CAPITULO VI

ANÁLISIS DE PRÁCTICAS ALTERNATIVAS DE APRENDIZAJE MEDIADAS POR EL MODELAMIENTO MATEMÁTICO EN UN AMBIENTE DE EDUCACIÓN STEM

Norman Moreno Cáceres

Docente-Investigador del Departamento de Ciencias Básicas de Unipanamericana. Colombia. Correo electrónico: morenoc@unipanamericana.edu.co. ORCID [<https://orcid.org/0000-0003-1582-4785>].

Alexander Agudelo Cárdenas

Docente Titular Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia. ORCID [<https://orcid.org/0000-0003-0598-2317>].

Oscar Valero Carvajal

Docente-Investigador del Departamento de Ciencias Básicas de Unipanamericana. Colombia. Correo electrónico: ovalero@unipanamericana.edu.co. ORCID [<https://orcid.org/0000-0003-4422-1414>].

Resumen

El presente escrito tiene como propósito presentar algunos resultados de una investigación sobre las prácticas de aprendizaje mediadas por el modelamiento matemático en un ambiente de educación STEM. Se trabajó una metodología de carácter fenomenográfico de paradigma cualitativo teniendo en cuenta las experiencias de estudiantes de ingeniería en el desarrollo de prácticas alternativas de aprendizaje (PAA) como concepto transformador de la práctica educativa. Para el desarrollo de la investigación se contó con un grupo de estudiantes de la Fundación Universitaria Panamericana (Unipanamericana) inscritos en el curso de Ecuaciones Diferenciales de la Facultad de Ingeniería durante el periodo 2018-II. El diseño de investigación se fundamentó desde tres categorías de análisis principales: Umbral pedagógico, Mediación y Saber de Interés, que permitieron valorar y cualificar los elementos de una PAA. Entre los resultados se encontró que la riqueza de trabajar en un ambiente educativo STEM está relacionado con lo que se define como PAA, dado que se permitió a los estudiantes ser el centro del proceso educativo desde una mediación a través del modelamiento como integrador de saberes prácticos y habilidades útiles para la formación de profesionales de la ingeniería.

Palabras clave: ciencias de la complejidad, educación STEM, habilidades científicas, prácticas de aprendizaje.

ANALYSIS OF ALTERNATIVE LEARNING PRACTICES MEDIATED BY MATHEMATICAL MODELING IN A STEM EDUCATION ENVIRONMENT

Abstract

This paper shows the results of a research process based on learning practices mediated by mathematical modeling in a STEM education environment. A phenomenological methodology and a qualitative paradigm are implemented bearing in mind the engineering students' experiences in the development of alternative learning practices, as a transformative concept of an educational practice. The population is a group of students from Fundación Universitaria Panamericana (Unipanamericana) enrolled in the Differential Equations course at the engineering faculty 2018-II term. The research design is based on three main analysis categories: Pedagogical Threshold, Mediation and Knowledge of Interest, which allow to assess and qualify the elements of an alternative learning practice. It was found that because of the richness of working in a STEM educational environment, all is connected to what is defined as an alternative learning practice because students are the center of the educational process having mediation through modeling as an articulator of practical knowledge and, useful for the training of professionals in engineering.

Keywords: complexity science, educational practices, STEM Education, scientific skills.

Introducción

En el quehacer cotidiano como profesores de ciencias, muchas veces nos hemos preguntado, ¿cómo conocemos? o concretamente ¿cómo comprenden nuestros estudiantes?, no es gratuito percatarnos que en este punto en el espacio y en este instante en el tiempo denominado contemporaneidad, los procesos de reflexión hacia una búsqueda de inteligibilidad de la realidad y por ende de nosotros mismos, ha evolucionado vertiginosamente, obligando a la conformación de nuevos imaginarios.

De esta manera, este escrito propone las prácticas de aprendizaje alternativa (PAA), —que en el transcurso de las siguientes secciones ahondaremos con mayor rigurosidad y concreción— mediadas por modelado, como puente epistemológico entre la educación STEM y la formación de pensamiento científico moderno (PCM) y pensamiento científico complejo (PCC).

En primera instancia se consultaron referentes teórico-prácticos de la Educación STEM, —acrónimo de los términos en inglés Science/Technology/Engineering and Mathematics— que se refiere a una política educativa en los Estados Unidos de Norteamérica. Para posteriormente identificar los elementos propios de una educación STEM en el contexto del acto educativo. Adicionalmente, se diseñó e implementó (en el aula) una PAA mediada por modelado, postulando tres categorías de análisis: umbral pedagógico, mediación y saber de interés, propuesta a la luz del marco teórico desarrollado (mediación pedagógica, ciencias de lo complejo y pensamiento científico).

