

¿Fenómeno estable o de estado estacionario? Obstáculos didácticos en la formación de ingenieros

Jesús Eduardo Hinojos Ramos

Instituto Tecnológico de Sonora

Rosa María Farfán Márquez

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

Resumen

Se muestran los resultados de una investigación donde identificamos y caracterizamos los obstáculos didácticos que se manifiestan en las producciones escritas de estudiantes de último año de una facultad de Ingeniería Eléctrica. Estas producciones escritas son las respuestas dadas a una situación de aprendizaje que trata del análisis del estado estacionario de fenómenos eléctricos en las que analizamos el actuar del estudiante ante tareas que requieren de la sinergia de sus conocimientos matemático y disciplinar. Para el análisis, basado en la Socioepistemología y las acepciones de otras investigaciones, configuramos un esquema teórico-metodológico para la caracterización y tipificación de los obstáculos didácticos con el cual identificamos ocho obstáculos conceptuales y cuatro metodológicos. Planteamos que este esquema puede ser utilizado para: caracterizar obstáculos didácticos en otros escenarios de investigación, y diseñar instrumentos y estrategias didácticas que eviten, confronten y minimicen el desarrollo de nuevos obstáculos.

Stable or steady state phenomena? didactic obstacles in engineering training

Abstract

We show the results of research where we identify and characterize the didactical obstacles that emerge in the written Works of senior students from an electrical engineering faculty. The student's written works are the answers provided to a learning situation about the analysis of steady-state electrical phenomena, in which we analyzed the students' performance in tasks that required the synergy between their mathematical and scholarly knowledge. For the analysis and based on Socioepistemology and the definitions from other research, we configured a theoretical-methodological schema for the characterization and typing of didactical obstacles, with which we identified eight conceptual and four methodological obstacles. We propose that this schema can be used to: characterize didactical obstacles in other research settings, and to design instruments and didactical strategies to avoid, confront, or minimize the development of new obstacles.

Palabras clave

Didáctica
Universitaria,
Educación en
Ingeniería,
Ingeniería Eléctrica,
Matemáticas,
Matemática
Educativa.

Keywords

University Didactics,
Engineering
Education, Electrical
Engineering,
Mathematics,
Mathematics
Education.

Recibido: 04/01/2021

Aceptado: 04/06/2022

1. Introducción

Las asignaturas de Ciencias Básicas son fundamentales para los programas de ingeniería, en ellas las matemáticas tienen un lugar privilegiado porque son parte del tronco común, siendo la matemática avanzada epistemológicamente compleja de comprender porque requiere un alto nivel de abstracción cognitiva y un conocimiento previo robusto (Hinojos, 2020, p. 156). Aunado a la dificultad de la matemática avanzada, en las asignaturas profesionales (último año de formación) se añaden las especificidades del propio conocimiento disciplinar; es precisamente en el estudio de este binomio “conocimiento matemático avanzado-conocimiento disciplinar” donde se ha identificado el desarrollo de obstáculos didácticos debido a varios factores, entre ellos el orden y la disposición de los textos de apoyo al estudiar algún tema matemático, la propia complejidad de la matemática involucrada, la prevalencia de procesos algorítmicos y la predilección de cierto tipo de ejemplos para ilustrar un problema de ingeniería (Plaza-Gálvez y Villa-Ochoa, 2019).

La revisión bibliográfica de obstáculos en la formación de ingenieros de Plaza-Gálvez y Villa-Ochoa (2019) recopila 63 investigaciones entre los años 1981 y 2017, de las cuales sólo tres corresponden a obstáculos didácticos; por ello, reconocen que el estudio de los obstáculos didácticos en y para la educación en ingeniería resulta un campo novedoso de investigación.

Si bien los obstáculos epistemológicos han sido ampliamente estudiados en otras investigaciones y se han diseñado propuestas para su confrontación en la construcción de conocimiento matemático los obstáculos de tipo didáctico han sido poco atendidos, aun cuando estos afectan los procesos de aprendizaje de los estudiantes. Es por ello que como objetivo de este artículo se propone establecer una estrategia metodológica que, con base en el análisis de las producciones escritas de estudiantes, permita identificar, estudiar y atender los obstáculos didácticos; para ello, presentamos la implementación experimental de dicha estrategia para el caso de las nociones del estado estacionario en estudiantes de Ingeniería Eléctrica.

