

La indagación como medio para desarrollar alfabetización STEM en docentes de matemáticas de educación secundaria

María del Carmen Olvera Martínez ¹ 
Dulce María Reyes Rojas ² 

Resumen

La Secretaría de Educación Pública (2023) de México ha propuesto en la reciente reforma educativa, específicamente en educación básica, el uso de metodologías activas para la implementación de proyectos educativos interdisciplinarios. Entre las metodologías sugeridas se encuentra el Aprendizaje Basado en la Indagación con enfoque en Ciencias, Tecnologías, Ingeniería, Artes y Matemáticas (STEAM, por sus siglas en inglés). De acuerdo con lo anterior, se ha convertido en una necesidad primordial que los docentes de matemáticas desarrollen conocimientos y habilidades que les permitan implementar en el aula este tipo de proyectos. La presente investigación tiene como objetivo analizar el desarrollo de la alfabetización STEM en docentes de matemáticas de educación secundaria del Estado de Durango a través de una secuencia didáctica interdisciplinaria que promueve la indagación. Los resultados evidencian que los profesores participantes desarrollaron alfabetización STEM que involucra acciones desde el planteamiento de hipótesis, el desarrollo de las fases de indagación, la integración de conceptos y procedimientos de diversas áreas para tomar decisiones y plantear soluciones argumentadas.

Palabras clave: alfabetización STEM, indagación, formación de profesores, secuencias didácticas interdisciplinarias.

¹ carmen.olvera@ujed.mx

Universidad Juárez del Estado de Durango, Durango, México

² reyesrojasdulce@gmail.com

Universidad Juárez del Estado de Durango, Durango, México

Introducción

En la última década, la Secretaría de Educación Pública [SEP] de México ha puesto en marcha diferentes reformas educativas, siendo las más recientes las de los años 2017 y 2022. En estas se habla de nuevas perspectivas y estrategias pedagógicas que buscan mejorar y actualizar la enseñanza en México. La reforma de 2022, llamada la Nueva Escuela Mexicana (NEM), hace énfasis en la interdisciplinariedad como una estrategia para integrar materias y en la implementación de metodologías activas para el desarrollo de proyectos interdisciplinarios en el aula.

En este sentido, la NEM propone que el docente tenga una participación más activa en el diseño y resolución de tareas en las que se integren diferentes disciplinas, en la búsqueda de respuestas y en el diálogo entre conocimientos, la toma de decisiones y la divulgación de su conocimiento. Respecto del área de matemáticas, se integra en el campo formativo Saberes y Pensamiento Científico, en conjunto con materias como física, química y las tecnologías, por lo que se propone como sugerencia metodológica el Aprendizaje Basado en la Indagación con enfoque en Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas (STEAM, por sus siglas en inglés) para el desarrollo de proyectos interdisciplinarios y su aplicación en el aula (SEP, 2023).

La implementación de los lineamientos de la NEM en el área de matemáticas representa un reto para los docentes, quienes requieren capacitación en los temas específicos y centrales de la reforma. Maass et al. (2019) mencionan que los docentes carecen del conocimiento disciplinario y pedagógico necesario para integrar las disciplinas de STEM, o bien, para trabajar en conjunto con otros docentes, lo cual puede deberse al enfoque monodisciplinario que ha prevalecido en la educación o de la limitada disponibilidad de materiales didácticos enfocados en STEM. En este sentido, Castrillón-Yepes y Lebrun-Llano (2023) comentan que, para abordar este tipo de desafíos, se han diseñado cursos, estrategias y programas de formación docente en educación STEM que incluyen desde el desarrollo de proyectos hasta la modelización, experimentación y aprendizaje colaborativo.

Esto es, se tiene la necesidad de desarrollar una Alfabetización STEM en los docentes, entendiéndose como esa capacidad de comprender, aplicar y reflexionar críticamente sobre los conocimientos, habilidades y actitudes relacionadas con la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas en su vida cotidiana para la resolución de problemas y toma de decisiones (Couso, 2017). Con la finalidad de aportar una propuesta para el desarrollo de la alfabetización STEM de los docentes de matemáticas de educación básica, este estudio presenta el diseño e implementación de una Secuencia Didáctica Interdisciplinaria (SDI) basada en la indagación, que forma parte

de un conjunto de SDI que conformaron un diplomado de capacitación a profesores en servicio que surgió como una respuesta a las necesidades y desafíos actuales de los docentes ante la reforma educativa en México. Con la implementación de este tipo de SDI, se busca favorecer el desarrollo de habilidades y conocimientos que eventualmente los apoyen en el diseño y aplicación de secuencias que promuevan la experimentación y la indagación.