En una posterior etapa, se realizó una ponderación de las concurrencias entre las categorías y subcategorías emergentes, con respecto a la literatura científica, todo con la intención de determinar a mediano plazo, las convergencias y emergencias involucradas en

la formación de pensamiento científico, particularmente de naturaleza compleja PCC y la visión interdisciplinar propia de la educación STEM.

En un primer avance de investigación, la PAA se enfocó en poder identificar, y también diferenciar lo que entendemos como PCM y PCC. En ese orden de ideas, se destaca el interés por tres actividades de aprendizaje —Modelo Galileano 1, 2 y 3— que transitan de lo simple a lo complicado —elementos propios de la comprensión científica, por comprensión y/o por causalidad lineal—.

En ese mismo campo argumentativo, el objetivo general de la investigación es poder responder a la pregunta ¿cómo las prácticas alternativas de aprendizaje PAA mediadas por el modelamiento de sistemas mecánicos en un ambiente de educación STEM, contribuyen al desarrollo de pensamiento científico complejo? En otras palabras, una PAA consistiría en hacer el tránsito entre lo simple, lo complicado y ulteriormente lo complejo.

Adicionalmente, esta propuesta se centra en legitimar un discurso Pedagógico, al entender la pedagogía como génesis de las diferentes posibilidades de cada ser humano, para construir aprendizaje de tal manera que esta (la pedagogía) nos permita generar espacios de reflexión y comprensión. Para esto los autores proponen como desarrollo conceptual las prácticas de aprendizaje alternativo PAA. En consonancia con la educación STEM, se hace referencia como prácticas alternativas de aprendizaje a aquellas que constituyen una concreción del discurso convergente y emergente entre la mediación pedagógica (Gutiérrez y Prieto, 1999) y las ciencias de lo Complejo (Maldonado y Gómez, 2011).

Consideraciones teóricas

Un referente para la educación STEM

Para principios de los años 70, el sociólogo y teórico de la educación Neil Postman, caracterizado por una posición crítica en lo que refiere a la tecnología y su papel en la educación, desarrolla un modelo de escuela, basado en los principios planteados en su libro titulado “Teaching as a subversive activity” (Enseñanza como una Actividad Subversiva). Los autores identifican lo que denominan desaciertos epistemológicos, propios de las prácticas pedagógicas a saber: (Postman & Weingartner, 1969).

- El concepto de “verdad” absoluta, fija, inmutable, en particular desde una perspectiva bipolar del tipo buena o mala.
- El concepto de certeza. Existe siempre una respuesta “correcta”, y es absolutamente “correcta”.
- El concepto de entidad aislada, o sea, “A” es simplemente “A”, y punto final, de una vez para siempre.
- El concepto de estados y “cosas” fijos, con la concepción implícita de que cuando se sabe el nombre, se entiende la “cosa”.
- El concepto de causalidad simple, única, mecánica; la idea de que cada efecto es el resultado de una única causa, fácilmente identificable.
- El concepto de que las diferencias existen solamente en formas paralelas y opuestas: bueno-malo, correcto-errado; si-no, corto-largo, para arriba-para abajo, etc.

- El concepto de que el conocimiento es “transmitido”, que emana de una autoridad superior, y debe ser aceptado sin ser cuestionado.

A pesar de casi medio siglo de su publicación, Postman desglosa la problemática existente en los sistemas educativos, en el que se incluye el latinoamericano. A pesar de los grandes volúmenes de información y tecnologías a disposición del profesor y de los estudiantes, las prácticas de aprendizaje parecerían permanecer congeladas en el tiempo, sin una evolución significativa, y que en espacios académicos que abordan tópicos de ciencias naturales y/o ciencias formales, es aún más marcado. En términos de Maldonado (2011), la ciencia se vuelve técnica y críptica, su lenguaje, su lógica, sus métodos e incluso su propio objeto se vuelven cerrados, difíciles de comprender por parte de la sociedad en general. Si a esto le sumamos, la imposibilidad de poder correlacionarlas con las ciencias sociales y humanas de manera coherente, podríamos afirmar que nos encontramos en una situación de oportunidad deconstructiva, hacia un replanteamiento de las prácticas de aprendizaje y ulteriormente nuestro imaginario de enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

