. R. (1980). *A test of the integrated science process skills for secondary science students*.
- 16 Drake, S. M. y Reid, J. L. (2020). 21st century competencies in light of the history of integrated curriculum. *Frontiers in Education*, 5, 122. <https://doi.org/10.3389/educ.2020.00122>
- 17 English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3, 1-8. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- 18 European Schoolnet. (2018). *Science, technology, engineering and mathematics education policies in Europe*. Scientix Observatory report. October 2018, European Schoolnet, Brussels.
- 19 Fernández-Blanco, T., González-Roel, V. y Ares, A. (2020). Estudio exploratorio de las steam desde las matemáticas Exploratory study of steam from mathematics. *Saber & Educar*, (28).

- 20 Fortenberry, N. L. (1998). Research & curriculum. *Council on Undergraduate Research Quarterly*, 54-61.
- 21 Fortenberry, N. L. (1993). *Federal policy options to achieve renewal in undergraduate education*. Proceedings of IEEE Frontiers in Education Conference - FIE '93, Washington, DC, USA, 245-250. <https://doi.org/10.1109/FIE.1993.405526>.
- 22 Freeman, B., Marginson, S. y Tytler, R. (2019). *An international view of STEM education*. En Sahin, A. y Mohr-Schroeder, M. (Eds.), *STEM education 2.0: Myths and truths—what has K-12 STEM education research taught us?* (pp. 350-363). Brill. https://doi.org/10.1163/9789004405400_019
- 23 Freeman, B., Marginson, S. y Tytler, R. (Eds.). (2014). *The age of STEM: Educational policy and practice across the world in science, technology, engineering and mathematics*. Routledge.
- 24 Gardner, D. P. (1983). *A nation at risk: The imperative for educational reform. An open letter to the American people*. A report to the nation and the secretary of education.
- 25 Hasanah, U. (2020). Key definitions of STEM education: Literature review. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 16(3), e2217. <https://doi.org/10.29333/ijese/8336>
- 26 Herold, J. (1974). SPUTNIK IN AMERICAN EDUCATION: A HISTORY AND REAPPRAISAL. *McGill Journal of Education / Revue Des Sciences De l'éducation De McGill*, 9(002). Retrieved from <https://mje.mcgill.ca/article/view/6971>
- 27 Holmlund, T., Lesseig, K. y Slavit, D. (2018). Making sense of 'STEM education' in K-12 contexts. *International Journal of STEM Education*, 5, 32. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0127-2>
- 28 Ibáñez, M. B. y Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109-123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- 29 Jones, L. V. (1988). Chapter 8: School achievement trends in mathematics and science, and what can be done to improve them. *Review of research in education*, 15(1), 307-341.
- 30 Kakarndee, N., Kudthalang, N. y Jansawang, N. (2018). *The integrated learning management using the STEM education for improve learning achievement and creativity in the topic of force and motion at the 9th grade level*. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1923, No. 1, pp. 030024-1, 030024-10). AIP Publishing LLC.
- 31 Kelley, T. R. y Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(11). <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- 32 Kim, K.-E. (2021). Experience of Participation in Educational Community in Early Childhood Mathematics Education Using Storytelling and its Meaning. *Journal of Convergence for Information Technology*, 11(2), 219-228. <https://doi.org/10.22156/CS4SMB.2021.11.02.219>
- 33 Koonce, D. A., Zhou, J., Anderson, C. D., Hening, D. A. y Conley, V. M. (2011, June). *What is STEM?* En 2011 ASEE Annual Conference & Exposition (pp. 22-1684).
- 34 Kramarenko, T. H., Pylypenko, O. S., y Zaselskyi, V. (2019). Prospects of using the augmented reality application in STEM-based Mathematics teaching. *Educational Dimension*, 1 (53), 199-218.
- 35 Li, Y., Wang, K., Xiao, Y. y Froyd, J. E. (2020). Research and trends in STEM education: A systematic review of journal publications. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 1-16. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00207-6>
- 36 Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F. J. y Vílchez-González, J. M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education*, 103(4), 799-822. <https://doi.org/10.1002/sce.21522>
- 37 Maass, K., Geiger, V., Ariza, M. R. y Goos, M. (2019). *The role of mathematics in interdisciplinary STEM education*. *Zdm*, 51, 869-884. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01052-2>
- 38 Mehta, J. (2015). Escaping the shadow: "A nation at risk" and its far-reaching influence. *American Educator*, 39(2), 20.