Marco conceptual

Uno de los enfoques educativos actuales que cada vez tiene más presencia a nivel mundial, es el enfoque STEM. Nace en Estados Unidos en la década de 1990 y, de acuerdo con Toma y García-Carmona (2021), se ha dividido en tres distintos significados: 1) como eslogan político; 2) un acrónimo para relacionar los avances más recientes de la ciencia, tecnología, matemáticas o ingeniería; y 3) para la práctica pedagógica. Derivado de los trabajos que se han realizado en torno al STEM, han surgido diferentes acepciones que han dado lugar a otros acrónimos como: STEAM, que hace referencia a STEM y Artes; iSTEM, que incluye a la imaginación y STEM; y, STREAM, empleado para describir propuestas que integran STEAM y Robótica; entre otras (Toma & García-Carmona, 2021). A pesar de las diferentes intenciones que se le dan al enfoque STEM, su esencia como enfoque educativo es la interdisciplinariedad, que en términos de Van der Linde (2007) es “una estrategia pedagógica que implica la interacción de varias disciplinas, entendida como el diálogo y la colaboración de éstas para lograr la meta de un nuevo conocimiento” (p. 10). A través de la interdisciplinariedad se pueden involucrar diferentes disciplinas con la finalidad de favorecer el desarrollo de conocimiento y su aplicación en la resolución de problemas y la toma de decisiones.

Para incorporar el enfoque STEM en México, la Alianza para la promoción STEM (AP STEM, 2019) concibe al enfoque y su concepto como una evolución, que ha ido desde la fusión de asignaturas hasta convertirse en un enfoque educativo transdisciplinario e integral para lograr aprendizajes, por medio de la resolución de problemas mediante la aplicación del conocimiento de la vida real. De igual manera, durante los últimos años se han presentado nuevos planes de estudio para la Educación en México, desde Educación Básica hasta Superior, en los que se ha propuesto la integración de asignaturas bajo un enfoque interdisciplinar; por ejemplo, la SEP (2023) propone, en la NEM, trabajar en educación secundaria por medio de distintas metodologías activas en el campo formativo de Saberes y Pensamiento Científico, donde se encuentra la asignatura de matemáticas. Dentro de las propuestas se plantea trabajar específicamente con la metodología de Aprendizaje Basado en la Indagación con enfoque STEM.

Ante estos cambios en la práctica educativa, los docentes se han visto en la necesidad de adecuar sus planeaciones bajo un enfoque STEM y, aunque en los últimos años “ha sido muy relevante para la didáctica de las ciencias; [...] gran parte de los docentes que manejan este acrónimo no tienen los suficientes conocimientos teóricos que abarca esta perspectiva educativa” (García, 2020, citado en Pineda Caro, 2023, p. 23). Además, como lo plantea la Alianza para la promoción STEM (AP STEM, 2019), se reconoce que no es posible implementar una práctica bajo el enfoque STEM si no se tiene claro el conocimiento de las disciplinas que se están involucrando, es decir, “si no se entiende perfectamente lo que se enseña ni lo que se espera de una práctica o proyecto. Por lo tanto, una formación disciplinar en los docentes de todos los niveles es condición fundamental” (p. 24).

Este panorama deja ver que la capacitación de los docentes en el enfoque STEM es una necesidad prioritaria, particularmente en México, ya que desde el ciclo escolar 2023-2024 se inició la implementación de la NEM y la presencia del enfoque es cada vez mayor en los diferentes niveles educativos. Sin embargo, ¿Cómo acercar a los docentes, específicamente de matemáticas, hacia el enfoque STEM? Es una de las preguntas que guiaron este estudio y que llevaron a identificar la necesidad de desarrollar alfabetización STEM en los docentes de matemáticas. De acuerdo con Couso (2017), estar alfabetizado en STEM se refiere a:

Ser capaz de identificar y aplicar, tanto los conocimientos clave como las formas de hacer, pensar, hablar y sentir de la ciencia, la ingeniería y la matemática, de forma más o menos integrada, para comprender, decidir y/o actuar ante problemas complejos y para construir soluciones creativas e innovadoras, aprovechando las sinergias personales y las tecnologías disponibles, y de forma crítica, reflexiva y con valores. (p. 8)

De esta manera, el desarrollo de alfabetización STEM podría apoyar en la toma de decisiones para el planteamiento y resolución de tareas que se adapten a este enfoque interdisciplinar, en el que los conceptos, procedimientos y habilidades de las diferentes asignaturas se integren. En este sentido, Couso (2017) comenta que estar alfabetizado en STEM debería comprenderse como la capacidad para dar sentido y decidir qué es lo que se debería priorizar al momento en que se resuelve un problema real. La alfabetización STEM está estrechamente relacionada con el aprendizaje STEM, definido por Martín-Páez et al. (2019) “como la integración de una serie de contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales a través de un grupo de habilidades STEM para la aplicación de ideas o la resolución de problemas interdisciplinarios en contextos reales” (p. 5).

Si se logra que el docente de matemáticas esté alfabetizado en STEM, se rompe una primera barrera para la implementación de proyectos

interdisciplinarios en el aula. En la búsqueda de promover esta alfabetización en los docentes, se propone incorporar a la indagación como un medio para su desarrollo. El National Research Council (NRC, 2000) menciona que mejorar las experiencias de aprendizaje en los docentes por medio de la indagación puede brindarles mejores experiencias para fomentar su potencialidad. Debido a esto, y a lo fundamental que es para los docentes adquirir diferentes habilidades para la comprensión y diseño de tareas en torno al enfoque STEM, en este estudio se retoma la indagación como medio para desarrollar la alfabetización STEM en los docentes de matemáticas.