Desde esta perspectiva se encuentra referenciada como fenómeno global: la educación STEM o también STEAM (Smith M. K., 2014), investigadores alrededor del mundo se han preguntado si esta es una nueva forma del movimiento global de reforma educativa (Sahlberg, 2013). En este sentido, la educación STEM puede incluir un conjunto más amplio de propósitos reflejando la naturaleza compleja de disciplinas como la ciencia, la matemática, la ingeniería, la tecnología y el arte (Roberts, 2012). Cuando se destaca la complejidad ciencias, se quiere dos aspectos fundamentales de las transformaciones científicas como lo aborda (Maldonado, 2019), que afirma que existen dos paradigmas al respecto, por un lado, el paradigma estándar que va avanzando de acuerdo con las contribuciones de diferentes participantes hasta consolidar las grandes transformaciones, que en principio no son intencionadas individualmente. Por otro lado, está el paradigma del otro modo, asociado a la complejidad, que produce rupturas y discontinuidades, revoluciones, estas no son propuestas como objetivos, pero avocinan cambios profundos al final.

No obstante, y a pesar del desarrollo de investigaciones, cuyos tópicos gravitan en torno a la educación STEM, hoy en día muchos educadores no tienen claro que es Educación STEM. (Breiner, 2012). Y peor aún independiente del uso del acrónimo, el estado de la cuestión sería ¿qué entiende por educación STEM dentro del contexto latinoamericano?, ¿es posible generar un discurso de educación STEM, que responda a las necesidades y realidades latinoamericanas?

Es mediante la concreción del acto educativo que podría responder a estas cuestiones, olvidando las concepciones y cuestiones fundacionales de la interacción entre campos de conocimiento y sus correspondientes implicaciones en una sociedad globalizada como la nuestra. Autores como Chesky & Wolfmeyer (2015), proponen un acercamiento desde un punto de vista filosófico, en el que se involucren políticas propias de la educación STEM como construcción social.

Transdisciplinariedad en la Educación: STEM y modelos del pensamiento científico

A principios de los años setenta, una vez madurada las ideas de Norbert Wiener en su libro “*Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*”, los aportes

de Mario Bunge con su biofilosofía y el concepto de modelo científico, problematizados en *Intuition and Science* (Bunge, 1962), el legado de Ludwig Von Bertalanffy reflejado en su *Teoría General de Sistemas* (1968) y los aportes de Jay Forrester para la comprensión y modelado de sistemas complejos con *Urban Dynamics* (1972), permitieron generar respuestas aproximadas pero cruciales, al hacer inteligibles de forma cualitativa y cuantitativa las dinámicas globales, tanto ambientales como de equidad entre los países y regiones del mundo, al reconocer la naturaleza compleja y la imposibilidad de enfrentarlos de forma aislada. Para 1972, surge la primera reflexión robusta en cabeza del Grupo de Roma, grupo compuesto por científicos, economistas, biólogos, políticos entre otros, que mediante el libro *The Limits To Growth* (1972), demuestran -mediante simulaciones computacionales- que el patrón mundial de crecimiento económico, demográfico, de uso de recursos naturales y de contaminación ambiental sería insostenible durante el siglo XXI.

Modelo científico

“La ciencia intenta barrer de sus contenidos todo lo que huele a creencia, sentimiento y emoción ¿cómo consigue filtrar todo eso?” (Wagensberg, 2009, p. 20). Lo que se quiere rescatar de la cita es que está ligada al método científico y de allí al principio de la objetivación, como lo denomina Wagensberg. La realidad existe según cada observador y es pensable; la ciencia como forma de conociendo, la acepta. De acuerdo con esto, (Wagensberg, 2009) sugiere empezar por percibir lo real, luego se piensa en una representación y por último la gran pregunta ¿qué tan cercana es esa representación respecto a la realidad?, ¿qué elementos y reglas debe cumplir dicha representación, en el marco de esta forma de conocimiento llamada ciencia?

Para alimentar estos cuestionamientos, se empezó por aproximarse al concepto de partición –porción de realidad–. La partición –dependiendo del contexto, se puede hablar hasta de subparticiones– constituyen el primer artificio de la ciencia, en búsqueda de una representación de la realidad. Dicho de otra manera, correspondería al estudio de particiones de naturaleza finita, como puente epistémico que acerca al pensador a una realidad de naturaleza infinita. De allí, se desprenden las ideas que se presentan a los estudiantes como modelo y sistema.

