



Experiencias STEM en la Formación Inicial de Profesores de Matemáticas

Mónica Eliana Cardona Zapata^a, Jaime Andrés Carmona-Mesa^a, Alexander Castrillón-Yepes^a, Jhony Alexander Villa-Ochoa^a

^aFacultad de Educación, Universidad de Antioquia. Calle 67 # 53-108, Medellín, Colombia.

ARTICLE INFO

Received: Marzo 7, 2018
Accepted: Noviembre 11, 2018
Available on-line: Mayo 1, 2019

Keywords: STEM Education, experimentation, math teacher training.

E-mail addresses:
meliana.cardona@udea.edu.co
jandres.carmona@udea.edu.co
alexander.castrillony@udea.edu.co
jhony.villa@udea.edu.co

ISSN 2007-9842

© 2019 Institute of Science Education.
All rights reserved

ABSTRACT

Some research reports that while mathematics teachers are interested in integrating STEM approaches, their training does not allow them to recognize the connections between disciplines when supporting their students. In this sense, an experience framed in the development of an innovation project of the Specialization Seminar II course, of the Basic Education Degree with emphasis in Mathematics, of the University of Antioquia, Colombia, is described; in which a task design is proposed through situations in which a problematization of water heating through the use of thermometers and computational simulations, to establish an analysis of the bidirectional relationship between mathematics and science. In this article, content analysis is used to study the understandings and interpretations of three future teachers through academic production in an episode related to water heating. The conclusions report that the experimentation allowed the approach of mathematical relations and the interpretation of graphs, where the mathematization of the phenomenon was not reduced to the assignment of numbers. In the same way, the use of technology allowed to broaden the analysis of the phenomenon through multiple forms of representation and made possible significant connections between mathematics and science. Finally, it is proposed to analyze in future research the intensive or extensive nature of the magnitudes that were the subject of discussion in this research.

Algunas investigaciones informan que si bien los profesores de matemáticas están interesados en integrar enfoques STEM, su formación no les permite reconocer las conexiones entre las disciplinas al momento de apoyar a sus estudiantes. En ese sentido, se describe una experiencia enmarcada en el desarrollo de un proyecto de innovación del curso Seminario de Especialización II, de la Licenciatura Educación Básica con Énfasis en Matemáticas, de la Universidad de Antioquia, Colombia; en el cual se propone un diseño de tareas mediante situaciones en las que se planteó la problematización del calentamiento del agua a través del uso de termómetros y simulaciones computacionales, para establecer un análisis sobre la relación bidireccional entre la matemática y la ciencia. En este artículo se utiliza el análisis de contenido para estudiar las comprensiones e interpretaciones de tres futuros profesores a través de la producción académica en un episodio relacionado con el calentamiento del agua. Las conclusiones informan que la experimentación posibilitó el planteamiento de relaciones matemáticas y la interpretación de gráficas, en donde la matematización del fenómeno no se redujo a la asignación de números. De igual forma, que el uso de tecnología permitió ampliar el análisis del fenómeno por medio de múltiples formas de representación y posibilitó conexiones significativas entre matemáticas y ciencias. Finalmente, se plantea que en futuras investigaciones analizar la naturaleza intensiva o extensiva de las magnitudes que fueron objeto de discusión en esta investigación.

I. INTRODUCCIÓN

El acrónimo STEM fue introducido en la década de 1990 en Estados Unidos para referir a la integración de las disciplinas ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas y se consolidó como un movimiento gubernamental para fortalecer la mano de obra, los productos y procesos en las disciplinas que lo componen (Sjoquist & Winters, 2015). En este sentido, se han desarrollado estudios que documentan la integración de STEM en los diferentes niveles educativos de países como Estados Unidos, Reino Unido, Malasia y Corea. Sin embargo, es necesario ampliar en investigaciones sobre las maneras de formar profesores que fomenten las conexiones entre estas disciplinas, especialmente en las matemáticas y las ciencias (English, 2016).

En un enfoque STEM, los profesores tendrán que saber cómo favorecer en los estudiantes el reconocimiento de vínculos entre estas disciplinas, a través de actividades integradas (Li, Ernst & Williams, 2016). Al respecto, autores como Shernoff, Sinha, Bressler y Ginsburg (2017) plantean que muchos profesores están interesados en integrar enfoques STEM, pero no se sienten preparados para implementarlos. En virtud de ello, algunos estudios informan que la integración de las matemáticas con otras disciplinas STEM tiende a producir aprendizajes no positivos en matemáticas (English, 2016; National Academy of Engineering and National Research Council, 2014). De igual forma, investigaciones demuestran que los profesores de matemáticas son más propensos a evitar el trabajo con colegas de otras áreas (Li et al., 2016).

Siew, Amir y Chong (2015) reconocen que si bien la argumentación en matemáticas difiere de la argumentación en las ciencias, es necesario generar las condiciones para comprender lo que hace que los argumentos científicos sean diferentes de los argumentos matemáticos y establecer conexiones más elaboradas entre ellas. Por lo tanto, la formación de profesores para integrar enfoques STEM debe trascender el generar ejemplos interesantes o informar sobre la importancia de estas disciplinas a vivir experiencias que les permita establecer comprensiones profundas (Badri et al., 2016; National Academy of Engineering and National Research Council, 2014).