Camacho et al. (2008) menciona que la indagación es la “habilidad para hacer preguntas, la cual se convierte en un medio o instrumento para comprender y aprehender del objeto de estudio” (p. 287). La indagación vista desde un enfoque educativo puede apoyar en la construcción de preguntas estructuradas para su reflexión, con la finalidad de poder comprender y argumentar sobre ellas en diferentes situaciones, actividades o tareas. De acuerdo con el NRC (1996), la indagación es:

[Una] actividad polifacética que implica hacer observaciones; plantear preguntas; examinar libros y otras fuentes de información para ver qué es lo ya conocido; planificar investigaciones; revisar lo conocido hoy en día a la luz de las pruebas experimentales; utilizar instrumentos para reunir, analizar e interpretar datos; proponer respuestas, explicaciones y predicciones; y comunicar los resultados. (p. 23)

Promover la indagación en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas puede permitir el desarrollo de competencias científicas, entendiendo las competencias como la amalgama de conocimientos, habilidades, actitudes y valores que se requieren para resolver y enfrentar diferentes situaciones problemáticas. De acuerdo con Cristobal y García (2013), el proceso de indagación implica cuatro fases: Fase I: Focalización, se espera que se identifique el tema y focalice el problema, además, se haga uso de conocimientos previos sobre el tema que desarrollará; Fase II: Exploración, se busca que se explore el problema, se planteen hipótesis, se identifiquen los objetivos y se diseñe una investigación; Fase III: Reflexión, se espera que se reflexione sobre el proceso de investigación y se plantee la recolección y el análisis de los datos para que se estructuren las preguntas específicas de indagación; y, Fase IV: Aplicación, se aplican estrategias, se presentan los resultados de indagación y un proceso de metacognición para favorecer la reflexión del análisis retrospectivo.

Para conseguirlo, es fundamental que, como ya se mencionó, se proporcione a los profesores de todos los niveles educativos espacios de formación como parte de su desarrollo profesional que involucren actividades que puedan promover el pensamiento crítico, la argumentación

y la modelación, así como ofrecer al profesor una formación pertinente en este ámbito para implementar un proceso de indagación de calidad (Reyes-Cárdenas & Padilla, 2012).

De esta manera, surge la necesidad de involucrar dentro de las actividades de capacitación y actualización de los docentes de matemáticas, entornos de aprendizaje que involucren actividades donde se promueva la experimentación de fenómenos en contextos interdisciplinarios. Ejemplo de tales actividades es este documento, donde se presenta una SDI que involucra el análisis de un fenómeno químico llamado descenso crioscópico desde la toma de datos hasta su organización y toma de decisiones basadas en las conclusiones obtenidas. Los docentes, al participar en capacitaciones, donde se involucran activamente de principio a fin en el desarrollo de las actividades de indagación, transitan por el planteamiento de diferentes cuestionamientos y por el desarrollo de habilidades para la resolución de situaciones problemáticas en diferentes contextos, donde se involucren e integren diversas disciplinas, promoviendo la alfabetización STEM.

Metodología

El estudio se llevó a cabo con un grupo de 23 docentes de matemáticas de educación secundaria que, en ese momento, se encontraban frente a grupo e implementando los cambios de la reforma educativa propuestos en la NEM. Para esta implementación se diseñaron tres Secuencias Didácticas Interdisciplinarias (SDI) que tienen el propósito de desarrollar conocimientos, procesos y habilidades en STEM a través de la indagación. En el presente documento, se exponen las características y resultados principales de la implementación de la SDI llamada El vendedor de paletas. En esta secuencia, dentro de la parte tecnológica, se utiliza un sensor de temperatura sumergible para la recolección de datos y el sistema de geometría dinámica GeoGebra para el análisis de las gráficas obtenidas con los datos recolectados; dentro de la ciencia, se retoma a la química para el estudio de la propiedad coligativa llamada Descenso crioscópico; en la parte matemática se promueve el estudio de la variación y el análisis cualitativo de gráficas; y, por último, en lo referente a la ingeniería, se retoma la construcción de un prototipo de hielera a partir de diferentes materiales.

La SDI comienza con una lectura sobre la situación de Daniel, un joven de 16 años, que vende paletas de hielo en su escuela y cuya hielera se ha dañado.

Daniel busca alternativas para seguir manteniendo congeladas sus paletas, de tal manera que encuentra en internet que al agregar al hielo ingredientes como sal, azúcar o cloruro de calcio, puede mantener o conseguir temperaturas bajas; sin embargo, no sabe cuál elegir, por lo que solicita ayuda para tomar una decisión.

La SDI tiene como objetivo que los participantes elijan la disolución pertinente para resolver la problemática a través de la experimentación. Se les proporcionan los ingredientes y un sensor sumergible de temperatura para el registro y recolección de datos (Figura 1) y, posteriormente, mediante el software de geometría dinámica GeoGebra se hace un tratamiento matemático de los datos a través de gráficas para su análisis (Figura 2) y la toma de decisiones en la situación planteada.