Tomemos como ejemplo una taza de café “caliente”; puede considerarse como un todo, compuesto por sus partes: cantidad de café conocida, recipiente que lo contiene, y las interacciones entre sus partes. Podríamos en primera medida asumir que la taza en cuestión se encuentra tapada y que, en otro momento del estudio, la taza se encuentra en interacción con el medio ambiente (entorno) generando nuevas interacciones entre el todo y el entorno. De esta lógica, cada partición se puede explicitar como un conjunto de cuatro elementos: el todo, las partes, el entorno y las interacciones –entre las partes o entre el todo y el entorno–. Entendida así, una particular partición, equivale a una particular forma de inteligibilidad científica. La historia, la sociología y la epistemología de la ciencia evidencian, los inicios desarrollo y evolución de estas formas de inteligibilidades.

Para este tipo de inteligibilidad, el comportamiento del todo se traduce en trayectorias, dadas unas condiciones iniciales de espacio y tiempo, principio de existencia y unicidad (Wagensberg, 2009). El tiempo y el espacio son absolutos, a ello se suma, que el espacio es descrito por el lenguaje de la geometría de Euclides. Esta particular partición, se rige por un principio de inteligibilidad de naturaleza determinista, gobernado por la búsqueda incansable de leyes naturales universales, que puedan describir de manera coherente la realidad en estudio.

Evolución de pensamiento

La termodinámica clásica se concentró inicialmente en el estudio de los sistemas aislados que evolucionan hacia el equilibrio, el cual a su vez es el más probable de los estados posibles. Pero actualmente es conocido que la evolución termodinámica genera tanto orden como desorden. Por ejemplo, en un sistema en el que están presentes dos gases, nitrógeno e hidrógeno, ambos tendrán la misma concentración cuando la temperatura sea idéntica en todo el recipiente. Pero si ésta varía, la distribución de los dos gases se hará desigual; habrá más hidrógeno en un lado que en el otro. Por tanto, tendremos un proceso irreversible que lleva al desorden. Pero simultáneamente, se va generando un nuevo orden. En todos los niveles de la naturaleza, desde la biología hasta la cosmología, la irreversibilidad produce tanto orden como desorden. Nuestra propia vida es posible en tanto generamos desorden al destruir moléculas constantemente; pero este proceso es lo que permite crear otras nuevas. Sin el rol constructivo del tiempo no se podría pasar de un nivel de organización al siguiente. La flecha del tiempo ejerce su mella creadora igual en ciencia que en la existencia, es el motor de la evolución creadora. El tiempo de la física se va acercando a la imagen mitológica, un dios que crea, que transforma de manera consciente e inteligente.

En este sentido, el enfoque de la educación STEM desde la integración interdisciplinar, promueve el pensamiento analítico y crítico que corresponde con el sentido histórico y epistemológico de las ciencias, pero que además, implica un trasegar hacia la complejidad de los problemas de la sociedad actual en la que la termodinámica clásica y la termodinámica del no equilibrio conforman parte del marco teórico, en la dirección de describir el sistema-mundo.

Metodología

Abordando las prácticas alternativas como un puente hacia la Educación STEM

Se realizó un estudio de naturaleza fenomenográfica. Este es un enfoque de investigación cualitativa que tiene como propósito encontrar las formas cualitativamente diferentes en las cuales las personas experimentan, comprenden o conciben fenómenos. Para indagar en la experiencia, se suele recurrir a las entrevistas como medio para obtener información (González, 2014). Experimentar algo implica establecer una relación entre el sujeto —quien experimenta, y el objeto — lo experimentado. El eje de la investigación fenomenográfica no es, por tanto, el fenómeno que se investiga o las personas que lo experimentan; lo que se estudia es la relación entre ambos. Es decir, cómo es experimentado (comprendido o percibido) el fenómeno en cuestión (Bowden & Walsh, 2000). Se parte del interrogante ¿cómo las prácticas alternativas de aprendizaje (PAA) mediadas por el modelamiento de sistemas mecánicos en un ambiente de educación STEM, contribuyen al desarrollo de pensamiento científico complejo?

Participantes

El proyecto de investigación se trabajó en un curso de ecuaciones diferenciales de la Fundación Universitaria Unipanamericana, con estudiantes de la facultad de ingeniería, en la ciudad de Bogotá. El curso se orientó conjunto por los autores del presente escrito. Además, para el desarrollo de la experiencia debió contarse con el aval de las autoridades académicas con el fin de no alterar procesos administrativos.