En consecuencia, es necesario considerar un replanteamiento y rediseño de los cursos en la formación inicial de profesores de matemáticas para alcanzar una integración STEM efectiva (Shernoff et al., 2017); en donde se favorezcan acciones secuenciales de experimentar, cuestionar, analizar, adaptar, prever y reflexionar en aulas de matemáticas (Baker y Galanti, 2017) y que las limitaciones de infraestructura tecnológica no se conviertan en un limitante para dicha integración (Siew et al., 2015). Por lo tanto, la propuesta descrita en este artículo fue implementada a partir de un diseño de tareas mediante situaciones que problematizan diferentes conceptos matemáticos y físicos; mostrando aquí los principales resultados de una actividad la que se usó termómetros y simulaciones computacionales, para establecer un análisis sobre la relación bidireccional entre la matemática y la ciencia.

II. METODOLOGÍA

El presente trabajo se realizó desde la perspectiva de la metodología de investigación cualitativa que, de acuerdo con Taylor y Bogdan (1984), se refiere a una metodología de investigación que produce datos descriptivos: “las propias palabras de las personas, habladas o escritas, y la conducta observable” (p. 20); es decir, en este tipo de investigación se producen datos a los que no se llega por métodos estadísticos o cualquier otro medio de cuantificación, y de los cuales se realizan interpretaciones con el propósito de “descubrir conceptos y relaciones [...] y luego organizarlos en un esquema explicativo teórico” (Strauss & Corbin, 2014, p. 12). De acuerdo con lo anterior, la investigación cualitativa tiene un enfoque descriptivo e interpretativo, donde el investigador narra lo que hace concentrándose no en los procedimientos sino en los resultados, observando participativamente desde dentro del ambiente estudiado, inmerso en el fenómeno de interés, anotando cuidadosamente todo lo que ocurre en ese ambiente, registrando eventos sin alterar el lenguaje cotidiano y los valores que se encuentran presentes, considerando las producciones de los alumnos y haciendo entrevistas.

II.1 Contexto y participantes

Los participantes de la investigación fueron 16 futuros profesores del curso Seminario de Especialización II del programa Licenciatura Educación Básica con Énfasis en Matemáticas, de la Universidad de Antioquia, Colombia. Este programa tiene como propósito la formación de profesores con un sólido dominio disciplinar relacionado con el saber pedagógico y didáctico, que contribuya a la solución de problemas contextualizados y al mejoramiento de la calidad en la educación a través de la articulación con el desarrollo de la ciencia y la tecnología. En particular, se registran investigaciones al interior del programa en la articulación de las matemáticas con la tecnología (Carmona-Mesa, Cardona & Villa-Ochoa, 2017; Carmona-Mesa, Salazar & Villa-Ochoa (2018-en prensa), pero relaciones de estas con la ciencia no han sido estudiadas. Para el análisis de la información registrada, se seleccionaron 3 participantes que fueron identificados con los códigos E1 a E3.

II.2 Procedimiento para el registro de la información

En el marco de la investigación cualitativa, se tuvieron en cuenta algunas técnicas e instrumentos para el registro de la información, tales como la observación participante, el diario de campo y la grabación de video. Además, como principal instrumento para evidenciar el desarrollo de la actividad se propuso la elaboración de una bitácora individual, en la que cada estudiante realizó el registro de sus percepciones durante el desarrollo de cada experimento, orientados por tres preguntas: ¿Cuáles son los roles de la tecnología en el desarrollo de procesos de experimentación en las matemáticas escolares? ¿Qué posibilidades y desafíos trae la experimentación en la construcción del conocimiento matemático en la escuela? ¿Cuáles aspectos son fundamentales en el diseño de ambientes que propicien la experimentación con tecnología para la enseñanza de las matemáticas? A continuación se describen las actividades propuestas para la intervención.

II.3 Intervención

Autores como Malagón, Ayala y Sandoval (2011) y Romero y Aguilar (2013) plantean que en el proceso de la matematización de las situaciones físicas, como en fenómenos térmicos, se requiere una comprensión profunda de la justificación y el significado de las matemáticas en el contexto de la física. En ese sentido, se diseñó una secuencia de tareas mediante situaciones en las que se planteó el análisis del calentamiento del agua a través del uso de termómetros y simulaciones computacionales, para establecer una relación bidireccional entre la matemática y la ciencia. Se eligió el uso de tecnologías como termómetros de mercurio y simuladores computacionales, por su potencial para problematizar fenómenos al favorecer procesos asociados a la visualización, al establecimiento y validación de hipótesis y conjeturas (Molina-Toro, Villa-Ochoa & Suárez-Téllez, 2018); además, de ser recursos de fácil acceso para cualquier contexto educativo.