Figura 1

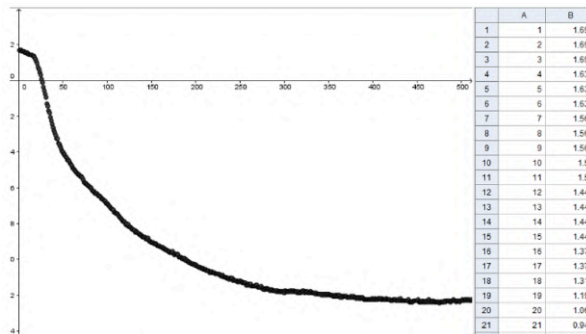
Sensor de temperatura sumergible



Nota. Elaboración propia.

Figura 2

Datos obtenidos y representados en GeoGebra



Nota. Producción de los participantes.

Esta SDI busca involucrar a los docentes en el diseño de un experimento que les permita obtener información de utilidad, para poder elegir la mejor opción de las planteadas en la tarea. Para el diseño y resolución de las tareas, se espera que el docente transite por las cuatro fases del proceso de la indagación propuesto por Cristobal y García (2013):

Fase I. Focalización. En esta fase, se proporciona una lectura sobre la problemática de Daniel y al final se plantean preguntas de control de la

lectura para conocer qué tan cercano es el contexto para los docentes, y con qué conocimientos previos o experiencias similares cuentan que les permitan tomar una decisión preliminar (Anexo 1). Dentro de la discusión de las razones de las respuestas, se pretende que el docente tenga la necesidad de comprobar por sí mismo si la opción que eligió es la pertinente, guiándolo al diseño de un experimento, para la observación y el análisis de lo que ocurre al agregar sal, azúcar o cloruro de calcio al hielo. Agregar alguno de estos elementos al agua reduce su punto de congelación y hace que el hielo pueda permanecer más tiempo por debajo o en 0°C , este fenómeno es conocido como descenso crioscópico. Finalmente, se le da la posibilidad al docente de crear su propio plan o bosquejo de experimento y comenzar con un planteamiento de indagación.

Fase II. Exploración. El docente explora el problema y plantea hipótesis, identifica sus objetivos y diseña su investigación. Con ello se espera que pueda desarrollar la indagación. Se tiene la intención de que el docente proponga las cantidades de hielo y de los elementos, azúcar, sal y cloruro de calcio, y desarrolle el experimento a su conveniencia, sin alejarse del objetivo, para dar respuesta al problema de la situación. Durante la experimentación, se utiliza el sensor de temperatura sumergible para la toma de datos.

Fase III. Reflexión. El docente reflexiona sobre su proceso de investigación y organiza el análisis de los datos y estructura las preguntas específicas de indagación. El docente debe dar un tratamiento matemático a los datos con GeoGebra, creando representaciones gráficas y tabulares, con las cuales pueda reconocer las variables involucradas (tiempo y temperatura), observar la variación que hay en los datos, además, trabajar con unidades de tiempo, comparar y estimar pesos y capacidades de los elementos y el hielo, de modo que pueda elegir proporciones pertinentes de las cantidades para aproximarse a mejores resultados.

Fase IV. Aplicación. El docente realiza la aplicación de sus estrategias, además, presenta los resultados de indagación y plantea un proceso de metacognición para favorecer el análisis retrospectivo por el que pasó, teniendo la oportunidad de mantener o cambiar la propuesta inicial, con sus argumentos correspondientes.

En cada una de las fases, se proporcionó a los participantes una hoja de trabajo con las indicaciones de las actividades y reportes que debían elaborar. De esta manera, se logró tener evidencia del trabajo realizado por los profesores a través de videgrabaciones, fotografías, reportes escritos, notas de campo y archivos de GeoGebra.

Los datos fueron analizados con base en las fases de indagación propuestas por Cristobal y García (2013), en las cuales se identificó cuáles fueron los conocimientos, las habilidades y las actitudes que los profesores

desarrollaron en cada una de las disciplinas STEM involucradas. Lo anterior, con la intención de conocer si los docentes desarrollaron aprendizaje STEM, en términos de Martín-Páez et al. (2019) y, de esta manera, tener elementos de la alfabetización STEM de los docentes.

Resultados

Los resultados se presentan en dos momentos: (1) se dan a conocer los resultados generales identificados; y, (2) se muestra una tabla (Tabla 1) que concentra los conocimientos, procesos y habilidades que exhibieron los profesores en cada disciplina de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas a lo largo de las cuatro fases de indagación.

Fase I. Focalización

La lectura, y la posterior discusión de las preguntas de comprensión propuestas (Anexo 1), promovió la socialización de conocimientos previos y de información informal; por ejemplo, se comentaron otros contextos relacionados con la situación como la preservación de alimentos, enfriamiento de bebidas, la preparación de la nieve de garrafa, en los cuales se utiliza la sal para mantener la consistencia del hielo, o bien, conseguir temperaturas más bajas.

Los conocimientos previos y experiencias influyeron en el planteamiento de hipótesis y de la solución al problema, por lo que la propuesta generalizada fue sugerirle a Daniel que agregara sal al hielo para mantener en buen estado sus paletas de hielo. Sin embargo, el desconocimiento del cloruro de calcio y de los efectos que puede provocar el azúcar en el hielo, sembró la curiosidad e interés por conocer qué sucede con esos dos ingredientes.

