

El enfoque STEM y el aprendizaje de las matemáticas A abordagem STEM e a aprendizagem da matemática

María del Carmen Olvera Martínez, Aarón Víctor Reyes Rodríguez, Marcos Campos Nava, Agustín Alfredo Torres Rodríguez, Carlos Arturo Soto Campos

Fecha de recepción: 29/09/2022
Fecha de aceptación: 01/11/2022

<p>Resumen</p>	<p>En el presente trabajo, se describen varios elementos centrales del enfoque educativo STEM, que es el acrónimo de las palabras ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, por sus siglas en inglés. Este enfoque ha ganado terreno como estrategia didáctica en la enseñanza de las ciencias en general, y de la matemática en particular. Su tesis central sostiene la integración de estos elementos para el diseño de tareas de aprendizaje para el aula, a través de la resolución de problemas originados en el contexto real. En esta contribución, se discuten algunas de sus ventajas, así como algunas críticas realizadas, con la finalidad de ponderar sus contribuciones didácticas. Palabras clave: STEM, matemática, aprendizaje, didáctica.</p>
<p>Abstract</p>	<p>In the present work, several central elements of the STEM educational approach are described, wich is the acronym of the words science, technology, engineering and mathematics, for its acronym in English. This approach has gained ground as a teaching strategy in the teaching of science in general, and mathematics in particular. Its central thesis supports the integration of this elements for the design of learning tasks for the classroom, through the resolution of problems originated in the real context. In this contribution, some of its advantages are discussed, as well as some criticisms made, in order to weigh its didactic contributions. Keywords: STEM, mathematics , learning, didactics.</p>
<p>Resumo</p>	<p>No presente trabalho, são descritos vários elementos centrais da abordagem educacional STEM, que é a sigla para as palavras ciencia, tecnologia, engenharia e matemática, por sua sigla em inglês. Essa abordagem tem ganhado espaço como estratégia de ensino no ensino de ciências em geral e matemática em particular. A sua tese central apoia a integração destes elementos para o desenho de tarefas de aprendizagem para a sala de aula, através da resolução de problemas originados no contexto real. Palavras-chave: STEM, matemática, aprendizagem, didática.</p>

1. Introducción

El término STEM representa el acrónimo formado por las primeras letras de las palabras Science, Technology, Engineering y Mathematics, por sus términos en inglés. Surge por vez primera a mediados de la década de los 90's en Estados Unidos y con el paso del tiempo ha ido ganando terreno en otros países, de modo que hoy día es un enfoque más conocido a nivel internacional. Surge como una propuesta innovadora en el contexto de la didáctica de las ciencias en general. Zollman (2012) la concibe como un movimiento pedagógico orientado a integrar las disciplinas o especialidades que lo constituyen.

Bybee (2013) lo concibe como un concepto que puede definirse a distintos niveles, de modo que se puede hablar de enfoque, modelo, iniciativa, grupos educativos, políticas, programas e inclusive prácticas de enseñanza de naturaleza STEM. Esta flexibilidad no está exenta sin embargo de algunas críticas, precisamente porque el uso del término ha sido aplicado con cierta libertad a distintos ámbitos, en tal sentido Bybee (2013) señala que para que pueda hablarse de un enfoque o estrategia STEM, es necesario que incluya algunas características. Una de las principales se refiere a la necesaria integración de conocimientos, competencias y habilidades en la solución de una situación-problema relacionada con una de los componentes STEM.

Por su parte, Cartagena et al. (2017) mencionan que la educación STEM, dentro de este contexto de las ciencias integradas, se entiende como “una aproximación para la enseñanza de las ciencias, las tecnologías, ingeniería y matemáticas de forma interdisciplinar, dónde la rigurosidad de los conocimientos científicos es desarrollada mediante actividades didácticas inmersivas aplicadas al mundo real” (p. 39).

En este sentido, la educación con el enfoque STEM puede integrar distintas disciplinas a través de la resolución de problemas del mundo real, lo cual puede ser una vía para favorecer y enriquecer el aprendizaje de los estudiantes. Debido a que el aprendizaje que se genera bajo este enfoque está presente dentro de todas disciplinas involucradas, ha sido considerado por diversos autores (Mansilla, 2010; Martín-Páez et al., 2019) como un aprendizaje interdisciplinario que, en términos de Mansilla (2010), implica un proceso en el cual los estudiantes comprenden distintos conocimientos y formas de pensar de varias disciplinas que se integran para lograr un nuevo cúmulo de conceptos, procesos, habilidades y actitudes. De esta manera, si el estudiante desarrolla nuevos aprendizajes por medio de este enfoque le permitiría profundizar más en el análisis y la comprensión de tareas a través de las diferentes perspectivas de las disciplinas, además de buscar y elegir diferentes procesos para su resolución.

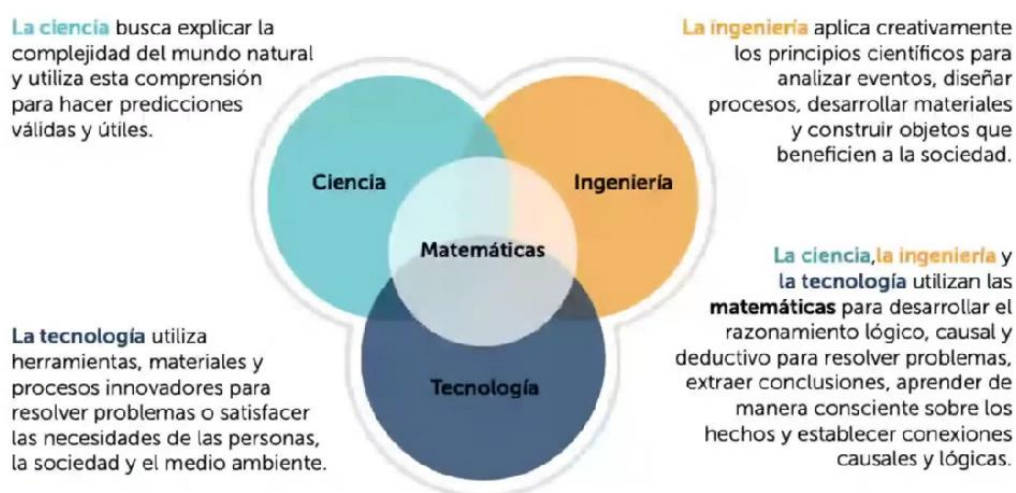
Existen algunas variantes, como el modelo STEAM, que incorpora a las artes, junto a las restantes áreas, o la aproximación STREAM, que incluye al área de la robótica como una parte medular de su propuesta.