2. Posicionamiento teórico y metodológico

Realizamos esta investigación desde la Socioepistemología (TS), la cual considera que en la medida que una persona usa el conocimiento matemático este conocimiento adquiere una gama de significados enmarcados en una racionalidad contextualizada y un relativismo epistemológico. La racionalidad contextualizada especifica que el contexto influye en la manera de razonar de una persona, el cual está arraigado al momento y lugar donde

se emplea el conocimiento matemático mientras que el relativismo epistemológico admite que existen maneras diferentes de emplear el conocimiento matemático que son válidas para un colectivo (Cantoral, Reyes-Gasperini y Montiel, 2014).

La TS considera que en la escuela los significados de la matemática se encuentran limitados al discurso Matemático Escolar (dME), entendido como un sistema de razón que norma los contenidos, modos y roles de participación en la escuela y se extiende hasta *establecer las bases de comunicación y construcción de significados compartidos* (Cantoral, Farfán, Lezama y Martínez-Sierra, 2006). De esta manera el dME provoca que estudiantes y docentes sean excluidos de la construcción del conocimiento matemático pues se imponen y privilegian determinados significados, argumentos y procedimientos sobre otros (Soto y Cantoral, 2014).

Así, la limitación de significados favorece la presencia de obstáculos porque un estudiante al responder a una tarea lo hace desde su racionalidad dentro de este sistema de razón –lo que el sistema le indica que es correcto– y si éste falla en responder la tarea no depende únicamente de su conocimiento sino de la validez que tiene en otros contextos.

Nuestro interés, lejos de identificar fallas o errores, es reconocer y explicar la presencia de obstáculos epistemológicos y didácticos porque éstos condicionan los significados promovidos de la matemática. En este artículo nos enfocamos en los obstáculos didácticos que, en el sentido de Brousseau (1983), provienen de la enseñanza y afectan el aprendizaje.

Atendemos la importancia de identificar y analizar los obstáculos didácticos dado que el dME establece las formas de comunicación y la difusión de conocimiento vía la enseñanza, y son susceptibles a caracterizarse de forma teórica y comprobarse en lo experimental.

Con la finalidad de identificar obstáculos didácticos configuramos una metodología cualitativa de alcance descriptivo y exploratorio con base en la tipología de Ríos-Cabrera (2020). Es de alcance descriptivo porque se busca exponer la presencia de obstáculos didácticos en una población de estudiantes, tomando en consideración las investigaciones previas que caracterizan dichos obstáculos, y su alcance exploratorio refiere a contribuir con un tópico que poco se ha investigado, como se mencionó por parte de Plaza-Gálvez y Villa-Ochoa (2019).

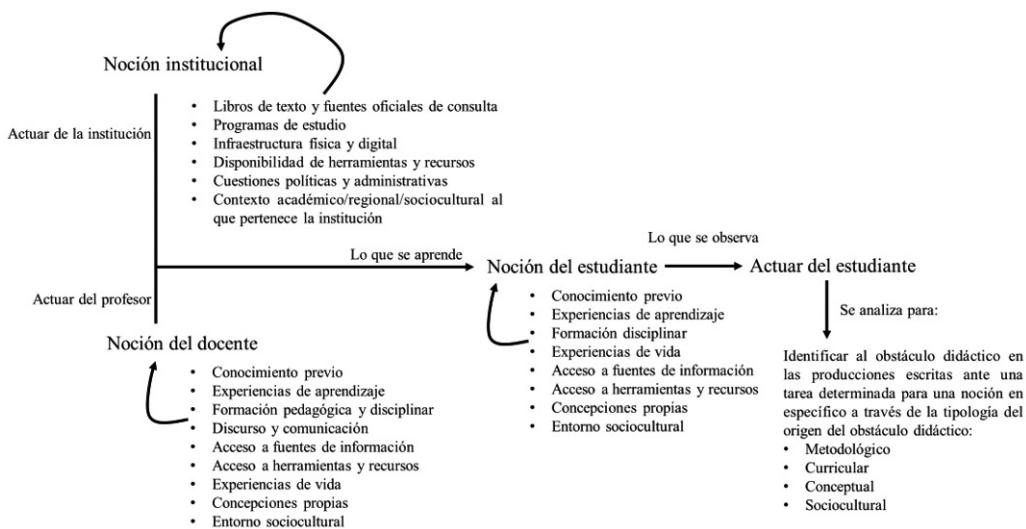
Para la configuración del método adaptamos las acepciones de otros autores junto con la clasificación de obstáculos didácticos de Andrade (2011) –origen metodológico, curricular y conceptual–, y añadimos los de origen sociocultural:

- Metodológico. Asociado a las estrategias y decisiones tomadas por el docente, correspondientes al material, el uso de metáforas, analogías, representaciones y distintos recursos utilizados para la enseñanza (Barrantes, 2006; Andrade, 2011; Cortina et al., 2013).