Al preguntar cómo se podía saber sobre el comportamiento real de los ingredientes al agregarlos al hielo, los docentes propusieron de manera inmediata experimentar y analizar las temperaturas que genera cada opción de ingrediente.

En esta fase, los docentes lograron hacer un diseño de los experimentos que necesitarían realizar. Para lo anterior, buscaron información en internet sobre los materiales para crear un prototipo de hielera; casos en los que se han utilizado los tres ingredientes; cantidades que se deben utilizar; y, formas de recolectar y registrar los datos.

El plan del experimento que reportaron los profesores permitió identificar los conocimientos, procesos y habilidades que desarrollaron en esta fase. Es posible resaltar que se identificaron las principales variables que están en juego, las cuales son la temperatura y el tiempo, se plantearon fases para la experimentación y procesos para la construcción del prototipo de la nueva hielera, de manera individual.

Tabla 1
Conocimientos, procesos y habilidades de la Fase I

Etapa	Disciplinas STEM	Conocimientos	Procesos	Habilidades
Fase I: Focalización	Matemáticas	<ul style="list-style-type: none"> • Variación. • Unidades de tiempo y medida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estimación. • Conversión. • Reconocimiento de variables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Creatividad. • Resolución de problemas. • Toma de decisiones. • Búsqueda de información. • Alfabetización digital. • Pensamiento crítico. • Pensamiento reflexivo.
	Tecnología	<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda de información. 	<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda y selección de información en Internet. 	
	Química	<ul style="list-style-type: none"> • Descripción de fenómenos químicos de la vida cotidiana. • Conceptos básicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Método científico. 	
	Ingeniería	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptación de una hielera. • Propuestas de materiales de utilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de un prototipo de hielera. 	

Fase II. Exploración

Una vez que tenían un plan de experimento, los docentes socializaron en equipos la información para identificar semejanzas y diferencias y diseñaron el plan final, considerando los materiales con los que se contaba para hacer los experimentos: vasos de diferentes materiales, papel aluminio, cucharas medidoras, básculas, hielo, agua, sal, azúcar, cloruro de calcio, trapos de tela, sensor sumergible de temperatura. Los docentes seleccionaron los materiales que consideraban más pertinentes para construir el prototipo de hielera y las unidades de medida con las que trabajarían (Figura 3), y plantearon los procesos para la toma y registro de datos. Estas acciones dejaron ver el desarrollo del método científico como un recurso para comprobar o descartar sus hipótesis.

Figura 3

Ejemplo de la selección de unidades de medida y material de un equipo



Nota. Producción de los participantes

La exploración del fenómeno con las variantes que ellos iban estableciendo y experimentando, permitió integrar como un elemento importante el uso del sensor de temperatura para recolectar los datos (tiempo en segundos y temperatura). Los docentes establecieron los tipos de mezclas que experimentarían, por ejemplo, agregar sal, azúcar y cloruro de calcio de manera separada en el hielo, o bien, hacer combinaciones con los ingredientes, como sal con azúcar y hielo o los tres ingredientes juntos (figuras 4 y 5).

Figura 4

Exploración



Nota. Producción de los participantes

Figura 5

Experimentación



Nota. Producción de los participantes

La libertad de poder experimentar, así como la facilidad de la toma de datos y conocer de manera inmediata los efectos en la temperatura de cada uno de los experimentos realizados, permitieron desencadenar la creatividad en los docentes y dar sentido a cada decisión que tomaban en el experimento, como: agregar más ingrediente, combinar ingredientes, sacar el sensor, mover el sensor, agregar agua, tapan el vaso con papel aluminio o un trapo mojado, triturar el hielo, entre otros. De esta manera, los docentes tuvieron la oportunidad de corroborar o refutar sus hipótesis o creencias de manera inmediata gracias a la información en tiempo real que proporcionaba el sensor.

Durante todo el proceso de experimentación, los docentes fueron registrando sistemáticamente las cantidades usadas, los tiempos y temperaturas, además de resultados e información que consideraban importante para los siguientes experimentos. La Tabla 2 muestra aquellos conocimientos, procesos y habilidades que los docentes desarrollaron durante la Fase II en cada disciplina involucrada, donde se puede identificar la relevancia de establecer unidades de medida estándar para poder hacer comparaciones entre los registros, determinar las proporciones entre los ingredientes añadidos y la cantidad de hielo utilizada. También es importante el uso y manejo del sensor para establecer los tiempos y formas en que se tomarían y guardarían los registros. La ingeniería jugó un papel fundamental en la construcción del prototipo de la hielera, poniendo en juego su conocimiento sobre las características de los materiales como el tipo de vaso que elegían, el uso de papel aluminio dentro o fuera del vaso y la necesidad de generar una tapa que cubriera el hielo para evitar la pérdida o ganancia de temperatura.