Las tareas inician con el reconocimiento del termómetro de mercurio como recurso que nos permite cuantificar fenómenos térmicos. Posterior a esto, se discuten con los futuros profesores de matemáticas los conocimientos previos en el proceso de hervir agua y se solicita identificar patrones, variables y proyectar una posible curva que describe dicho proceso. En este punto, emergen elementos importantes en el problema pero no puntualizan detalles como cuáles variables son dependientes o independientes y qué características o comportamiento tendrá la función que describe el fenómeno. Por lo tanto, se planteó realizar el experimento en clase para ampliar la comprensión del fenómeno, a partir de esta situación y utilizando un recipiente de plástico, un electrodo, el termómetro y el simulador. Para extender el análisis en los valores extremos de la función, se solicita utilizar el simulador computacional (<https://goo.gl/Lr9mQR>).

II.4 Procedimiento para el análisis de la información

El análisis de la información recolectada es uno de los procesos más importantes en la investigación cualitativa, porque a partir de él es posible comprender la realidad del objeto de estudio, lo que no se logra solamente con el registro de la información. En particular, para la presente investigación se empleó el análisis de contenido como principal proceso para

dar sentido a los resultados de la investigación. A partir de este análisis fue posible reflexionar sobre la información recolectada con el fin de comprenderla y llegar a una interpretación del fenómeno estudiado, como lo menciona Bautista (2011) “cuando se habla de “análisis de contenido”, se da por entendido que hay un significado oculto o guardado detrás de los hechos que hace prioritaria su develación para que surja una “interpretación” que permita ese nuevo conocimiento de lo que se está buscando, a través del discernimiento” (p. 188). En dicho análisis se describieron las características de los hechos que se consideran relevantes para resolver la necesidad identificada en la investigación. A partir de este procedimiento, se llevó a cabo la categorización, en la cual se organizó la información estableciendo relaciones entre situaciones que presentaban regularidades y estaban ligadas al propósito de la investigación. A continuación se realiza la discusión de los hallazgos derivados de la implementación de la propuesta aquí descrita.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan los principales resultados de la investigación y su respectivo análisis, que busca establecer una relación bidireccional entre las matemáticas y la ciencia a través del caso particular del calentamiento del agua. Para lo anterior, se centró la atención principalmente en el proceso de interpretación lograda por los profesores de matemáticas en formación, en términos de las relaciones entre variables, la interpretación de gráficas y las implicaciones para el papel de la experimentación en la enseñanza de las matemáticas. En consecuencia se generaron tres categorías de análisis a partir de las cuales se discuten los hallazgos. Los códigos E1 a E3 corresponden a los participantes de la investigación, y los instrumentos utilizados para el análisis fueron las bitácoras de cada uno de los profesores en formación y el diario de campo de los investigadores.

III.1 Relaciones entre variables

Esta primera categoría de análisis refleja la comprensión de los estudiantes de la temática abordada, en términos de las relaciones entre variables que pudieron establecer a partir del desarrollo del experimento. Para esto se retoman algunas expresiones de los futuros profesores que fueron registradas en la bitácora individual durante la intervención. En términos de Romero y Aguilar (2013), estas expresiones son explicaciones al fenómeno estudiado y generan “procesos discursivos en relación a lo que se quiere “observar”, lo que se “percibe”, lo que se nombra como “hecho” y lo que se pretende “representar” con ese hecho” (p. 14). Entre los principales hallazgos se refleja la importancia que los participantes dan a la medición para establecer la influencia de las variables involucradas en el fenómeno, lo que se evidencia en las siguientes expresiones:

“El conocimiento matemático emergió en la medida en que se fue desarrollando el experimento; se identificaron variables involucradas (volumen de agua, tiempo, temperatura) y posibles relaciones matemáticas entre estas” (E1).

“En el momento de elaborar un modelo para describir el calentamiento del agua emergieron diferentes variables a tomar en cuenta, como la altura en la cual nos encontrábamos (metros sobre el nivel del mar), la cantidad de agua, el voltaje del calentador y la temperatura ambiente, entre otras” (E1).

“Se realizó la regresión lineal de los datos obtenidos mediante los registros de la temperatura, tomados cada minuto ya que sabíamos que el calor del agua aumentaría progresivamente, concluimos que las variables independientes fueron el tiempo, el contexto, la cantidad de agua y el material de la jarra, y la variable de dependiente era la temperatura. También se concluye que en 7 minutos la temperatura subió de 0° a 96°. Pienso que es una actividad muy abierta a trabajar desde varias perspectivas, como la física, estadística, algebraica, todo depende de la intención del docente” (E2).

En lo anterior, cabe resaltar que uno de los principales elementos que evidencian la comprensión de estas relaciones entre variables es el hecho de evocar la elaboración de modelos, en la que sin duda es necesario tener apropiación del comportamiento de las diferentes magnitudes físicas bajo ciertas condiciones (Malagón, Ayala &

Sandoval, 2011). En este mismo sentido, E1 va más allá de la descripción de las relaciones establecidas y manifiesta en su escrito algunas reglas de acción que emergieron del interés por indagar la posibilidad de crear un modelo más general para las curvas de calentamiento, teniendo como variables independientes el tiempo y la cantidad de agua, al respecto este manifestó lo siguiente:

“Para esto, se compararon las funciones propuestas para el experimento 1 y el experimento 2, observando el cambio en algunos valores entre un experimento y otro, a la vez que intentaban establecerse relaciones numéricas entre estos valores y las cantidades de agua utilizadas en cada uno de estos experimentos, con el propósito de involucrar una tercera variable z (cantidad de agua). Esto puede resultar un poco complejo en el momento de intentar explicarlo.