El contexto donde nace el enfoque STEM, está permeado por la llamada cuarta revolución industrial que se caracteriza por estar conformada por los siguientes elementos: el big data, la inteligencia artificial, el internet de las cosas, la robótica, la automatización y la tecnología móvil. Para Bybee (2013), dichos elementos caracterizan lo que se denomina una época de globalización, donde ocurren cambios muy rápidos en los diferentes aspectos sociales y económicos, que

a su vez propician la necesidad de nuevos modelos y enfoques educativos para hacer frente a tales necesidades.

Por otro lado, esta globalización ha incrementado la visibilidad por los grandes retos y problemas a escala mundial, como son la contaminación ambiental, la deforestación, la pérdida de la biodiversidad y los ecosistemas, la disminución de las reservas de agua dulce disponible, el déficit alimentario de una parte importante de la población humana, y el problema que ha recibido quizás la mayor atención mediática en los últimos años, referente al calentamiento global y el cambio climático. En un estudio de 2007 en EU, las academias nacionales llevaron a cabo unos talleres donde identificaron 5 competencias que se adaptaban a una gran variedad de trabajos, desde los menos calificados hasta otros más especializados (NRC, 2010).

Autores como Bybee (2013) consideran, ante estos requerimientos, el enfoque STEM puede contribuir a responder a los desafíos económicos y sociales actuales, concretamente identificando las necesidades de los trabajos y profesiones para ajustar las nuevas habilidades a los requisitos laborales, haciendo hincapié en los retos tecnológicos y medioambientales actuales (ver figura 1).



Alianza para la Promoción de STEM (AP STEM, 2019)

Figura 1. Elementos del enfoque STEM. Fuente: AP STEM (2019)

Como se describe en la figura 1, cada uno de sus componentes aporta un conjunto de propiedades que contribuyen finalmente a que el estudiante pueda desarrollar un pensamiento lógico, creativo y crítico para resolver problemas o situaciones que se le plantean, de manera que establezca hechos y conexiones.

Pero además el modelo contempla que las aportaciones de la ciencia, la ingeniería y la tecnología se pueden incorporar en situaciones didácticas o tareas de aprendizaje en la clase de matemáticas. Es decir, que es desde la matemática pueden orientarse los aprendizajes de los estudiantes bajo las premisas teóricas que sustentan este enfoque didáctico.

Por lo anterior, aunque STEM puede considerarse de gran apoyo en la enseñanza de las ciencias, ha ido desarrollando una fuerte orientación hacia la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. De acuerdo con Maass et al. (2019),

resulta importante explorar el papel que juegan las matemáticas para la comprensión y predicción de los fenómenos o situaciones reales, por parte del estudiante; ya que lo “ayudan a dar solución a problemáticas de la vida real a partir del desarrollo de diferentes modelos como graficas, formulas, tablas, enunciados, entre otros” (p. 5). Razón por la cual se ha incrementado en los últimos años el interés por su estudio y aplicación como parte de la investigación en didáctica de las matemáticas.

Por las razones anteriormente expuestas, que ponen de relieve la importancia que gradualmente ha ido adquiriendo el enfoque STEM, y que consideramos relevantes para la discusión sobre sus ventajas, desventajas y algunas de sus características; es que consideramos pertinente el presente análisis, en virtud de su creciente incidencia en la enseñanza de las matemáticas y las ciencias en el nivel superior, en particular en las carreras de ingeniería.

2. Algunos referentes teóricos

2.1. Antecedentes: la forma de enseñanza

En la enseñanza de las ciencias ha dominado un enfoque que algunos autores denominan “profesional o técnico” (Matthews, 2017), que se caracteriza por enfatizar los aspectos puramente disciplinares, dejando de lado otros aspectos importantes. Un ejemplo ilustrativo de esta situación es propuesto por el mismo Matthews (2017): “enseñar la ley de Boyle sin reflexionar lo que significa ley en ciencias, sin considerar qué constituye una evidencia en ciencia, y sin prestar atención en quién era Boyle, cuándo vivió y qué hizo, es enseñar de una forma lamentablemente trunca” (p. 35).

Este ejemplo es muestra de que la enseñanza de la ciencia requiere no solo conocer de hechos, leyes, teorías o procedimientos de cálculo, sino que también implica conocer de los procesos, de los contextos, los individuos involucrados, como también aspectos sociales, éticos, históricos, filosóficos. Porque de este modo los estudiantes podrían comprender de una forma más profunda los significados de los conocimientos que estudian, y con ello contribuir a la formación de un pensamiento más crítico y reflexivo.

Un ejemplo análogo en matemáticas consistiría en enseñar el Teorema de Pitágoras como una simple fórmula que sirve para calcular un lado de un triángulo rectángulo, conocidos los otros dos, dejando de lado aspectos históricos y epistemológicos, más allá de proponer ejemplos aparentemente contextualizados, en los que se pide calcular la altura de un edificio a partir de la longitud de la sombra.

Es decir que no se trataría solamente de conocer o representar datos, sino de poner a prueba hipótesis, argumentar, discutir, proponer ideas, o realizar experimentaciones. Estas últimas acciones también han sido identificadas como parte fundamental en la enseñanza de las matemáticas, lo que algunos autores llaman *hacer matemáticas*. ¿A qué se refiere este término? A que el aprendizaje de las matemáticas debe proveer las oportunidades para que el estudiante desarrolle las capacidades de razonamiento, indagación, argumentación, reflexión (Barrera et al., 2021; García y García, 2020), en forma análoga a como un profesional matemático desarrolla su trabajo de investigación.