Tabla 2

Conocimientos, procesos y habilidades de la fase de exploración

Etapa	Disciplinas STEM	Conocimientos	Procesos	Habilidades
Fase II: Exploración	Matemáticas	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de diferentes unidades de tiempo y medida. • Proporciones. • Covariación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Obtención de medidas y proporciones adecuadas. • Observación y análisis de la relación entre el cambio de dos variables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo colaborativo. • Comunicación. • Creatividad. • Resolución de problemas. • Toma de decisiones. • Búsqueda de información. • Alfabetización digital. • Pensamiento crítico. • Pensamiento reflexivo.
	Tecnología	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de sensor. • Uso de báscula. • Uso de GeoGebra y Excel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Toma de datos. • Preparación de material. • Tratamiento de datos. 	
	Química	<ul style="list-style-type: none"> • Experimentar. • Conceptos básicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Método científico. 	
	Ingeniería		<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de un prototipo de hielera. 	

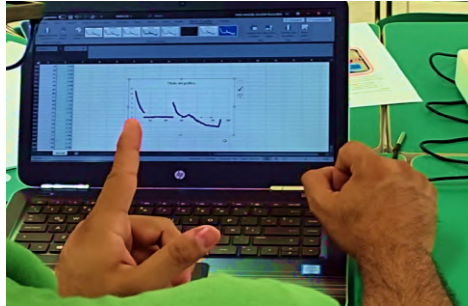
Fase III. Reflexión

Los datos recolectados con el sensor, las tablas de registros, las fotografías y videos que generaron los docentes sirvieron de fuente de información para el análisis del comportamiento del fenómeno químico. Con base en los resultados que observaron en el sensor y con información que continuaban

consultando en internet, los docentes reflexionaban sobre los resultados y ajustaban sus experimentos modificando las variables que consideraban necesarias para obtener temperaturas más bajas, como la cantidad de los ingredientes y la estructura del prototipo de hielera. El sensor permitía generar una base de datos con las temperaturas tomadas cada segundo, la cual se copiaba en una hoja de cálculo del software de geometría dinámica GeoGebra para su graficación (Figura 6). Las gráficas obtenidas permitieron, de manera inicial, un análisis cualitativo de los datos que relacionó las acciones del experimento con los cambios observados en las gráficas (Figura 7). Por ejemplo, los descensos rápidos en la temperatura al momento de agregar la sal, el aumento de temperatura cuando sacaban el sensor del vaso, el descenso de temperatura lento conforme pasaba el tiempo y no se agregaba más ingrediente, el aumento de temperatura al agregar grandes cantidades de cloruro de calcio. La relación continua entre cada acción realizada en el experimento con el trazo de la gráfica muestra cómo los docentes dieron significado a cada una de las gráficas, interpretándolas en términos del experimento.

Figura 6

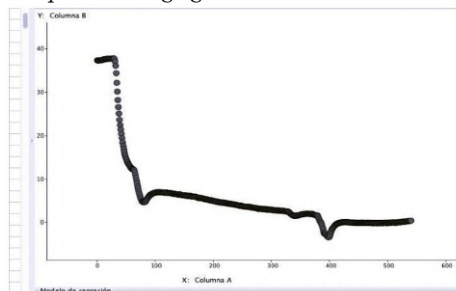
Análisis de las gráficas en GeoGebra



Nota. Producción de los docentes

Figura 7

Gráfica resultante de un experimento agregando sal al hielo



Nota. Producción de los docentes

La incorporación de GeoGebra facilitó la manipulación de la información y el trazo preciso de gráficas de datos reales. El uso de herramientas digitales, como el sensor y GeoGebra para su observación, brindó la oportunidad de reflexionar sobre la información obtenida de manera inmediata y obtener conclusiones argumentadas matemáticamente, por ejemplo: el análisis de los cambios de temperaturas en ciertos periodos mediante el cálculo de razones de cambio y la interpretación cualitativa de la gráfica. Es importante mencionar que esta fase de reflexión fue guiada a través de preguntas por parte de los investigadores para conocer más sobre la conveniencia de los ingredientes para Daniel, por ejemplo: ¿cuál ingrediente permite alcanzar la temperatura más baja?, ¿qué ingrediente baja la temperatura más rápido?, ¿qué cantidades de los ingredientes se requieren para bajar más la temperatura?, ¿cuál es la temperatura que se requiere mantener?, ¿cuál ingrediente mantiene la temperatura baja por más tiempo?, entre otras. En los resultados de esta fase se puede observar cómo los docentes adquirieron y refinaron conceptos de las diferentes disciplinas que se relacionaron. Se observa un mayor énfasis en química, derivado de la necesidad por argumentar sobre lo que sucedía en cada uno de los experimentos y así poder tomar una decisión.

Fase IV. Aplicación

La última fase se concentró en la comunicación de resultados, en la que se observa una estrecha relación entre las disciplinas, particularmente, se analizaron los comportamientos de los datos desde la parte matemática y química (figuras 8 y 9).

Figura 8

Análisis de datos, experimento con hielo y cloruro de calcio

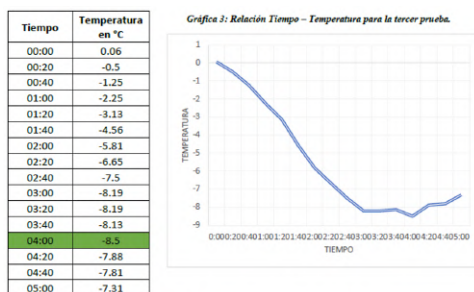


Ilustración 2: Toma de valores para la segunda experimentación con hielo y cloruro de calcio.