- 39 Millar, S. B. (1998). *Indicators of success in postsecondary SMET education: Shapes of the future*. Synthesis and Proceedings of the Annual NISE Forum (3rd, February 23-24, 1998). Workshop Report.
- 40 Mohr-Schroeder, M. J., Cavalcanti, M. y Blyman, K. (2015). *STEM education: Understanding the changing landscape*. En *A practice-based model of STEM teaching* (pp. 3-14). Brill.
- 41 Mojang Studios. (2011). *Minecraft [video game]*. Microsoft Studios.
- 42 Muñoz-Rodríguez, L., Alonso, P. y Rodríguez-Muñoz, L. J. (2014). El uso de los juegos como recurso didáctico para la enseñanza y el aprendizaje de las Matemáticas; estudio de una experiencia innovadora. *Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, 39, 19-33.
- 43 National Commission on Excellence in Education. (1983). A nation at risk: The imperative for educational reform. *The Elementary School Journal*, 84(2), 113-130.
- 44 Noonan, R. (2017). *STEM jobs: 2017 update*. ESA Issue Brief N° 02-17. US Department of Commerce.
- 45 Panja, V. y Berge, J. (2021). Minecraft Education Edition's Ability to Create an Effective and Engaging Learning Experience. *Journal of Student Research*, 10(2). <https://doi.org/10.47611/jsrhs.v10i2.1697>
- 46 Papadakis, S. (2020). Robots and Robotics Kits for Early Childhood and First School Age. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 14(18), pp. 34-56. <https://doi.org/10.3991/ijim.v14i18.16631>
- 47 Pólya, G. (1945). *How to solve it*. Princeton University
- 48 Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J. y Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- 49 Rahman, N. A., Rosli, R., Rambely, A. S. y Halim, L. (2021). Mathematics teachers' practices of STEM education: A systematic literature review. *European Journal of Educational Research*, 10(3), 1541-1559. <https://doi.org/10.12973/eujer.10.3.1541>
- 50 Razi, A. y Zhou, G. (2022). STEM, iSTEM, and STEAM: What is next? *International Journal of Technology in Education*, 5(1), 1.
- 51 Resnick, M. (2013). *Learn to Code, Code to Learn*. EdSurge.
- 52 Rotger, L., Herreros-Herreros, S. y Ribera, J. M. (2022). *Use of Minecraft: Education Edition for Teaching Pre-College Mathematics: Design of Educational Reinforcement*. En C. A. Huertas-Abril y otros (eds.) *Handbook of Research on International Approaches and Practices for Gamifying Mathematics* (pp 258-277). <https://dx.doi.org/10.4018/978-1-7998-9660-9.ch013>
- 53 Rotger, L., Ribera, J. M. y Cuadrado, M. L. (2021). Visualizando la tercera dimensión desde diferentes realidades. En Diago, P.D., Yáñez, D. F., González-Astudillo, M. T. y Carrillo, D. (Eds.), *Investigación en Educación Matemática XXIV* (p. 673). Valencia: SEIEM.
- 54 Samuelsson, R. (2022). *Cultural Heritage Through Educational Robots: Using a Ukrainian Folk Tale with a Programmable Robot in Early Childhood Education*. In: Stephanidis, C., Antona, M., Ntoa, S., Salvendy, G. (eds) *HCI International 2022 - Late Breaking Posters. HCII 2022. Communications in Computer and Information Science*, vol 1654. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19679-9_42
- 55 Satchwell, R. y Loepp, F. L. (2015). Designing and implementing an integrated mathematics, science, and technology curriculum for the middle school. *Journal of Industrial Teacher Education*, 39(3). <https://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JITE/v39n3/satchwell.html>

- 56 Springer, L., Stanne, M. E. y Donovan, S. S. (1999). Effects of small-group learning on undergraduates in science, mathematics, engineering, and technology: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 69(1), 21-51.
- 57 Suchting, W. A. (1992). Constructivism deconstructed. *Science and Education*, 1(3), 223-254.
<https://doi.org/10.1007/BF00430275>
- 58 Stohlmann, M., Moore, T. J. y Roehrig, G. H. (2012). Considerations for teaching integrated STEM education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 2(1), 4.
- 59 Tanenbaum, C. (2016). *STEM 2026: A Vision for Innovation in STEM Education*.
<https://www.air.org/resource/report/stem-2026-vision-innovation-stem-education>
- 60 Terroba, M., Ribera, J. M. y Lapresa, D. (2020). Pensamiento computacional en la resolución de problemas contextualizados en un cuento en Educación Infantil. *Edma 0-6: Educación Matemática en la Infancia*, 9(2), 73-92.
- 61 Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boeve-de Pauw, J., Dehaene, W., Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Van de Velde, D., Van Petegem, P. y Depaepe, F. (2018). Integrated STEM education: A systematic review of instructional practices in secondary education. *European Journal of STEM Education*, 3(1), 02. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525>
- 62 Toma, R. B. y García-Carmona, A. (2021). «De STEM nos gusta todo menos STEM». Análisis crítico de una tendencia educativa de moda. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 39(1), 65-80.
- 63 Torrejón, M. F. y Ventura-Campos, N. (2019). Enseñanza-aprendizaje músico-matemático utilizando robótica educativa. *3C TIC. Cuadernos de desarrollo aplicados a las TIC*, 8(3), 12-37.
- 64 Ueno, C. (2014). Tiempo de (Video) Juegos. *Números-Revista de Didáctica de las Matemáticas*, 86, 161-171.
- 65 Wang, L. H., Chen, B., Hwang, G. J., Guan, J. Q. y Wang, Y. Q. (2022). *Effects of digital game-based STEM education on students' learning achievement: a meta-analysis*. *IJ STEM Ed* 9, 26. <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00344-0>
- 66 Watson, A. D. y Watson, G. H. (2013). Transitioning STEM to STEAM: Reformation of engineering education. *Journal for Quality and Participation*, 36(3), 1-5.
- 67 Xie, Y., Fang, M. y Shauman, K. (2015). STEM education. *Annual Review of Sociology*, 41, 331-357.
<https://doi.org/10.1146/annurev-soc-071312-145659>
- 68 Zazkis, R., Sinclair, N. y Liljedahl, P. (2013). *Lesson Play in Mathematics Education: A tool for research and professional development*. Springer.
- 69 Zhong, B., Liu, X., Zhan, Z., Ke, Q. y Wang, F. (2022). What should a Chinese top-level design in STEM Education look like? *Humanities and Social Sciences Communications*, 9(1), 1-8.