Contexto Epistemológico: la Ciencia Normal, de acuerdo con la postura epistemológica desarrollada por Tomas Kuhn, constituye uno de los logros más sobresalientes en la historia de la racionalidad humana. Su posterior aplicación en lo que se denominaría la revolución industrial y el desarrollo tecnológico de la época, recayó de manera directa en todo el sistema educativo, extrapolando esta cosmovisión de la realidad, en la relación “Educador-Educando”. Trabajos como el de Galileo en sus diálogos, Descartes y su discurso del método, Isaac Newton y su principia matemática de la filosofía natural; conformaron la visión de mundo caracterizado por la búsqueda incansable de leyes naturales universales que describan el comportamiento de los fenómenos.

Matices de la Educación STEM: Para el interés de la presente investigación se trabajó el modelamiento matemático a partir de sistemas que se denominaron Galileanos, en sentido práctico se modelaron sistemas simples, es decir, ecuaciones diferenciales cuya solución particular es una función de una variable. El caso particular, se trabajó la ley de gravitación universal. Para el acompañamiento en el aula se complementó el trabajo con un énfasis en conceptos como: modelo, modelamiento, sistema, variables y parámetros. Posteriormente, se ampliaron las variables en los análisis, con los estudiantes, para sistemas oscilatorios, que se denominaron complicados.

Diseño de una Práctica de Aprendizaje Alternativa: Implementación de la Educación STEM

La figura 1, muestra los elementos metodológicos presentados a los estudiantes con el fin de hacer claridad sobre la ruta de trabajo propuesta para que aceptaran y reconocieran una metodología alternativa a lo presentado en los planes de curso institucionales. De lo anterior se destaca que se trabaja la mediación en la metodología STEM, centrada en el modelado y no en la repetición de métodos de solución de ecuaciones diferenciales, aclarando que estos métodos no son ignorados ni subestimados a la hora de construir modelos matemáticos (Hestenes, 2010).

Figura 1. Ruta metodológica de la práctica desarrollada para el curso de ecuaciones diferenciales.

Fuente: elaboración Propia (2019).

El trabajo práctico con los estudiantes se desarrolló a través de guías de trabajo de acuerdo con la estructura presentada en la figura 2. Se dividió en dos componentes principales; el estudio de caso y la situación didáctica, esto obedece a que los estudiantes deben diferenciar la situación que se debe analizar del modelo teórico como se denomina al saber de interés, que para este curso son las ecuaciones diferenciales.

Lectura 1.0

Este documento constituye una porción de un capítulo de libro sobre innovación educativa

El Modelamiento Matemático en el Aprendizaje de las Ciencias Básicas para estudiantes de Ingeniería

Alexander Agudelo Cárdenas
Norman Darío Moreno
Oscar Valero

Resumen

Para la construcción de conocimiento científico, la matemática se ha constituido en el lenguaje universal por definición de la ciencia, sin importar si el fenómeno en estudio es físico, químico, social o ingenieril entre otros. El escrito, presenta a la luz de las investigaciones en Física y Matemática Educativa de los últimos años, la importancia del papel del modelamiento matemático en el aprendizaje de las ciencias naturales particularmente en el campo de conocimiento de la Física y la Matemática introductoria. Todo con el objeto de favorecer el aprendizaje, al propiciar una cercanía respecto de la mirada de mundo del quehacer del científico.

Keywords: Aprendizaje de las Ciencias, Modelamiento Matemático, Matemática y Física Educativa.

I. INTRODUCCION

La labor del docente en el área de ingeniería impone retos grandes a nivel pedagógico y didáctico para propender por la comprensión de los conceptos fundamentales, tanto básicos como avanzados en las áreas de matemáticas y físicas de tal forma que los futuros ingenieros puedan responder a las necesidades exigidas por la sociedad. A su vez el papel del ingeniero constituye uno de las profesiones con mayor responsabilidad, para el desarrollo científico tecnológico de un país como el nuestro [20]. Sin embargo, En la formación “tradicional” de ingenieros se presenta una desarticulación entre los diferentes espacios académicos (islas de conocimiento) que conforman el currículo del ingeniero en cuestión, focalizado en la inexistencia dialógica propias de las ciencias básicas, respecto de las ciencias aplicadas. [4].