Nota. Producción de los docentes

La búsqueda de los argumentos sólidos en los cuales basar su decisión, llevó a los docentes a investigar conceptos y procesos de química como el fenómeno del descenso crioscópico y el número de iones de cada

ingrediente; analizar de manera cualitativa y cuantitativa los datos en tablas y gráficas; consultar precios de los ingredientes y cantidades utilizadas, la temperatura promedio de las paletas de hielo, materiales y costos, entre otros, para considerar la viabilidad de su propuesta.

Figura 9

Argumentación del proceso químico

Cuando la sal NaCl (Na^+ , Cl^-) entra en contacto con el hielo, los iones se arreglan alrededor de las moléculas de agua, que son polares (H_2O , O^{2-}) y viene a formar un compuesto (H_2O), (NaCl). Para este re-arreglo hacen falta solamente unos pequeños movimientos de átomos, y se hace por lo tanto en fase sólida.

Nota. Producción de los docentes

Los conocimientos, procesos y habilidades identificados en los docentes durante las Fases III y IV se agruparon en la Tabla 3, donde es posible observar la predominancia de la química al momento de conocer el porqué de los resultados que estaban obteniendo y qué tipo de relaciones químicas se estaban dando. Los docentes en estas fases lograron aplicar sus conocimientos de matemáticas y adquirir o ampliar conocimientos de química.

Tabla 3

Conocimientos, procesos y habilidades de las fases de Reflexión y Aplicación

Etapa	Disciplinas STEM	Conocimientos	Procesos	Habilidades
Etapa III: Reflexión	Matemáticas	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de gráficas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Obtención de medidas y proporciones adecuadas. • Observación y análisis de la relación entre el cambio de dos variables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo colaborativo. • Comunicación. • Creatividad. • Resolución de problemas. • Toma de decisiones.
	Tecnología	<ul style="list-style-type: none"> • Manipulación de una base de datos. • Búsqueda de información. 	<ul style="list-style-type: none"> • Toma de datos. • Preparación de material. • Tratamiento de datos. 	
Etapa IV: Aplicación	Química	<ul style="list-style-type: none"> • Descenso crioscópico. • Los cambios de fase del agua con diferentes disoluciones. • Abatimiento del punto de congelación. • Conceptos básicos de química. • Entropía de las disoluciones. • Notación científica. 		<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda de información. • Alfabetización digital. • Pensamiento crítico. • Pensamiento reflexivo.

Conclusiones

La experiencia y los resultados obtenidos, en la implementación de esta secuencia didáctica interdisciplinaria (SDI), permiten concluir que el trabajo indagatorio entre distintas disciplinas favoreció en los docentes el desarrollo de argumentos sólidos para la resolución de problemas y la toma de decisiones fundamentadas. Durante el proceso, los participantes lograron aplicar sus conocimientos, integrar procedimientos y poner en práctica habilidades propias de diversas áreas, lo que les permitió diseñar experimentos y prototipos creativos, utilizar las tecnologías disponibles y, sobre todo, colaborar y pensar de manera crítica y reflexiva.

De acuerdo con Martín-Páez et al. (2019), a lo largo de las cuatro fases de indagación contempladas en la SDI, los docentes desarrollaron aprendizaje STEM, ya que lograron aplicar y ampliar de manera integrada conocimientos, procesos y habilidades STEM en la resolución de problemas y toma de decisiones en contextos reales e interdisciplinarios (tablas 1, 2 y 3). Asimismo, de acuerdo con Couso (2017), los docentes evidenciaron avances en su alfabetización STEM al participar en actividades basadas en la indagación, plantear hipótesis, emplear el método científico y articular conceptos y procedimientos provenientes de las matemáticas, la química y la tecnología. Este proceso los condujo a generar respuestas y soluciones innovadoras, sustentadas en la búsqueda y análisis de información confiable, así como en la toma de decisiones creativas adaptadas a su contexto educativo.

Es importante reconocer que la aplicación de este tipo de secuencias requiere una inversión considerable de tiempo, tanto en la búsqueda y selección de información, como en la experimentación, el tratamiento y análisis de datos, y la comunicación final de los resultados. No obstante, el tiempo dedicado se traduce en una experiencia formativa significativa, ya que permite a los docentes desarrollar diversos conocimientos, procesos y habilidades, además de brindarles elementos y confianza para el diseño de futuras secuencias didácticas interdisciplinarias con un enfoque STEM.

Si bien la SDI presentada pone énfasis en los procesos químicos, ofrece elementos iniciales para el diseño de secuencias didácticas interdisciplinarias centradas en otras ciencias, como la física o la biología, siempre tomando como eje las fases de la indagación y la esencia del enfoque STEM. La implementación de este tipo de secuencias genera ambientes de aprendizaje donde los docentes se sitúan en una posición similar a la de sus estudiantes, permitiéndoles vivenciar los procesos experimentales y adquirir herramientas para su futura adaptación y aplicación en el aula.