La explicación es la siguiente: en la construcción del saber matemático, se incluyen actividades como resolver problemas, indagar, experimentar, obtener respuestas, hacer demostraciones, plantear nuevas preguntas, entre otras. Y este procedimiento incluye también errores, dificultades, replanteamiento de preguntas. Entonces surge la interrogante de por qué no trasladar dichos principios a la actividad de enseñanza en el aula, esto es, relacionarla con el quehacer matemático que realiza un profesional de la disciplina.

Se identifica una necesidad de realizar estudios donde se dé cuenta de manera formal y con una base teórica sólida, del impacto en el desarrollo del aprendizaje interdisciplinario en los estudiantes, ya que autores como Bogdan y García (2021) comentan que “una limitación relacionada con el hecho de conceptualizar STEM como la integración curricular de cuatro disciplinas, es la falta de soporte empírico sobre la eficacia didáctica de este enfoque educativo” (p.70).

De esta manera, se vuelve necesario el desarrollo de estudios donde se involucre la implementación de proyectos interdisciplinarios y se documente los resultados obtenidos en términos del impacto generado en el aprendizaje de los estudiantes. Rojas et al. (2019) consideran que es codiciable buscar oportunidades para que los temas que se aborden en el aula sean de interés para los estudiantes y se puedan vincular de manera más clara con el mundo real y un contexto. Actualmente, se debe pensar en cómo involucrar al estudiante en contextos que favorezcan su aprendizaje interdisciplinario, además de que le brinden los elementos necesarios para resolver tareas y que repercutan de manera positiva en el estudiante.

2.2. Antecedentes: enfoques y modelos antecesores

Algunos de los antecedentes previos al surgimiento del enfoque STEM han sido los siguientes: el modelo CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad, por sus siglas, López, 1998) , el enfoque constructivista desde el campo de la pedagogía, así como otras propuestas surgidas de este paradigma.

Varias de las ideas que desembocaron en el modelo CTS comenzaron a surgir en la década de los 70's (López, 1998). Posteriormente los estudios CTS se constituyeron como programas de colaboración multidisciplinar, enfatizando la dimensión social de la ciencia y la tecnología. En el campo educativo, este modelo se concretizó en el diseño de programas y materiales educativos para nivel básico, medio y superior. Estos programas y materiales hacían énfasis en propuestas contextualizadas para la enseñanza de los contenidos técnico-científicos.

Por su parte, el constructivismo, como teoría del conocimiento y del aprendizaje, ha sido la influencia teórica más importante para la enseñanza de la ciencia y las matemáticas (Matthews, 2017). Esta influencia se ha hecho evidente en los últimos años, sobre todo en el diseño curricular y diversas prácticas pedagógicas derivadas. Recordemos que una de sus tesis centrales se refiere a los roles del docente y del alumno, al considerar que el proceso de enseñanza debe centrarse en el estudiante, y el docente adopta un rol menos protagónico, y más orientado hacia la guía, el acompañamiento; en tanto que el estudiante debe adoptar un rol más protagónico, más activo en la construcción de sus saberes.

En este paradigma constructivista, han encontrado cobijo diferentes propuestas como el aprendizaje basado en problemas (ABP), el aprendizaje por descubrimiento (Brunner, 1960, citado por Restrepo, 2005), el aprendizaje

contextual, entre otros. Para muchos autores, el constructivismo ha dejado ya de ser una teoría del aprendizaje, para convertirse en una visión del mundo *weltanschauung* (Matthews, 2017).

Como puede apreciarse en estos referentes que antecedieron a STEM, se habían identificado con anterioridad algunos aspectos singulares que también resultan centrales para el enfoque STEM: el eje interdisciplinar propuesto desde los modelos CTS, el rol del aprendizaje activo centrado en el estudiante, asignado por los modelos constructivistas; así como elementos del aprendizaje por descubrimiento y el contextual. Sin embargo, STEM propone ir más allá de estos aspectos, pues exige un mayor nivel de integración de las disciplinas que involucra, además que el objetivo de la actividad o tarea propuesta bajo este modelo, se desprende de un problema o necesidad de actualidad o relevancia.

2.3. Problemas identificados en la enseñanza de las ciencias (y en la matemática)

Como se mencionaba en la sección anterior, una problemática generalizada cuando se habla de la enseñanza de las ciencias, tiene relación con su naturaleza “técnica”, aunada a una descontextualización (Matthews, 2017), lo que de alguna manera contribuye con un menor interés y entusiasmo de los estudiantes, y a la falta de aprecio que tienen en general las áreas científicas entre los estudiantes.

Una propuesta del año 2010 en Estados Unidos, llamada *Estándares de la Ciencias*, definieron las características que tendría que tener una enseñanza científica, basada en la indagación y el descubrimiento (NRC, 2010):

- i) *Los estudiantes se involucran en el aprendizaje a partir de preguntas científicamente orientadas*
- ii) *Los estudiantes dan prioridad a la evidencia, lo que les permite desarrollar y evaluar explicaciones alternativas a las preguntas planteadas.*
- iii) *Los estudiantes formulan explicaciones a partir de la evidencia.*
- iv) *Los estudiantes evalúan sus explicaciones a la luz de las explicaciones alternativas obtenidas por los pares.*
- v) *Los estudiantes comunican y justifican sus saberes a partir de los procedimientos utilizados y las conclusiones que ellos mismos han validado.*

Para cubrir con estas características, se requiere del diseño de actividades para el aula que recuperen algunos de los elementos mencionados: hacer observaciones, elaborar preguntas, consultar fuentes de información, revisar lo que ya ha sido validado por evidencias experimentales o trabajos previos, utilizar herramientas para recabar, analizar e interpretar datos, proponer respuestas y explicaciones, realizar predicciones, comunicar y evaluar los resultados (AP STEM, 2019).