Este artículo de reflexión presenta a la luz de las investigaciones en Física y Matemática Educativa de los últimos 10 años [1,2,4,6,8,10,13], la relevancia del papel del modelamiento matemático en el aprendizaje de las ciencias naturales particularmente en el campo de conocimiento de la Física y la Matemática introductoria, y en donde las tecnologías de la información y la comunicación han replanteado las lógicas de aprendizaje de las ciencias naturales [4,5,10] y su relación con la Matemática [11]. En esa apuesta hacia el aprendizaje

Figura 2. Estructura de guía de trabajo.

Fuente: elaboración propia (2019).

Categorías de análisis de una Práctica Alternativa de Aprendizaje

Las categorías de análisis propuestas para la investigación correspondiente se establecieron de tal forma que se diera cuenta de la práctica alternativa de aprendizaje como evidencia de una práctica STEM, con estudiantes de ingeniería del curso denominado “Ecuaciones Diferenciales” Adicionalmente, se establecen subcategorías (ver tabla 1) con el fin de diseñar instrumentos de indagación y recopilación de la información.

Tabla 1. Categorías de Análisis para la configuración de Prácticas Alternativas de Aprendizaje de ciencias concebidas desde el modelamiento matemático.

Categorías	Sub-Categorías
Umbral Pedagógico	Concepto de modelo
	Experiencias de modelado
	Conocimiento de objetos matemáticos
Mediación	Mundo Conceptuales
	Mundo Físico
	Mundo Mental
Saber de Interés	Aplicación de ecuaciones diferenciales
	Primer Orden - segundo Orden
	Sistemas mecánicos

Fuente: elaboración propia (2019).

El umbral pedagógico tiene doble connotación, según Prieto (2015), por un lado está el umbral como entrada, entrada a la incertidumbre. Si en educación se supiera qué se va a encontrar cuando se entra a un salón de clase, la tarea sería simple, menos interesante pero simple. Por otro lado, está la connotación pedagógica en la que se piensa en el co-aprendiente, que cumple el rol de profesor. Adicionalmente, en acuerdo con Gutiérrez y Prieto (1999), la mediación tiende puentes entre mundos que se separaron para el análisis, pero que están transdisciplinariamente integrados. El mundo conceptual se refiere a los modelos de la Física Mecánica Newtoniana, el mundo Físico se refiere a la experiencia con movimientos de diferentes tipos y por último el mundo mental que relaciona la experiencia del estudiante y sus explicaciones o modelos acerca de las posibles construcciones que puede hacer (Hestenes, 2010). De esta manera, la mediación a través del modelado, como práctica alternativa de aprendizaje se convierte en una característica de un ambiente educativo STEM.

Resultados

Categorías de una Práctica Alternativa de Aprendizaje

Se seleccionó una muestra de referentes principalmente publicaciones en bases de datos, para los cuales se realizaron resúmenes que fueron clasificados y analizados a partir de las categorías. En este proceso se analizaron a la luz de las recurrencias, inicialmente en términos de palabras se realiza un conteo (ver tabla 2), para verificar las influencias y relación con las categorías de análisis establecidas.

Tabla 2. Palabras recurrentes en los resúmenes de las referencias filtradas para el análisis deductivo.

Palabras Recurrentes	
Estudiantes	84
Física	67
Aprendizaje, aprender y comprensión	63
Enseñanza	41
Modelado y Modelos	43
Investigación, Estudio y conocimiento	53
Maestro, Profesor y docente	32
Practica y practicas	42
Habilidades	20
Clases, clase, cursos y laboratorio	35
Computacional y simulaciones	21

Fuente: elaboración propia (2019).

Una vez establecidas las palabras recurrentes se seleccionan las unidades de análisis y se relacionan con las subcategorías de análisis para establecer co-ocurrencias. Este resultado se muestra en la figura 3, donde se evidencia que cada subcategoría tiene una representación en el conjunto de las referencias seleccionadas, lo cual se interpreta como un acierto en la validez de las categorías construidas. Cabe aclarar, que no se incluyeron las subcategorías del saber de interés dado que las ecuaciones diferenciales en general se trabajan como publicación indexada en un sentido de aplicación y es relativamente bajo el porcentaje de publicaciones que hagan referencia a estudios educativos.

Figura 3. Porcentajes de asociación entre las categorías y las citas de las referencias utilizadas.

Fuente: elaboración propia (2019).