Finalmente, el diseño y la comunicación de experiencias, como la aquí descrita, buscan evidenciar los alcances de incorporar la indagación como medio para promover la alfabetización STEM en docentes de matemáticas

de educación básica y media superior. Asimismo, se propone un camino para el diseño de futuras secuencias didácticas interdisciplinarias innovadoras orientadas a la resolución de problemas, que contribuyan al fortalecimiento de la práctica docente y a la formación de educadores capaces de responder a las nuevas exigencias de la educación en México.

Referencias

- Alianza para la promoción de STEM. (2019). *Visión STEM para México*. <https://bit.ly/49OtzhV>
- Camacho, H., Casilla, D., & Finol de Franco, M. (2008). La indagación: una estrategia innovadora para el aprendizaje de procesos de investigación. *Laurus*, 14(26), 284–306. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=76111491014>
- Castrillón-Yepes, A., & Lebrun-Llano, V. (2023). A systematic literature review on STEM education for mathematics and science pre-service teachers. *Uni-Pluriversidad*, 23(1–2), 1–20. <https://doi.org/10.17533/udea.unipluri.348447>
- Cristobal, C. M., & García, H. (2013). La indagación científica para la enseñanza de las ciencias. *Horizonte de la Ciencia*, 3(5), 99–104. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5420523>
- Couso, D. (2017). Per a què estem a STEM? Un intent de definir l'alfabetització STEM per a tothom i amb valors [¿Por qué estamos en STEM? Un intento de definir la alfabetización STEM para todo el mundo y con valores]. *Revista Ciències*, 34, 22–30. <https://revistes.uab.cat/ciencies/article/download/n34-couso/511/711>
- Maass, K., Geiger, V., Ariza, M. R., & Goos, M. (2019). The role of mathematics in interdisciplinary STEM education. *ZDM - Mathematics Education*, 51(6), 869–884. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01100-5>
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F. J., & 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/sc.21522>
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A guide for teaching and learning*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/9596>
- National Research Council. (1996). *National science education standards*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/4962>
- Pineda Caro, D. Y. (2023). Enfoque STEAM: Retos y oportunidades para los docentes. *Revista Internacional de Pedagogía e Innovación Educativa*, 3(1), 229–244. <https://doi.org/10.51660/ripie.v3i1.115>
- Reyes-Cárdenas, F., & Padilla, K. (2012). La indagación y la enseñanza de las ciencias. *Educación Química*, 23(4), 415–421. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30129-5](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30129-5)

- Secretaría de Educación Pública (SEP). (2023). *Sugerencias metodológicas para el desarrollo de los proyectos educativos. Ciclo Escolar 2022-2023*. Secretaría de Educación Pública. <https://bit.ly/4eB7Prt>
- Toma, R. B., & García-Carmona, 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. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3093>
- Van der Linde, G. (2007). ¿Por qué es importante la interdisciplinariedad en la educación superior? *Cuaderno de Pedagogía Universitaria*, 4(8), 11–12. <https://doi.org/10.29197/cpu.v4i8.68>

Anexos

Tarea 1. El vendedor de paletas

Nombre: _____ **Fecha:** _____

En la temporada de calor, podemos encontrar en parques, escuelas, y en diversas calles de las ciudades, vendedores de paletas de hielo, con sus tradicionales carros o hieleras con llamativos decorados y sus campanillas que llaman a chicos y grandes a gozar de una deliciosa variedad de sabores.



Daniel, un joven de 16 años de edad, lleva alrededor de dos años vendiendo paletas de hielo en su escuela, de sabores: limón, vainilla, fresa y por supuesto del tradicional chocolate. Estos son los sabores preferidos por sus compañeros para poder refrescarse y por ello, Daniel las ofrece para que al final todos queden contentos.

La venta de paletas de hielo aumentará en esta época de calor, Daniel lo sabe y por ello debe poner a congelar más paletas y preservarlas heladas durante las horas que está en la escuela, para que estén a disposición de sus compañeros.

Él utiliza hielo dentro de una hielera para garantizar que sus paletas puedan seguir congeladas, sin embargo, su hielera ya tiene mucho tiempo de uso y no está preservando la temperatura como antes. Mientras reúne el dinero suficiente para comprar una nueva, debe buscar alternativas para lograr que sus paletas continúen congeladas y no perder mercancía y, por consecuencia, ganancia. Encontró mucha información interesante en Internet, como por ejemplo que la sal, el azúcar y el cloruro de calcio son ingredientes que podrían servirle para mantener sus paletas congeladas por un mayor tiempo. Sin embargo, la información no le es muy clara y no logra decidir cuál de las tres opciones es mejor para él.

¡Ayuda a Daniel a decidirse por alguno de los tres ingredientes para que pueda seguir vendiendo sus ricas paletas de hielo!

Fuente: Adaptado de NOTIMEX (2017).

Contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Has escuchado algo acerca de la información que encontró Daniel en Internet y dónde?
2. ¿Conoces algún otro ingrediente que le pueda ser útil a Daniel?
3. Con base en tu experiencia, ¿qué opción le recomendarías a Daniel?
4. ¿Cómo le harías para mantener en condiciones óptimas las paletas?