Paso 1: Dado que en el exp 1 (100 gr) se tiene la recta de aumento de temperatura: $y = (3/5)x + 10$, y en el exp 2 (200 gr) esta recta es $y = (3/10)x + 10$.

Se obtuvo la siguiente conclusión: en un experimento con 400 gr de agua, se tendría la recta de aumento de temperatura $y = (3/20)x + 10$

De igual forma, dado que en el exp 1 (100 gr) el punto de ebullición se alcanza a los 150 segundos, y en el experimento 2 (200 gr) este punto se alcanza a los 300 segundos, se obtuvo la siguiente conclusión: en un experimento con 400 gr de agua, se alcanzaría el punto de ebullición a los 600 segundos.”

En la Figura 1 se presenta la ecuación descrita por la participante.

Para 400 gr

$$y = \begin{cases} \frac{3x + 10}{20} & 0 < x < 600 \\ 100 & x > 600 \end{cases} \quad \text{Ebullición 600 segundos}$$

FIGURA 1. Ecuación de la recta de temperatura para un experimento con 400 gramos de agua

En estos procedimientos se plantearon unas posibles relaciones de proporcionalidad entre la cantidad de agua y los valores que cambiaban en las funciones entre un experimento y otro (el denominador del coeficiente que acompaña la x y el tiempo en el que se alcanza el punto de ebullición). Luego, se buscó la forma de expresar estas relaciones de manera numérica, expresando este denominador y este tiempo en términos de la cantidad de agua (z) utilizada durante el experimento. Se obtuvo el siguiente resultado [la expresión matemática se presenta en la Figura 2]:

para z cantidad de agua en gr Temperatura inicial 10°
calentador 250 w

$$y = \begin{cases} \frac{3x + 10}{z/20} & 0 < x < \frac{3z}{2} \\ 100 & x > \frac{3z}{2} \end{cases} \quad \begin{matrix} \downarrow \\ \text{punto de ebullición} \\ \text{(el tiempo} \\ \text{transcurrido)} \end{matrix}$$

FIGURA 2. Ecuación de la recta de temperatura para una cantidad z de agua.

“Este es el modelo que se propuso para la curva de calentamiento, donde se involucran las siguientes variables: tiempo (x), cantidad de agua (z) y temperatura (y). Las primeras dos son variables independientes, mientras que “ y ” es variable dependiente. Este modelo fue probado con el valor de “ z ” y los valores de “ x ” usados en los experimentos 1 y 2, encontrando coincidencias en los valores de “ y ” obtenidos mediante el uso del simulador y los valores arrojados por la función propuesta” (E1).

En los fragmentos subrayados del párrafo anterior puede observarse que E1 describe el propósito de establecer modelos matemáticos para reflejar la relación entre las diferentes variables consideradas en el experimento, y de esta manera concluir la dependencia e independencia de cada una de ellas y las relaciones de proporcionalidad que explican el comportamiento de estas magnitudes en el fenómeno estudiado. Adicionalmente, en el modelo planteado se observa una simplificación del fenómeno, pues algunas variables identificadas previamente como la altura sobre el nivel del mar fueron despreciadas. Este es un proceso importante no solo para la elaboración del modelo, sino también para la generalización y comprensión teórica del fenómeno.

Lo anterior admite concluir que a través de esta dialéctica entre experimentación y matemáticas, en donde la cuantificación o la matematización del fenómeno estudiado no se redujo a la asignación de números (Malagón, Ayala y Sandoval, 2011), permitió que la construcción de modelos y las relaciones entre variables cobren sentido para los futuros profesores de matemáticas, al estudiar diferentes fenómenos cercanos a sus experiencias cotidianas; lo que para E3 significa que “*los cálculos matemáticos no son todas las matemáticas que podemos sacar de este experimento, estas también están presentes en la interpretación de los resultados y la justificación de los fenómenos a partir de un modelo matemático*”.

III.2 Interpretación de gráficas

Esta segunda categoría da cuenta de la comprensión que tuvieron los participantes en el proceso de elaboración e interpretación de gráficas, entendiendo estas como representaciones simbólicas, usualmente elaboradas mediante líneas, puntos o superficies, que dan cuenta de las relaciones entre variables, en este caso del campo de la ciencia. Para esto se realiza una descripción de las gráficas elaboradas por los participantes, así como las conclusiones a las que llegan a partir de su análisis.

En primer lugar, se presenta el caso de E1, quien en su bitácora describe el proceso de modelación del calentamiento del agua, partiendo de la explicación del experimento realizado y del procedimiento llevado a cabo en un laboratorio virtual sobre la curva de calentamiento. A partir de lo anterior, realiza una tabla de datos en la que registra el cambio de temperatura del agua a lo largo del tiempo al calentarse con una potencia de 250W durante 150 segundos; en la lectura de los datos, esta participante menciona que “*en estas tablas se observan regularidades en el aumento de la temperatura entre las mediciones efectuadas cada 15 segundos. En el experimento 1 la temperatura aumentaba 9° cada 15 segundos, mientras que en el experimento 2 la temperatura aumentaba 4.5° cada 15 segundos*”, y posteriormente presenta la gráfica elaborada en GeoGebra; esta gráfica se presenta en la figura 3.