Por otra parte, para lograr la introducción de la educación STEM dentro de las aulas, es necesario un enfoque interdisciplinario donde todos los campos involucrados se complementen entre sí (Rojas et al. 2019). Y aunque estos enfoques son una alternativa para fortalecer la enseñanza de diversas disciplinas, existen desafíos para que su implementación sea significativa dentro de las aulas.

Primeramente la educación STEM es un campo nuevo dentro del cual la comprensión de una práctica efectiva, y cómo esta puede ser apoyada a través del currículo, todavía está en sus primeros pasos (English, 2016), y la introducción de la educación STEM en las aulas que se ha llevado a cabo hasta el momento, ha sido por interacciones entre profesores de distintas disciplinas y no por una iniciativa de las autoridades encargadas de la estructuración de los planes y programas de estudio (Carvajal, 2010).

Aunque el papel del docente es primordial para la implementación de la educación STEM en las aulas, se han identificado algunas dificultades que el docente puede experimentar al intentar la inclusión de contextos STEM. Primeramente, la carencia de confianza o conocimiento del docente en las disciplinas específicas (Rojas et al., 2019). Se puede hablar entonces de la necesidad de formar docentes capaces de integrar, por medio de experiencias significativas, conexiones y relaciones entre los contenidos de diferentes disciplinas. Para ello, es importante que el profesor conozca una o varias de las disciplinas que integran la educación STEM y, primordialmente, trabajar de manera colaborativa con colegas expertos en las otras áreas de interés, pues “el proceso de integración de las diferentes disciplinas se considera también un desafío para el docente” (Honey et al. 2014, p.55).

En este contexto, la enseñanza en el enfoque STEM implica que los profesores planeen cuidadosamente sus actividades considerando los conceptos, procesos y actitudes de ciencias y matemáticas que deseen desarrollar, apoyándose de las herramientas tecnológicas y de la ingeniería en el proceso de aprendizaje. Por tanto, “el diseño de secuencias didácticas integradas debe centrarse en materiales, situaciones y experiencias que sean interesantes y que promuevan el aprendizaje significativo en los estudiantes” (Ferrando et al. 2018, p.2).

2.4. Antecedentes en la didáctica de la matemática

En particular, en el caso de las matemáticas, es bien conocida la problemática asociada con su enseñanza y aprendizaje, que repercute en los índices de reprobación escolar. Esta situación no es solamente una cuestión local, sino que se presenta a escala internacional, constituyéndose como uno de los mayores desafíos (Cerdeña et al. 2017), por lo que constantemente se realizan diversos estudios y propuestas para abordar dicha problemática

Un antecedente directo es el enfoque de resolución de problemas, el cual ha sido visto por numerosas investigaciones, como una alternativa fundamental para alcanzar mejores logros de aprendizaje en matemáticas (Cerdeña et al. 2017). En una visión más integral, no solo se le considera como un marco teórico relevante en el campo de la didáctica de la matemática, sino también como una orientación didáctica para la instrucción en el aula, el diseño de materiales educativos e inclusive los procesos de diseño curricular (Barrera et al. , 2021).

Para estos autores, la resolución de problemas implica la participación activa del estudiante en la estructuración de sus propios saberes desarrollando sus estrategias y procesos, reflexionando sobre las conexiones entre las ideas, conceptos y objetos analizados, y atravesando por un proceso de entendimiento gradual (Barrera et al. 2021).

En este sentido, se puede afirmar que la aproximación de resolución de problemas puede resultar en un marco muy compatible con el enfoque STEM. Esto

es, que ambas aproximaciones presentan diversos puntos de convergencia, de modo que se puede pensar en la obtención de buenos resultados si el diseño de una actividad o tarea bajo el enfoque STEM, se desarrolla considerando también los elementos propios de la resolución de problemas: la utilización de distintas rutas de solución, la prueba de conjeturas, el análisis de casos particulares, la identificación de patrones, entre otros.

3. El enfoque STEM y el aprendizaje de las matemáticas

Uno de los principios en que se basa este modelo es que la resolución de problemas complejos implica hacer uso de habilidades de orden superior, y además de la convergencia de conocimientos y habilidades que provienen de distintas disciplinas (Glancy y Moore, 2013), de este modo el aprendizaje se integra para utilizar conocimientos, habilidades e incluso formas de pensar de cada área de conocimiento implicada. Un ejemplo es el siguiente: de la ingeniería se pueden requerir los procesos de diseño y optimización, de la tecnología el pensamiento computacional, de la ciencia el proceso indagatorio, y de las matemáticas el razonamiento lógico y deductivo

En el caso de la ingeniería, generalmente se aplica el proceso de diseño, que a su vez incluye actividades como investigación, planeación, creación de prototipos, práctica y evaluación, iteración, entre otras.

Por lo antes mencionado, el empleo del enfoque STEM ha ganado terreno desde la enseñanza de la matemática escolar. Entre otras razones, esto ha sucedido debido a que diversos autores consideran que este modelo permite el desarrollo de competencias matemáticas básicas, además de incidir en la mejora de los desempeños observados (Castiblanco y Lozano, 2016). En este sentido, STEM debe promover los aprendizajes de los estudiantes, a través de la exploración, la asimilación, la aplicación de conceptos y metodologías propios de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas. Asimismo, los estudiantes aprenden a trabajar en equipo resolviendo problemas reales, sobre los que deben tomar decisiones y reflexionar, promoviendo el pensamiento crítico y creativo (García y García, 2020).

Una forma usual en que STEM ha cobrado *vida* en el aula, y que es una de las estrategias que más impulso ha tomado en la actualidad es a través del *Aprendizaje Basado en Proyectos* (ABP), debido a que se considera que proporciona experiencias contextualizadas y reales, que los estudiantes pueden emplear para construir conocimientos significativos (Capraro y Slough, 2013).