- Curricular. Cuando la organización curricular impide el aprendizaje, obedeciendo a factores institucionales, el tiempo destinado para los temas, vigencia de planes de estudio y a inconsistencias dentro de la secuenciación de los temas (Autino *et al.*, 2011; Andrade, 2011).
- Conceptual. Relacionado con inconsistencias, contradicciones, sobregeneralizaciones o sobresimplificaciones del conocimiento, lo cual contribuye al aprendizaje de nociones limitadas de un determinado concepto o a la repetición y comunicación de aquello que fue aprendido anteriormente entre generaciones y se mantiene incuestionable (Autino *et al.*, 2011; Andrade, 2011; García *et al.*, 2018).
- Sociocultural. Que depende de factores del contexto del docente, del estudiante o de la propia escuela, y que influyen en el aprendizaje –como el dominio afectivo, la inclusión, los aspectos socioeconómicos, entre otros–.

Con base en las consideraciones teóricas expuestas, se configuró el posicionamiento metodológico para el estudio de los obstáculos didácticos (figura 1). Idealmente en el sistema escolar se pretende que la noción institucional del docente y del estudiante sean iguales pero la influencia del contexto (social, cultural, político, cognitivo y disciplinar) y la comunicación e interacción entre docente, estudiante y conocimiento provoca diferencias entre ellos.

Figura 1. Estudio de los obstáculos didácticos. Fuente: Construido con base en Andrade, 2011; Autino *et al.*, 2011; Barrantes, 2006; Brousseau, 1983; Cantoral *et al.*, 2006; Cantoral *et al.*, 2014; Cortina *et al.*, 2013; García *et al.*, 2018; Soto y Cantoral, 2014.



El análisis de los datos se enfoca en la noción del estudiante dentro del esquema de la figura 1, la cual reconocemos que se enmarca en el relativismo epistemológico y la racionalidad contextualizada que proveen la noción institucional y la noción del docente; por lo que asociamos que en el actuar del estudiante –producciones escritas– se sintetiza su actividad matemática para responder a la tarea. De esta manera, se analiza su actividad matemática como una *acción* con las preguntas ¿qué hace? y ¿cómo hace? (Cantoral, Reyes-Gasperini y Montiel, 2014) y, posteriormente, en esa actividad matemática se identifica si existe o no la presencia de los obstáculos didácticos.

3. Resultados

Este apartado corresponde con los resultados experimentales de la implementación de la metodología (figura 1). Incluye la definición de características de los participantes y la descripción de la toma de datos; un análisis curricular de las nociones del estado estacionario en una seriación de asignaturas; el contenido de la Tarea 4, y extractos de los problemas resueltos con su análisis que permite identificar la presencia de los obstáculos didácticos.

3.1 Participantes y toma de datos

Los datos que mostramos son un extracto de una investigación más amplia en la que el primer autor de este artículo realizó la toma de datos durante el semestre agosto-diciembre de 2018 en el Instituto Tecnológico de Sonora –universidad pública estatal autónoma, ubicada en el noroeste de México– a través de un instrumento denominado: situación de aprendizaje, diseñado con base en una Ingeniería Didáctica; el diseño completo puede consultarse en Hinojos y Farfán (2019) y el análisis *a priori* de la situación de aprendizaje puede consultarse en Hinojos (2020, p. 59-81).

En la investigación participaron nueve estudiantes del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de los programas de Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Electromecánica que cursaban asignaturas del séptimo semestre –cercañas al quehacer profesional en programas de nueve semestres-. Etiquetamos a los estudiantes hombres del EH1 al EH7 y a las estudiantes mujeres como EM1 y EM2; la participación fue voluntaria y declararon su consentimiento para el uso de la información con fines académicos.

La situación de aprendizaje consta de cuatro tareas. En la Tarea 1 se realiza el análisis de la analogía entre el equilibrio térmico y el equilibrio electrostático, con base en dos trabajos de W. Thomson. En la Tarea 2 se realiza el análisis de la analogía entre la propagación de calor y la transmisión de la electricidad en circuitos alimentados por baterías galvánicas, con base en el trabajo

de G. S. Ohm. En la Tarea 3 se realiza el análisis de la analogía entre la propagación de calor y la transmisión de electricidad en la transmisión de mensajes telegráficos intercontinentales, con base en el trabajo de J.C. Maxwell. Finalmente, en la Tarea 4 se realiza el análisis de circuitos eléctricos comutados y de conversión de energía eléctrica en estado estacionario, con base en lo planteado en el programa de Sistemas Electrónicos de Potencia del Instituto Tecnológico de Sonora.