Algunos elementos de la figura 3, describen un alto porcentaje destinado a presentar resultados y experiencias en torno al modelado implementado como práctica de aprendizaje. Adicionalmente, lo que se denominó como mundo conceptual se incluye dentro de los principales descriptores de la categoría relacionada, que se definió como: Mediación.

Figura. 4 porcentajes de asociación entre las categorías y las citas de las referencias utilizadas.

Fuente: elaboración propia (2019).

En este orden de ideas, co-ocurrencias de las categorías y subcategorías asociadas al Umbral pedagógico y la mediación se presentan en la figura 4. Con lo que se puede validar la relación estructural de las categorías para el desarrollo de la investigación en un ámbito cualitativo.

Análisis de Categorías a luz de las evidencias de la PAA

El análisis de información de se realizó mediante el software Atlas. Ti, el cual se según Friesse, (2012), trabaja a partir de unidades hermenéuticas, estas son unidades de análisis que se construyeron a partir de las palabras recurrentes o palabras indicadoras según las respuestas de los estudiantes a dos entrevistas que se realizaron. En total se realizaron 32 entrevistas, 16 al inicio en un formato no estructurado y 16 estructuradas al final del curso, luego de 15 semanas. La figura 5, ilustra el desarrollo en comparación con las recurrencias de las palabras indicadoras ahora desde las entrevistas realizadas a los estudiantes.

Figura 5. Nube de palabras generada a partir de los resultados de una PAA.

Fuente: elaboración propia (2019).

Por otro lado, las co-ocurrencias de las categorías y subcategorías basadas en este caso en entrevistas estructuradas muestran el fenómeno de las prácticas alternativa de aprendizaje a la luz de los diferentes resultados, por ahora se quiere hacer notar que la aplicación de las ecuaciones diferencias termina referida, por parte de los estudiantes, a fenómenos más “reales” o cotidianos y no a modelos de sistemas simples. Esto para explicar la diferencia, radicalmente amplia con otras co-ocurrencias. Es decir, para los estudiantes una aplicación debe estar directamente relacionado con su actuar cotidiano, bien sea desde el ambiente laboral, social, cultural, etc. (Wilcox, 2016).

Para complementar, las unidades de análisis permiten ver las co-ocurrencias entre las subcategorías con una tendencia uniforme (ver figura 6). En este sentido el umbral pedagógico y la mediación se asimilan en gran medida asociada al discurso de los estudiantes cuando se les indaga sobre la construcción de un modelo para un sistema vibracional mecánico simple. Además, las relaciones entre lo que se denominó como “mundos” destaca una cierta apropiación de elementos formales de las ecuaciones diferenciales y su aplicación para el análisis de sistemas simples.

Figura 6. Gráfico de Co-ocurrencias construidas a partir de las entrevistas estructuradas.

Fuente: elaboración propia (2019).

En síntesis, las características de un modelo relacionado a un sistema y el proceso de modelado, se realizó a partir de las diferentes herramientas, a través de las diferentes actividades implementadas en el marco de una práctica alternativa de aprendizaje. De acuerdo con esto, se logró que el estudiante estuviera en el centro del acto educativo, que aprendiera en un ambiente STEM utilizando la mediación del modelado, se convirtió en un proceso transdisciplinar de indagación y proposición. Por ejemplo, para los estudiantes ya no es lo mismo un principio físico representado en una ecuación, que los valores obtenidos para un sistema configurado en unas condiciones dinámicas específicas y con parámetros determinados.

Complementando, dada la diferencia entre la aplicación de las ecuaciones diferenciales con otras subcategorías se presentan algunas de las citas que hicieron los estudiantes al respecto, ver figura 7. Para esta construcción se realizó la asociación entre las subcategorías y la unidad de análisis que incluyera el texto “aplicación”.

Figura 7. Mapa Semántico de la Aplicación de las ecuaciones diferenciales como consecuencia de la entrevista estructurada.

Fuente: elaboración propia (2019).

Conclusiones

En este punto del trayecto planteado, las construcciones que se derivan de la idea de enmarañar la mediación con modelado, las prácticas alternativas de aprendizaje y la educación STEM, son variadas. Para comenzar se considera que se produce un alimentación a la pregunta ¿cuándo una práctica es STEM? o ¿cuándo una práctica es alternativa? Para esto se tiene que por un lado están los errores epistemológicos, no los errores prácticos. Es decir, si la práctica se refiere a verdades absolutas no tiene nada que ver con lo alternativo, ni con la articulación de saberes y técnicas, por mencionar algunas características generales. Se abra paso a la incertidumbre como eje dinamizador de la práctica. Los estados estáticos

se transforman en consensos y mediaciones concretas, se abren los espacios de participación real por el aprendizaje, por la conciencia colectiva sobre problemas reales estudiados desde la mirada del pensamiento científico y complejo.