En este orden de ideas, se han reportado trabajos de investigación que han indagado acerca del empleo del modelo STEM en el abordaje de tópicos específicos en la asignatura de matemáticas. Un ejemplo de ello lo describe Rodríguez (2017) para el tema de las ecuaciones diferenciales en educación superior, desde una óptica de modelación matemática y el modelo STEM. Este trabajo utilizó como temas aplicaciones de las ED tales como circuitos eléctricos, modelos de crecimiento poblacional, modelo masa-resorte, entre otros.

En otro estudio de García y García (2020), hacen una recopilación de diversos trabajos donde la característica central consistió en el uso del modelo STEM para la enseñanza de distintos tópicos matemáticos en estudiantes de nivel bachillerato. Dentro de las conclusiones principales de este estudio, se tuvieron las siguientes: se consideró pertinente dicho modelo para conseguir un aprendizaje más profundo de

los estudiantes, aunque considerando también las acciones desplegadas por el docente, así como el uso adecuado de las estrategias de enseñanza y aprendizaje implicadas. Otra conclusión se relacionó con las necesidades formativas del docente, como uno de los retos que implica el conocimiento y empleo de este modelo de instrucción.

En 2021, Campos-Martínez presenta el diseño y los resultados de la implementación de una Secuencia Didáctica Interdisciplinaria centrada en la construcción y análisis trigonométrico de una simulación de un brazo de robot de dos grados de libertad que pretende promover el desarrollo de aprendizaje interdisciplinario en estudiantes de educación media superior; además, da a conocer la manera en que los participantes desarrollaron procesos de modelación matemática y computacional.

4. Un modelo no exento de críticas

4.1. Críticas en torno a la idoneidad del diseño

Algunas de las críticas recibidas por este enfoque se refieren a su poca o nula relación, con valores o aspiraciones universales tales como la equidad, la inclusión o la justicia social (AP STEM, 2019). Asimismo, se ha criticado que su empleo generalmente despoja de actitudes que deben acompañar su práctica, como son el respeto a los derechos humanos, a las garantías individuales, el énfasis en el desarrollo comunitario, el fomento a la inclusión o el respeto al medio ambiente (AP STEM, 2019). Ante esta segunda crítica, se añadiría que de inicio no se considera obligatorio atender todas y cada una de estas orientaciones, pero sí se espera que atienda varias de ellas.

En un intento por comenzar a incluir este aspecto, Maass et al. (2019) señala que es necesario vincular a las matemáticas mediante modelos matemáticos con la adquisición de habilidades del siglo XXI y la educación para una ciudadanía responsable; sin embargo, se carece de reportes donde precisen de qué manera son desarrolladas en los estudiantes.

Una pregunta que naturalmente surge al discutir este caso es la siguiente ¿qué criterios se pueden seguir para evaluar en qué medida una actividad para el aula diseñada bajo este enfoque, realmente se apega a él? En otras palabras, ¿realmente podemos afirmar que una propuesta realizada tiene las características necesarias para poder clasificarse como una propuesta didáctica STEM? Es importante entender que el enfoque STEM es visto desde su concepción como un modelo con un potencial extraordinario para resolver retos sociales locales, globales y ambientales, siempre que se aplique una visión integral y humanitaria. En este sentido cobran relevancia las preguntas previas.

Es menester señalar, que uno de los pendientes en las investigaciones en torno a STEM; tiene relación con la falta o insuficiencia de dichos criterios para realizar la evaluación de actividades propuestas bajo dicho enfoque. En otras palabras, no existen suficientes precedentes o bien no resultan uniformes como para considerar una evaluación confiable o sistemática. Menos si se hace referencia a herramientas o rúbricas diseñadas expresamente para dichos casos, en este caso solo se reportan casos muy recientes (Aguilera et al. 2022).

4.2. Críticas en torno al interés y orientación del modelo

Otras críticas se refieren al origen de este enfoque como una respuesta o estrategia internacional para orientar a escala global los procesos educativos, con los requerimientos de los sectores gubernamental y laboral (empresarial). Nuevamente las voces críticas se preguntan entonces acerca de la concepción de educación que se desea: una centrada principalmente en esta búsqueda de satisfacción de los requerimientos laborales de los grandes corporativos empresariales, o una educación con un sentido ético, social y que pretenda el desarrollo integral del ser humano.

Ejemplos de tales estrategias internacionales que ejemplifican ese enfoque mencionado, son los siguientes: en algunos países como Finlandia, existen redes que integran a universidades, con los sectores público y empresarial, con el propósito de crear un ecosistema que impulsa la educación, la investigación, así como las colaboraciones entre empresas, instituciones educativas, centros de investigación e inclusive hasta museos y medios de comunicación (AP STEM, 2019).

En Estados Unidos, han surgido iniciativas a escala regional, como *STEM Learning Ecosystems*, o desde el ámbito gubernamental, como *American Strategy for STEM Education*, que pretenden igualmente incidir en las prácticas educativas. La siguiente es una cita textual de un documento de la OCDE del año 2016, donde claramente se describe la relevancia del enfoque STEM:

Los países que tienen más éxito en movilizar el potencial de habilidades de sus personas comparten una serie de características: brindan oportunidades de alta calidad para aprender a lo largo de la vida, tanto dentro como fuera de la escuela y el lugar de trabajo; desarrollan programas de educación y capacitación que son relevantes para los estudiantes y el mercado laboral; crean incentivos y eliminan la falta de incentivos para el suministro de habilidades en el mercado laboral; reconocen y hacen un uso máximo de las habilidades disponibles en los lugares de trabajo; buscan anticiparse a futuras necesidades de habilidades y hacen que la información sobre el mercado laboral y de aprendizaje sea fácil de localizar y utilizar (OCDE, 2016, p.53-55).