De una primera revisión de los resultados de las cuatro tareas identificamos indicios de obstáculos didácticos únicamente en la Tarea 4, por lo que como decisión metodológica optamos por realizar su análisis completo. La aplicación de la Tarea 4 se llevó a cabo durante el mes de octubre del año 2018 en un aula equipada con mesas individuales de trabajo que fueron acomodadas en forma de herradura con la finalidad de que los estudiantes pudieran interactuar. Se les proporcionó la tarea en formato impreso y se les solicitó que evitaran borrar sus respuestas. Los estudiantes trabajaron de manera simultánea, en silencio e individualmente –aunque se les indicó que podían trabajar en equipo–; además, como fuente complementaria a las hojas de trabajo, se realizó la grabación en audio y se tomaron fotografías.

3.2 El estado estacionario y su convergencia en la ingeniería eléctrica

Como la secuencia de tareas se enfocó en el análisis del estado estacionario, de Hinojos y Farfán (2017) retomamos y analizamos una seriación curricular de asignaturas en la cadena de Ciencias Básicas→Ciencias de la Ingeniería→Asignaturas Profesionales: Ecuaciones Diferenciales→Ingeniería de Control→Sistemas Electrónicos de Potencia. La población participante en el estudio cursó dicha seriación de asignaturas y el contenido de los temas se corroboró con base en los programas de clase vigentes en el Instituto Tecnológico de Sonora.

El estado estacionario del fenómeno eléctrico ocurre cuando un sistema llega al estado ulterior; primero el sistema pasa por un estado transitorio para después de un tiempo alcanzar un estado de magnitud que converge y que no se ve afectado por el tiempo.

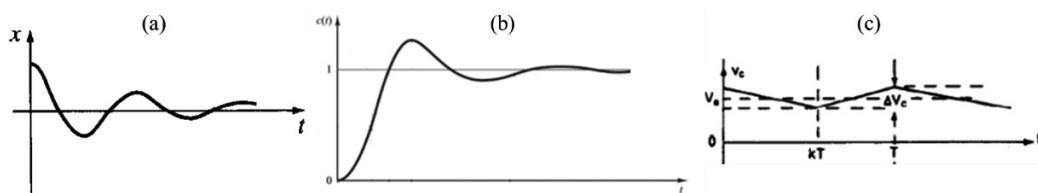
En Ciencias Básicas, la asignatura de Ecuaciones Diferenciales (2.^o año) contempla problemas intramatemáticos –sin hacer referencia a un contexto– y los libros de texto que utilizan incluyen gráficas para representar el comportamiento del estado estacionario al que también refieren como estado estable, estado permanente o de régimen permanente (figura 2-a).

Posteriormente, en Ciencias de la Ingeniería cursan la asignatura de Ingeniería de Control (3.^{er} año) para estudiar problemas extramatemáticos –fenómenos eléctricos y de control– y los libros

de texto que utilizan contemplan el análisis de sistemas con ecuaciones diferenciales y su comparación con gráficas de referencia (figura 2-b).

Finalmente, en las Asignaturas Profesionales (4.^o año) cursan Sistemas Electrónicos de Potencia para continuar con el estudio de problemas específicos de la Ingeniería Eléctrica –el análisis de circuitos de conversión de energía eléctrica–; los libros de texto, además del análisis de circuitos y su modelización por medio de ecuaciones diferenciales, ilustran el comportamiento del fenómeno eléctrico a través de gráficas (figura 2-c).

- Figura 2.** Representaciones gráficas del estado estacionario. Fuente: Adaptado de Zill, 1997, p. 203; Ogata, 2010, p.170 y Rashid, 2004, p. 321.



De la figura 2-a del libro de Ecuaciones Diferenciales de Zill (1997) se interpreta que el estado estacionario está relacionado con la convergencia de la magnitud del fenómeno una vez que ha pasado el transitorio. Esto ocurre cuando las variables que definen su comportamiento (según su modelo matemático) permanecen invariantes con respecto al tiempo. Así mismo, en la figura 2-b del libro de Ingeniería de Control de Ogata (2010) se toma la consideración de Zill (1997) y, adicionalmente, especifica que la convergencia puede darse a un cierto comportamiento que en algunos casos coincide con un valor constante, o bien, mantiene oscilaciones alrededor de dicho valor. Bajo estas consideraciones identificamos que estos libros consideran que el estado estacionario es la manera como se comporta la salida de un sistema conforme el tiempo tiende al infinito.