Sobre la gráfica presentada en la Figura 3, E1 menciona que “*estos gráficos dieron la posibilidad de observar que la temperatura del agua con respecto al tiempo, desde el comienzo del experimento hasta el punto de ebullición, podía describirse mediante una función lineal. Asimismo, se observó que esta temperatura era constante después del punto de ebullición (a los 150 segundos en el experimento 1, a los 300 segundos en el experimento 2)*”, de lo que puede afirmarse que realiza una interpretación coherente con el modelo del fenómeno estudiado y establece relaciones pertinentes que le permitieron describir el proceso de modelación matemática que se presentó en la categoría anterior. Otro aspecto por resaltar de dicho análisis es la asociación del fenómeno con una función lineal, en donde la comprensión de función no está ligada exclusivamente con una fórmula, pues se trasciende a una interpretación en términos de comportamiento o tendencia entre variables y no presentarlo en términos deterministas (Kjeldsen & Lützen, 2015).

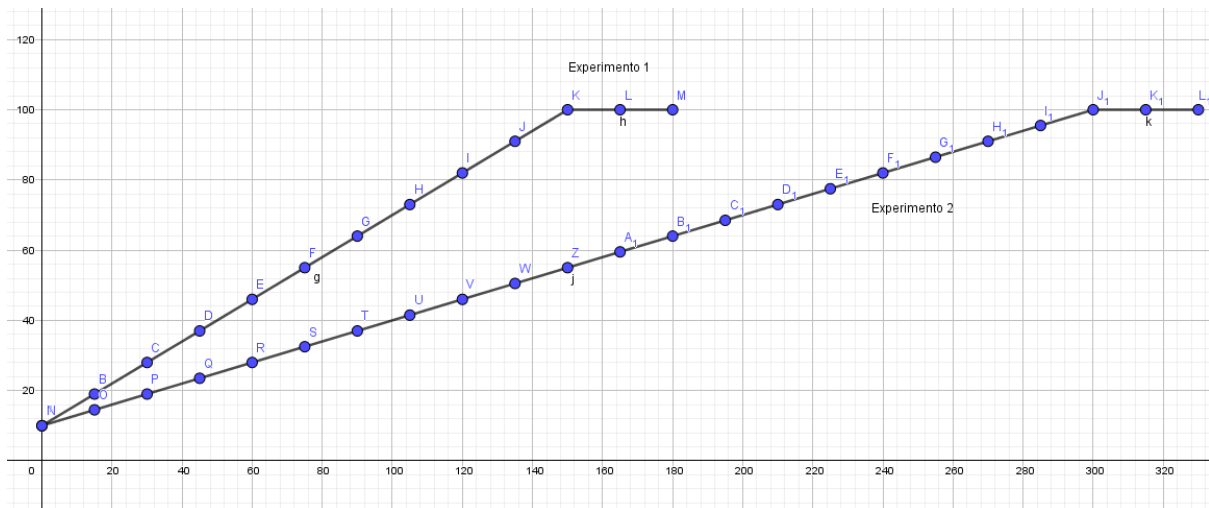


FIGURA 3. Curva de calentamiento del agua elaborada por la participante E1.

Por su parte, E2, para este mismo experimento, menciona el procedimiento que se llevó a cabo para determinar la curva de calentamiento, el cual fue presentado en la categoría anterior; sin embargo, no realiza un análisis de la gráfica obtenida, reduciendo su interpretación a la identificación de patrones, sin alguna explicación; lo anterior se observa en la Figura 4.

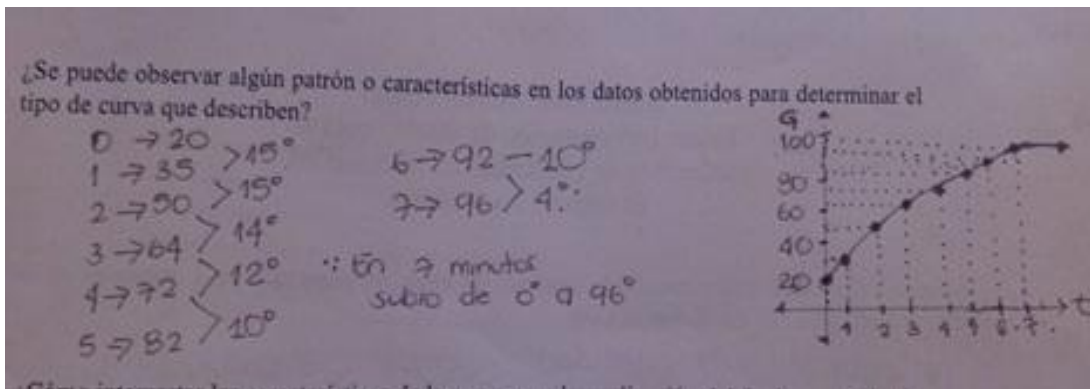


FIGURA 4. Curva de calentamiento del agua elaborada por la participante E2.