Como se mencionó en la sección introductoria, hoy estamos viviendo la cuarta revolución industrial, que puede traer beneficios como la reducción de los costos de producción o la posibilidad de personalizar los servicios y productos, amén de darles un seguimiento remoto a los diversos procesos (AP STEM, 2019). Sin embargo, también se generan retos como por ejemplo la sustitución gradual de la mano de obra por sistemas robotizados o automatizados. Además, se considera que se está acelerando la modificación de los perfiles profesionales necesarios para los próximos años, en donde algunos completamente nuevos se harán indispensables, y otros quizás caerán en la obsolescencia.

Para muestra dos datos recopilados en nuestro país: en una encuesta de escasez de talento realizada por la empresa Manpower en 2018, que señala que más del 50% de los empleadores en México tuvieron dificultades ese año para encontrar los perfiles necesarios para ocupar vacantes en áreas identificadas con el rubro STEM. Por otro lado, en la encuesta de ocupación y empleo del INEGI (2018), 8 de los 10 empleos mejor pagados son correspondientes a carreras relacionadas a

STEM, y sin embargo el 50% de los egresados eligieron 9 carreras, y de ellas solo 1 se clasifica en el grupo STEM.

Diversas investigaciones sostienen que el nivel de desarrollo o crecimiento económico que puede lograr un país, tiene estrecha relación con la formación de capital humano de alto valor. En este sentido surge como interrogante si en el caso de nuestro país, esta discrepancia mostrada por los datos anteriores puede significar un factor de riesgo para el desarrollo a mediano y largo plazos.

4.3. Críticas desde las bases didácticas

Un tercer grupo de críticas se relaciona con deficiencias didácticas (Bogdan y García, 2021) relacionadas específicamente con la falta de procesos de validación didáctica. Para autores como Honey et al. (2014), existen pocos estudios empíricos y una pobre sustentación teórica del diseño y la implementación de tareas de aprendizaje basadas en este enfoque. Estos problemas inciden a su vez, en la dificultad de realizar propuestas de corte curricular que se basen en el desarrollo de dicha metodología o enfoque didáctico. En este mismo sentido, Milner-Bolotín (2018) considera que el STEM tiene una naturaleza didáctica solo en apariencia, puesto que carece de investigación teórica suficiente

Como se ha comentado, hay pocos estudios de corte empírico que demuestren la eficacia didáctica del enfoque, de modo que se sabe muy poco acerca de la mejor forma de lograr tal eficacia, tampoco se conoce que factores permiten incrementar el aprendizaje, el interés o el rendimiento y aprendizaje de los estudiantes (Honey et al. 2014). Martin et al. (2019) detectaron que los marcos teóricos utilizados en diversos estudios de propuestas educativas STEM, eran inexistentes, y en el mejor de los casos inconsistentes; y que la integración entre las disciplinas que lo conforman no fue lo suficientemente clara ni explícita, por lo que finalmente no cumplían con varias de las características que contempla el enfoque.

Recientemente, se ha considerado a la modelación matemática como una vía potencial para lograr profundizar en el papel de las matemáticas dentro de la educación STEM ya que, para llevar a cabo los pasos del proceso de modelado, son indispensables habilidades como la alfabetización digital, el pensamiento crítico y reflexivo, la resolución de problemas, la búsqueda de información, la toma de decisiones, el trabajo en equipo y la comunicación, que son precisamente parte del catálogo de habilidades del siglo XXI (Maass et al., 2019).

Por lo expuesto en los párrafos previos, se identifica que aún son necesarias más investigaciones y trabajos que indaguen acerca de las bases teóricas y los elementos didácticos que sustenten las diferentes propuestas que se diseñan bajo el modelo STEM. Adicionalmente, se requieren más estudios de corte empírico, que den cuenta de la forma en cómo se desarrollan dichas propuestas a la hora de implementarse en el aula.

4.4. ¿Y el caso de México?

Para impulsar la innovación y el desarrollo se requiere lograr una mayor vinculación entre los sectores académico, empresarial y gubernamental. Pero en este campo se ha identificado que nuestro país tiene todavía un largo trecho que recorrer, y ha faltado un mayor impulso para alcanzar un nivel más alto de desarrollo científico y tecnológico (OCDE, 2016).

Un dato que refleja esta situación, lo constituye el número de patentes registradas, en comparación con la media internacional. Así como ejemplo, en el año 2016 Estados Unidos ingresó 605.571 registros, en tanto que el caso mexicano fue de 17.413 para el año de 2016, y de las cuales solo 1.310 fueron hechas por nacionales, las restantes por extranjeros (CONACYT, 2016).

Otro dato que salta a la vista es el porcentaje del PIB que nuestro país invierte en investigación y desarrollo de ciencia y tecnología, que rondaba en el año 2018 un 0,53 % del PIB, porcentaje incluso inferior al que destinan países como Argentina (0,63%), Colombia (0,67%) o Brasil (1,2%) por mencionar el caso de naciones latinoamericanas (UNESCO, 2016).

Resulta entonces indispensable que las políticas gubernamentales de nuestro país se dirijan a promover un mayor impulso al desarrollo de la ciencia y la tecnología, a la par de una mayor promoción de propuestas en el ámbito educativo para que existan condiciones más idóneas para el desarrollo de este tipo de modelos o enfoques innovadores, como lo es el STEM.

5. Implicaciones para la docencia

Cuando se trabaja dentro de un enfoque distinto en educación, se tienen que conocer las bases filosóficas, científicas, sociales y pedagógicas sobre las que se sustenta, y estar consciente que conlleva cambios hasta cierto punto radicales en cuanto al diseño de las estrategias didácticas, los roles de los estudiantes y el profesor, los aspectos relativos a la implementación de las tareas o actividades en el aula, y asimismo cambios importantes en las formas de evaluación.

Para llevar a cabo lo anterior, se requiere de una buena preparación de los docentes, pues la mayoría no está preparada para poder desarrollar prácticas educativas enmarcadas en este enfoque.