Así mismo, en Ecuaciones Diferenciales lo estable se define en términos de estabilidad absoluta (estable o inestable), entendiendo por inestable a la divergencia de la salida del sistema; de aquí identificamos que el estado estacionario es tomado como sinónimo de estado estable (Zill, 1997). En Ingeniería de Control lo estable es definido como un corolario de lo inestable, y se toman en cuenta otros criterios como el equilibrio del sistema y el error de estado estacionario –las oscilaciones amortiguadas alrededor del valor de convergencia del sistema– (Ogata, 2010). A diferencia de los libros previos, en la figura 2-c del libro de Sistemas Electrónicos de Potencia de Rashid (2004) se omite una definición de

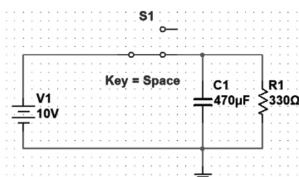
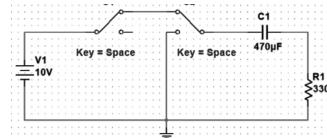
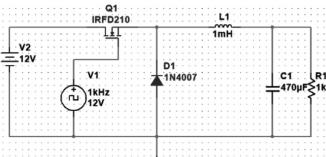
estabilidad puesto que los sistemas que se analizan son inherentemente estables, por lo que lo estable queda definido como la convergencia de la salida del sistema eléctrico.

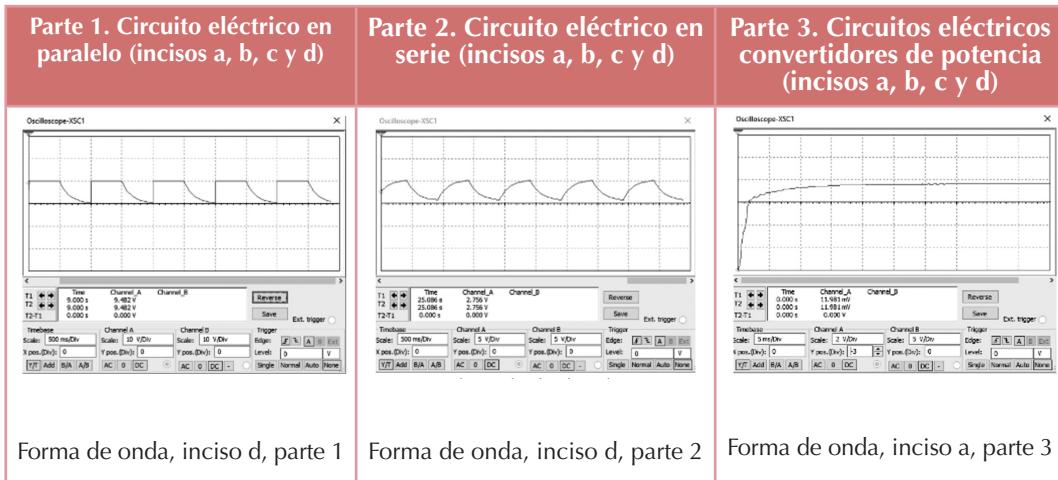
Dadas las similitudes entre el *estado estacionario* y las nociones de *lo estable*, el tratamiento que dan los libros de texto y la complejidad de la matemática y del conocimiento disciplinar asumimos que en la ingeniería eléctrica se pueden presentar obstáculos didácticos relativos a este conocimiento matemático.

3.3 Contenido de la Tarea 4

La Tarea 4 tuvo el objetivo de identificar en un paradigma dinámico las nociones del transitorio y las condiciones en las cuales se da el estado estacionario en el marco de referencia del análisis de circuitos eléctricos. En la tarea se incluyen gráficas de circuitos obtenidas con un simulador y se pregunta acerca de las características de las formas de onda en la resistencia (tabla 1); la forma de onda del voltaje se muestra en una escala grande de tiempo para que se aprecien gráficamente el transitorio y el estado estacionario, posteriormente, se presenta un acercamiento a escala pequeña de tiempo para apreciar el estado estacionario.