Por último, el participante E3 hace alusión a la recolección de datos a través del simulador sobre el calentamiento del agua y realiza una comparación con los obtenidos experimentalmente, expresando que “los datos obtenidos en el recurso, en contraste con los que arrojó el experimento realizado en la clase anterior tienen un comportamiento similar, esto en cuanto a que transcurrido un tiempo; la temperatura del agua tiende a mantenerse constante (punto de ebullición), en la práctica fue de 94° C mientras que teóricamente fue de 100°C”; adicional a esto, en la Figura 5 se presenta la actividad realizada por E3 en el simulador. Como interpretación de esta actividad en el simulador, este futuro profesor menciona que “esta comparación permitió analizar y reflexionar sobre otros fenómenos o variables que no fueron tenidos en cuenta o no se percibieron en el desarrollo de la actividad o del taller”; y luego describe algunas potencialidades de este recurso, como la posibilidad de sistematizar los datos del experimento de manera más eficiente y de realizar gráficas que faciliten la relación entre las magnitudes estudiadas en el fenómeno.

Lo analizado en el párrafo anterior, se corresponde con los resultados de otros estudios al presentar evidencia del potencial de los simuladores para producir significados matemáticos (Molina-Toro, Villa-Ochoa y Suárez-Téllez, 2018). Además, es expone evidencia empírica de cómo estos significados matemáticos son ampliados y relativizados en el contraste con los datos experimentales, es decir, favoreció que el futuro profesor estableciera una relación bidireccional entre la matemática y el fenómeno físico.

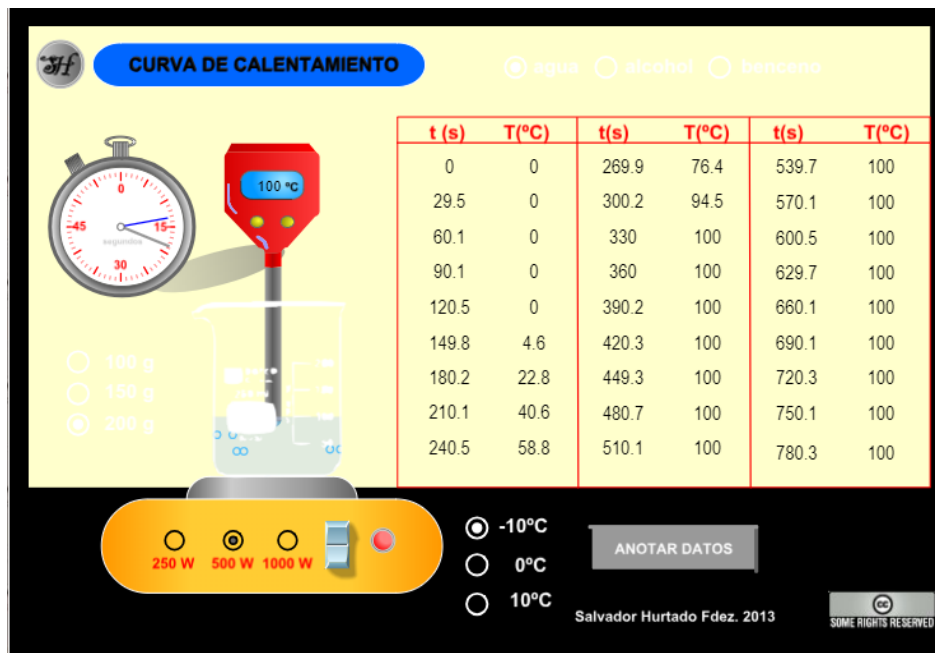


FIGURA 5. Datos sobre la variación de la temperatura del agua realizada en el simulador.

A partir de los hallazgos descritos anteriormente, puede concluirse para esta categoría que si bien la elaboración de gráficas es un sistema de representación con amplias posibilidades para favorecer la comprensión de un fenómeno físico, como en este caso el calentamiento del agua; es importante fortalecer en los estudiantes las habilidades de pensamiento matemático para que tengan herramientas suficientes que permitan vincular el comportamiento de una gráfica, como la correspondiente a una función determinada, y así tener un mayor acercamiento a la interpretación de las relaciones que se establecen entre diversas magnitudes.

III.3 Implicaciones del papel de la experimentación y la tecnología en la enseñanza de las matemáticas

En esta última categoría se discuten los hallazgos en relación con algunos indicios de los futuros profesores sobre las implicaciones de la experimentación y del uso de la tecnología en la enseñanza de las matemáticas. Para determinar esto, se identificaron algunas recurrencias en los discursos de los futuros profesores; particularmente E1 se refiere a la relación de los experimentos realizados con situaciones cotidianas: *“resulta interesante conocer cómo se pueden generar procesos de experimentación y modelación matemática a partir de situaciones cotidianas como el calentamiento del agua. Esta situación permitió, a pesar de su sencillez aparente, desarrollar procesos de exploración, abstracción y sistematización, e involucró el trabajo con diferentes pensamientos matemáticos a la vez (métrico, aleatorio y variacional, principalmente)”*. Las competencias a las que se refiere este futuro profesor, hacen alusión al desarrollo de habilidades científicas y a la posibilidad de construir conocimiento a partir de la experimentación (Romero y Aguilar, 2013); lo que también se refleja en los siguientes fragmentos:

"De este modo, la experimentación se presenta como una propuesta a través de la cual se puede favorecer la construcción del conocimiento matemático en el aula y promover el aprendizaje activo, debido a que los alumnos se implican en los procesos que dan lugar a ese conocimiento; tienen la posibilidad de explorar, analizar, conjeturar, validar o refutar hipótesis, sistematizar y generar modelos matemáticos para describir diferentes fenómenos" (E1).