Dentro del modelo de STEM, varios investigadores han identificado los siguientes retos: la demanda de propuestas basadas en nuevos preceptos teórico-metodológicos a partir de situaciones reales o cotidianas (Murillo, 2013); combinar apropiadamente una mayor solidez de los conocimientos matemáticos con las teorías pedagógicas y las metodologías (Uzurriaga, 2013); construir auténticas situaciones del binomio matemática-cotidianidad (Rodríguez, 2013), para promover una mejor predisposición de los estudiantes, así como un mayor aprecio por la utilidad y valor de la matemática.

Para García y García (2020), se requiere además un cambio de rumbo en torno al diseño curricular en los distintos niveles educativos, para poder incidir en el empleo de la metodología STEM, lo que conlleva algunas dificultades, debido a que en general, el currículum suele ser cerrado y poco flexible. Un antecedente presente en los distintos modelos educativos, es el aprendizaje basado en proyectos (ABP), que se basa en el desarrollo de proyectos interdisciplinarios, sin embargo los mismos autores consideran que esta metodología no cubre totalmente los requerimientos del modelo STEM, por lo que se requeriría ir un paso más adelante en relación al rediseño curricular para favorecer su desarrollo.

Otro elemento indispensable para lograr un mayor posicionamiento del modelo STEM en las instituciones educativas, parte de las propias acciones institucionales, para lograr la implementación de ambientes de aprendizaje propicios

para el desarrollo de dicho modelo. Implica establecer políticas institucionales, e involucrar a sus docentes en procesos de capacitación conducentes.

En México, uno de los primeros intentos por incorporar el modelo STEM dentro de los planes y programas oficiales de la SEP corresponde al plan de estudios 2018 y 2022 de la Licenciatura en Enseñanza y Aprendizaje en Educación Matemática que se ofrecen en las Escuelas Normales del país. Dentro de la malla curricular del plan de estudios de 2018 se pueden observar asignaturas que promueven la integración entre disciplinas de Ciencias, Ingenierías, Tecnologías y Matemáticas, tales como: Matemáticas en la ciencia y la tecnología, Trabajo multidisciplinar con la física y Modelación. Además, se cuenta con un trayecto formativo relacionado con las tecnologías digitales en las cuales se incorpora el estudio de software para el estudio de las matemáticas, lenguajes de programación, diseño de aplicaciones, y robótica educativa. En 2022, el plan de estudios se modifica e integran desde primer semestre el estudio de Metodologías activas para la interdisciplinariedad y del software de apoyo a las matemáticas.

Cabe señalar que los planes de estudios de 2022 promueven la interdisciplinariedad a través del uso de tecnologías digitales para la enseñanza y el aprendizaje desde edades tempranas en la educación preescolar e incluso se promueve su incorporación en otras áreas, además de matemáticas, como química con metodologías activas para la interdisciplinariedad, geografía con ambientes y objetos virtuales para el aprendizaje y física con el estudio de álgebra para física, así como tecnologías y pedagogías emergentes.

6. Conclusión

El enfoque STEM se ha posicionado cada vez con mayor peso en el ámbito educativo internacional, debido a que posee características que hacen posible integrar en una tarea de aprendizaje para el aula, distintos elementos de sus cuatro componentes: la ingeniería, la ciencia, la matemática y la tecnología.

Esta integración tiene sin embargo, algunos retos por superar como los siguientes: una adecuada orientación que permita enfocar la tarea o actividad en la solución de una problemática relevante proveniente del mundo real en el contexto de las ciencias y la ingeniería, asimismo una estructura robusta basada en referentes teóricos bien desarrollados, y en tercer lugar, elementos didácticos bien definidos.

Se ha identificado igualmente la necesidad de un mayor desarrollo de herramientas de evaluación que permitan medir su idoneidad o efectividad en el aula. Se vislumbra que esta área tiene un gran potencial de desarrollo en los próximos años, y por ello convertirse en una ruta de investigación importante.

Para el caso de la enseñanza de las matemáticas escolares en particular, se identifica que dicho enfoque puede incorporarse como un referente importante en el diseño de tareas de aprendizaje, considerando además otros referentes teóricos compatibles como la aproximación de resolución de problemas. En este sentido, la clase de matemáticas puede visualizarse como el punto de partida para ensayar propuestas didácticas bajo este marco referencial.

De los resultados cuando se implementa una tarea o actividad basada en esta aproximación didáctica, es menester realizar y posteriormente compartir con la comunidad académica, los análisis y descripciones respectivos, para poder

contribuir a incrementar la literatura existente en referencia al conjunto de resultados empíricos disponibles, lo que a su vez puede permitir dar mayor sustento al conocimiento en torno a la forma en que se pueden implementar e incluso evaluar las actividades para el aula basadas en dicho enfoque.

En ese mismo tenor, una mayor cantidad de trabajos y reportes acerca de los resultados obtenidos de su empleo en el aula de matemáticas, puede favorecer paulatinamente aportaciones al fortalecimiento de constructos y concepciones teóricas y metodológicas que se vayan incorporando a los referentes teóricos cercanos o compatibles, a modo de contrarrestar la falta de un rigor teórico robusto, elemento que ha sido señalado por distintos investigadores y críticos del enfoque.

Por el lado de las políticas públicas en el sector educativo, se identifica también la necesidad de fortalecer acciones para acelerar el crecimiento de enfoques como STEM, en virtud de su pertinencia en un mundo donde el papel de la ciencia y la tecnología en el grado de crecimiento y desarrollo de un país, son cada vez más evidentes.

Para el caso de México es imprescindible adicionalmente, enfocar los esfuerzos en dotar a los docentes de mayores oportunidades para conocer con más profundidad el empleo de modelos educativos innovadores como el que nos ocupa, y con ello habilitarlos para incrementar su potencial como una poderosa herramienta didáctica.