Por otra parte, una vez se alimentó lo que no es STEM ni alternativo, se ve lo que sí es, no como una simple negación conectiva lógica, sino que se quiere mantener en el campo de la complejidad y la incertidumbre por esta razón y de acuerdo con los “mundos” estudiados se concluye que una práctica STEM es aquella que potencia el pensamiento científico complejo a través de mediaciones y umbrales más o menos establecidos con criterios coherentes alrededor de la problematización, la pasión y la necesidad de aprender con un propósito.

Por lo anterior, el modelamiento matemático sirve como agente provocador, eje de la mediación, dado que epistemológicamente está estructurado para explicitar los elementos constitutivos de la organización que pretende ser modelada el todo y sus partes, sistemas simples y complejos, en la emergencia de las interacciones. En este orden de ideas, la filosofía entra a formar parte integral de las prácticas alternativas como herramienta de análisis y de validación, un pensamiento de Henke & Höttecke, (2015).

Si un estudiante es capaz de pensar el mundo de forma compleja, es capaz de superar barreras epistémicas sobre lo que describe un modelo y como se concibe su representación y de esta manera trasciende en el aprendizaje como emergencia y no como transmisión de conocimiento o habilidad para desempeñar un empleo. Si piensa científicamente es capaz de abordar diferentes niveles de organización de los sistemas de interés, una idea propuesta por Redish (2015).

Referencias bibliográficas

- Bowden, J. & Walsh, E. (2000). *Phenomenography*. Melbourne: RMIT Publishing.
- Breiner, J. M. (2012). *What is STEM? A discussion about conceptions of STEM in education and partnerships*. School Science and Mathematics, 3-11.
- Bunge, M. (1962). *Intuition and science*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Chesky, N. Z. & Wolfmeyer, M. R. (2015). *Philosophy of STEM education: A critical investigation*. Springer.
- Friesse, S. (2012). *Qualitative Data Analysis Wit Atlas.Ti*. Cornwall: SAGE.
- González, C. (2014). *Investigación fenomenográfica*. Revista Internacional de Investigación en Educación.
- Gutiérrez P, D. y Prieto C, D. (1999). *La mediación pedagógica*. Apuntes para una educación a distancia alternativa. Argentina: Ciccus- La Crujía.
- Henke, A. & Höttecke, D. (2015). *Physics teachers' challenges in using history and philosophy of science in teaching*. Science & Education, 349-385.
- Hestenes, D. (2010). Modeling theory for math and science education. En R. Lesh, Modeling students' mathematical modeling competencies (págs. 13-41). Boston: Springer.

- Maldonado, C. (2019). *Turbulencias. Sobre ciencias y otras complejidades* (Vol. I). Bogotá: Universidad El Bosque.
- Maldonado, C. y Gómez Cruz, N. (2011). *El mundo de las ciencias de la complejidad*. Bogotá: Universidad del Rosario.
- Postman, P. C. & Weingartner, C. (1969). *Teaching as a subversive activity*. Delta.
- Prieto C, D. (2015). *Elogio de la Pedagogía Universitaria*. Mendoza, Argentina: Edición digital Facultad de Filosofía y Letras.
- Redish, E. F. (2015). *Language of physics, language of math: Disciplinary culture and dynamic epistemology*. Cience & Education, 561-590.
- Roberts, A. (2012). *A justification for STEM education. Technology and engineering teacher*. TECHNOLOGY AND ENGINEERING TEACHERe, 1-4.
- Sahlberg, P. (2013). *The most wanted: Teachers and teacher education in Finland*. En L. Darling-Hammond, *Teacher Education Around the World*. Routledge.
- Smith, M. K. (2014). A campus-wide study of STEM courses: new perspectives on teaching practices and perceptions. . *CBE—Life Sciences Education*, 624-635.
- Wagensberg, J. (2009). *Yo, lo superfluo y el error: historias de vida o muerte sobre ciencia o literatura*. España: Tusquets Editores.
- Wiener, N. (2019). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. . MIT press.
- Wilcox, B. R. (2016). *Open-ended versus guided laboratory activities: Impact on students' beliefs about experimental physics*. Physical Review Physics Education Research, 0201321- 0201321.