“Durante los encuentros se apreciaron posibilidades en cuanto a los siguientes aspectos: desarrollo y articulación de procesos de la actividad matemática (comunicación, razonamiento, resolución de problemas, ejecución de procedimientos, modelación). De manera especial, se pueden favorecer

diferentes procesos asociados a la modelación matemática (exploración, análisis, sistematización, matematización, validación); integración entre pensamientos matemáticos y transversalización de la matemática (relaciones con otras ciencias, como la física)" (E1)

"La tecnología sin duda es un pilar fuerte que conectada con la experimentación pueden estructurar conocimientos nuevos en los estudiantes, claro está que esto depende de la intención que el docente tenga y de los contextos de los alumnos, que son vitales para una resignificación del aprendizaje" (E2)

"La experimentación en el aula mediada por otro tipo de instrumentos o recursos y no solo por los simuladores, puede generar experiencias y aprendizajes significativos por el hecho de que el estudiante va estar involucrado en toda la "investigación" mediante la observación, indagación, recolección de datos, planteando hipótesis y conclusiones etc., además de conocer de primera mano qué está sucediendo con el fenómeno" (E3)

"Llevar cualquier tipo de material al aula de clase va a generar siempre un grado de incertidumbre entre los estudiantes y posiblemente se dispersen con el mismo, en ese sentido, el reto al que el maestro se ve enfrentado es buscar la manera de direccionar los alumnos a los objetivos que se ha trazado y generar espacios en el aula en los que se propicie la actividad experimental, teniendo en cuenta los riesgos que se pueden presentar" (E3)

Los tres fragmentos finales, presentados previamente, dan cuenta de una íntima relación que establecen los futuros profesores entre la experimentación, la tecnología y la enseñanza de las matemáticas, aspecto clave para integrar unos enfoques STEM en los procesos educativos (Baker & Galanti, 2017). Adicional a esto, la elección del tipo de recursos usados en el diseño de tareas posibilita trascender el habitual argumento de las limitaciones de infraestructura (Siew et al., 2015), pues *"a través de la tecnología se pueden apoyar procesos de experimentación en el aula con amplias posibilidades y, relativamente, con bajo coste"* (E1). Esta afirmación es ampliada por E3 al mencionar que *"en los diferentes experimentos llevados a cabo (...), fue evidente el uso de recursos tecnológicos propios de los laboratorios y otros materiales más simples que posibilitaron en gran medida el desarrollo de los experimentos y un acercamiento de manera analítica a los diferentes fenómenos y situaciones en cuestión, esto permitió percibir la actividad experimental no sólo como un asunto propio de científicos o que es posible llevar a cabo sólo en espacios como laboratorios"*.

En líneas anteriores, se han brindado argumento de cómo los futuros profesores de matemáticas trascienden el uso superficial de la tecnología (como un simple recurso para medir alguna característica) para hacerla parte constitutiva de la construcción de conocimiento. Sin embargo, es pertinente resaltar evidencia que permite ampliar las reflexiones generadas por estos y que permitieron atender algunas necesidades de formación identificadas en los futuros profesores de matemáticas (Carmona-Mesa & Villa-Ochoa, 2017).

Al respecto, E2 evidencia una posición crítica y relativista al plantear que *"la educación no debe ser centralizada [en los recursos tecnológicos], pero si usados como una herramienta que ayude a optimizar los procesos de enseñanza-aprendizaje en el aula de clases"*. De igual forma, este mismo futuros profesor plantea la necesidad de un conocimiento funcional y crítica para favorecer un desarrollo efectivo de la actividad al indicar *"a la hora de hacer experimentación (...), el tema de la logística con las herramientas tecnológicas a utilizar es vital para poder llevar a cabo este experimento, el docente debe ser muy claro y preciso con las indicaciones iniciales dejando que los estudiantes también puedan explorar los recursos y ellos mismo indicar las orientaciones que son necesarias para resolver de manera adecuada el ejercicio, como el momento de la ebullición del agua, ya que el termómetro debe mantenerse en un solo punto para evitar alteraciones en la mediciones"*.

La evidencia presentada en este apartado permite argumentar que los futuros profesores de matemática lograron establecer relaciones profundas entre el fenómeno físico estudiado y el proceso matemático inmerso en su análisis, trascendiendo comprensiones aisladas o desarticuladas. De igual forma, la integración de tecnología en el proceso educativo no quedó en un ejercicio superficial, pues permitió reconocer su papel constitutivo en la construcción de conocimiento matemático, al mismo tiempo que se hacen explícitas algunas limitaciones de su integración. Si bien no se puede establecer una relación directa con las acciones de estos futuros profesores en sus aulas, se reconoce que en las

verbalizaciones presentadas a largo del artículo presentan sensibilidad del proceso educativa que deben desempeñar en su futuro ejercicio profesional.