7. Referencias bibliográficas.

- AP STEM (2019). Visión STEM para México. Alianza para la Promoción STEM.
- Barrera, F.; Reyes, A.V.; Campos, M. y Rodríguez, C. (2021). Resolución de problemas en el aprendizaje y enseñanza de las matemáticas. *Boletín Científico Pádi*, 9 (especial), 10-17. Doi: <https://doi.org/10.29057/icbi.v9iEspecial>
- Bogdan, R. y García, A. (2021) De STEM nos gusta todo menos STEM> Análisis Crítico de una tendencia educativa de moda. *Enseñanza de las Ciencias*, 39 (1), 65-80.
- Bybee, R.W. (2013) The case for STEM Education. NSTA press.
- Capraro, R. M. y Slough, S. W. (2013). Why PBL? Why STEM? Why Now? An introduction to STEM Project-Based Learning: An integrated Science, Technology, Engineering, and Mathematics approach. En R. M. Capraro y J. R. Morgan (Eds.), *STEM Project-Based Learning an Integrated Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) approach* (pp. 1-5). Rotterdam: Sense.
- Castiblanco, P.J. y Lozano, R. (2016). El modelo STEM como práctica innovadora en el proceso de aprendizaje de las matemáticas en las escuelas unitarias de la IED Instituto Tecnológico Agrícola de Pacho, Cundinamarca. Tesis de maestría, Universidad de Tecnológicas de Bolívar, Colombia. Consultado en: <https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/2677>

- Cerda, G.; Pérez, C.; Casas, J.A. y Ortega, R. (2017) Enseñanza y Aprendizaje de las matemáticas: la Necesidad de un Análisis Multidisciplinar. *Psychology, Society & Education*, 9 (1), 1-10.
- CONACYT (2016). Indicadores CONACYT para el Cuarto informe de gobierno. <https://www.siicyt.gob.mx/index.php/transparencia/informes-conacyt/informe-de-gobierno/3749-ig-4-cti-2016/file>
- García, R.O. y García, C.E. (2020) Metodología STEM y su uso en matemáticas para estudiantes de bachillerato en tiempos de pandemia Covid-19. *Revista Dominio de las Ciencias*, 6 (2), 163-180.
- Glancy, A. y Moore, T. (2013) "Theoretical Foundations for Effective STEM Learning Environments". School of Engineering Education Working Papers. Paper 1. Consultado en: <http://docs.lib.purdue.edu/enewp/1>
- Honey, M., Pearson, G. y Schweingruber, H. (2014). STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research. Washington, DC: National Academies Press.
- INEGI (2018). Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo. <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/410>
- López, J.A. (1998). Ciencia, tecnología y Sociedad: el estado de la cuestión en Europa y Estados Unidos. *Revista Iberoamericana de Educación*, 18, 41-68.
- ManpowerGroup (2018). Encuesta de Escasez de Talento 2018. Consultado en: https://www.manpowergroup.com.mx/wps/wcm/connect/manpowergroup/db65d29b-c8d3-46e9-9af5-fed9ef38a9d0/MG_EscasezdeTalentoMexico2018.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=db65d29b-c8d3-46e9-9af5-fed9ef38a9d0
- 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>
- Matthews, M.R. (2017). *La Enseñanza de la Ciencia, un enfoque desde la historia y la filosofía de la ciencia*. Fondo de Cultura Económica.
- Milner-Bolotin, M. (2018). Evidence-based research in STEM teacher education: From theory to practice. *Frontiers in Education*, 3(92), 1-9. <https://doi.org/10.3389/feduc.2018.00092>
- Murillo, J. (2013). Research on school efficiency in Ibero-America. Bogota: Andrés Bello Agreement
- NRC (2010). Inquiry and the National Science Education Standards: A guide for teaching and learning. Center for Science. Mathematics and Engineering Education. United States of America.

Restrepo, B. (2005). Aprendizaje basado en problemas (ABP): una Innovación didáctica para la enseñanza universitaria. *Educación y Educadores*, 8, 9-19.

Rodríguez, R. (2017). Repensando la enseñanza de las matemáticas para futuros ingenieros: actualidades y desafíos. *IE, Revista de Investigación educativa de la REDIECH*, 8 (15), 1-20.

OCDE (2016). Perspectivas de la OCDE en Ciencia, Tecnología e Innovación en América Latina 2016.

UNESCO. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2016, Septiembre 14). ¿Cuánto invierten los países en I+D? Una nueva herramienta de la UNESCO identifica a los nuevos protagonistas [En línea]. París: UNESCO.

Uzurriaga, V. &. (2013). Challenges of teaching mathematics in the new millennium. *Scientia A Technica*, 31-43.

Zollman, A. (2012). Learning for STEM literacy: STEM literacy for learning. *School Science and Mathematics*, 112 (1), 12-19. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2012.00101.x>

Olvera Martínez, Ma. del Carmen: Profesora investigadora de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Actualmente es líder del Cuerpo Académico de Matemática Educativa para la Interdisciplinariedad, su línea de investigación se centra en el uso de herramientas digitales en la resolución de problemas. Email: carmen.olvera@ujed.mx

Reyes Rodríguez, Aarón Víctor: Profesor investigador del Área Académica de Matemáticas y Física de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Sus líneas de investigación son el enfoque de resolución de problemas y el uso de las herramientas digitales en la enseñanza de las matemáticas. Email: aaronr@uaeh.edu.mx

Campos Nava Marcos: Profesor investigador del Área Académica de Matemáticas y Física de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Sus líneas de investigación son diseño de tareas de aprendizaje en matemáticas y física y formación de profesores de matemáticas y física. Email: mcampos@uaeh.edu.mx

Torres Rodríguez, Agustín Alfredo: Profesor del Departamento de Ciencias Básicas del Tecnológico Nacional de México, plantel Atitalaquia. Sus líneas de investigación se centran en las problemáticas asociadas a la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas y la formación de profesores de matemáticas en el nivel superior. Email: agustin.tr@atitalaquia.tecn.mx

Carlos Arturo Soto Campos: profesor investigador del Área Académica de Matemáticas y Física de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Actualmente dirige el cuerpo académico CA-088 de Didáctica de la Matemática, que tiene el estatus de cuerpo consolidado. Email: csoto@uaeh.edu.mx