IV. CONCLUSIONES

El presente estudio tiene como propósito aportar evidencia empírica en la formación inicial de profesores de matemáticas para favorecer una integración STEM efectiva en su futuro ejercicio profesional, a través del diseño de una tarea que problematiza el calentamiento del agua. Los resultados del estudio permiten concluir que la experimentación a partir de una situación cercana para los futuros profesores, favoreció el planteamiento de relaciones matemáticas, patrones, relación entre variables y la interpretación de gráficas, en donde la matematización del fenómeno estudiado no se redujo a la asignación de números. Además, esta investigación arroja como resultado que la integración de tecnología permite ampliar el análisis del fenómeno por medio de múltiples formas de representación y posibilita conexiones significativas entre las matemáticas y las ciencias, al mismo tiempo que el rol de la tecnología en dicho proceso fue reconocido como parte contributiva del conocimiento y valorado como una alternativa, que si bien tiene limitaciones, es potente en el proceso educativo. Por último, se sugiere ampliar en futuras investigaciones el análisis de comprensiones conceptuales e interpretaciones epistemológicas válidas en las matemáticas, pero erradas en las ciencias. En ese sentido, es necesario problematizar la naturaleza intensiva o extensiva de las magnitudes que fueron objeto de discusión en esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Centro de Investigaciones Educativas y Pedagógicas de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia, por el financiamiento del proyecto “Experimentación y Tecnología en la enseñanza de las Matemáticas” (acta 22040001-03-2018).

REFERENCIAS

- Badri, M., Alnuaimi, A., Mohaidat, J., Al Rashedi, A., Yang, G., & Al Mazroui, K. (2016). My science class and expected career choices—a structural equation model of determinants involving Abu Dhabi high school students. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 12, 1-21.
- Bautista, C. (2011). *Proceso de la investigación cualitativa: Epistemología, metodología y aplicaciones*. Bogotá: Manual Moderno.
- Baker, C. K., & Galanti, T. M. (2017). Integrating STEM in elementary classrooms using model-eliciting activities: responsive professional development for mathematics coaches and teachers. *International Journal of STEM Education*, 4(1), 10, 1-15.
- Carmona-Mesa, J. A., Cardona, M., & Villa-Ochoa, J. A. (2017). El uso de redes sociales en la formación inicial de profesores en matemáticas. In *II Congreso de Educación Matemática de América Central y de El Caribe*. Cali, Colombia.
- Carmona-Mesa, J. A., Salazar, J. V., & Villa-Ochoa, J. A. (2018). Uso de calculadoras simples y videojuegos en un curso de formación de profesores. *Uni-Pluri/Versidad*, 18(1), 13-24.
- Carmona-Mesa, J. A., & Villa-Ochoa, J. A. (2017). Necesidades de formación en futuros profesores para el uso de tecnologías. Resultados de un estudio documental. *Revista Paradigma*, 38(1), 169–185.

- English, L. D. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 3, 1-8.
- Kjeldsen, T. H., & Lützen, J. (2015). Interactions Between Mathematics and Physics: The History of the Concept of Function—Teaching with and About Nature of Mathematics. *Science and Education*, 24(5–6), 543–559.
- Li, S., Ernst, J. V., & Williams, T. O. (2016). Supporting students with disabilities and limited English proficiency: STEM educator professional development participation and perceived utility. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 2, 1-10.
- Malagón, J. F., Ayala, M. M., & Sandoval, S. (2011). *El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Fondo Editorial.
- Molina-Toro, J. F., Villa-Ochoa, J. A., & Suárez-Téllez, L. (2018). La modelación en el aula como un ambiente de experimentación-con-graficación-y-tecnología. Un estudio con funciones trigonométricas. *Revista Latinoamericana de Etnomatemática*, 11(1), 87–115.
- National Academy of Engineering and National Research Council. (2014). *STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research*. (Committee on Integrated STEM Education & N. A, Eds.).
- Romero, Á. R., & Aguilar, Y. (2013). *La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico. Un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Sherhoff, D. J., Sinha, S., Bressler, D. M., & Ginsburg, L. (2017). Assessing teacher education and professional development needs for the implementation of integrated approaches to STEM education. *International Journal of STEM Education*, 4(1), 13, 1-16.
- Siew, N., Amir, N., & Chong, C. (2015). The perceptions of pre-service and in-service teachers regarding a project-based STEM approach to teaching science. *SpringerPlus*, 4(1), 8, 1-20.
- Sjoquist, D. L., & Winters, J. V. (2015). The effect of Georgia's HOPE scholarship on college major: a focus on STEM. *IZA Journal of Labor Economics*, 4(1), 15, 1-29.
- Strauss, A. & Corbin, J. (2014). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory*. Los Angeles: Sage Publications, Inc.
- Taylor, S., & Bogdan, R. (1984). *Introduction to qualitative research methods: The search for meaning*. New York: John Wiley & Sons, Inc.