•**Tabla 1.** Resumen del contenido de la Tarea 4

Parte 1. Circuito eléctrico en paralelo (incisos a, b, c y d)	Parte 2. Circuito eléctrico en serie (incisos a, b, c y d)	Parte 3. Circuitos eléctricos convertidores de potencia (incisos a, b, c y d)
<p>Analizar un circuito eléctrico resistivo-capacitivo (RC) conectado en paralelo y separado de la fuente de alimentación por medio de un interruptor que inicialmente se encuentra cerrado. El circuito se analiza en tres momentos, considerando: (a) el estado abierto del interruptor, (b) el estado cerrado del interruptor y (c) que el interruptor comuta de manera periódica.</p>  <p>Circuito, inciso a, parte 1</p>	<p>Analizar un circuito eléctrico RC conectado en serie con una fuente de voltaje y un arreglo de interruptores. El circuito se analiza en tres momentos: (a) cuando ambos interruptores se encuentran cerrados, (b) cuando ambos interruptores se abren de manera simultánea y (c) considerando que los interruptores comutan de manera simultánea y periódica.</p>  <p>Circuito, inciso a, parte 2</p>	<p>Analizar dos circuitos convertidores de potencia de corriente directa (un reductor y un elevador de voltaje). A manera de ejemplo, se muestra el circuito 1.</p>  <p>Circuito, inciso a, parte 3</p>



Fuente: Hinojos, 2020, p. 169-192.

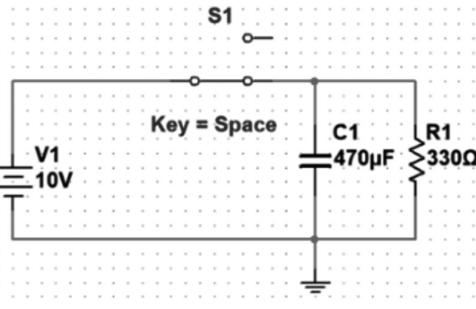
3.4 Análisis de las respuestas de la Tarea 4

Mostramos de manera simultánea extractos de las respuestas de los estudiantes junto con su análisis. Dividimos el análisis de las respuestas de acuerdo con las tres partes de la Tarea 4 (tabla 1) y organizamos los datos en tablas de acuerdo con el posicionamiento teórico y metodológico señalado previamente. Las tablas contienen la parte de la tarea (sección, contexto y pregunta) y las respuestas de algunos estudiantes. Posteriormente, interpretamos las respuestas de los estudiantes a través de un análisis de su actividad matemática con las preguntas: ¿qué hacen? y ¿cómo hacen? Finalmente, a partir de un análisis transversal del contenido de la tabla, indicamos los obstáculos didácticos que se manifestaron junto con una breve explicación.

3.4.1 Circuito eléctrico en paralelo

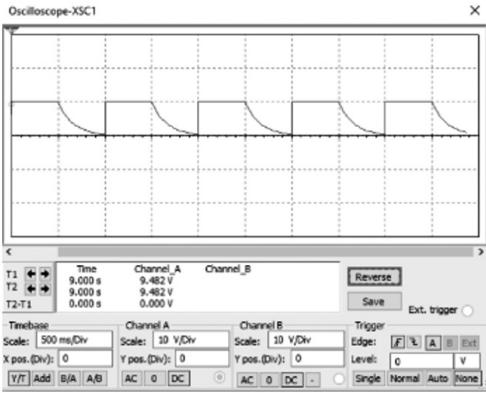
Para la parte 1, inciso a-3, los estudiantes analizaron con la ley de Ohm el circuito eléctrico resistivo-capacitivo (RC) conectado en paralelo cuando el interruptor estuvo abierto; la ley de Ohm es un tópico disciplinar que estudiaron en las asignaturas de Electromagnetismo –Ciencias Básicas– y en Análisis de Circuitos Eléctricos –Ciencias de la Ingeniería–, y cuya expresión matemática es $V = RI$, donde V es voltaje, R es resistencia e I es corriente eléctrica (tabla 2).

•**Tabla 2.** Análisis de la actividad matemática de la parte 1, inciso a-3

Sección de la Tarea 4: Parte 1, inciso a-3	Respuestas
Contexto: Se muestra el siguiente circuito eléctrico y se realizan preguntas con respecto al comportamiento de la corriente y el voltaje de forma global cuando ha pasado un tiempo largo.	EH2: Pasará primero como un transitorio, sin embargo, a tiempos grandes la corriente circulará por la resistencia constante en relación con el voltaje. El voltaje a un plazo largo será estable en todo el circuito, permaneciendo al nivel de la fuente.
 Pregunta: ¿Cómo cambiará la corriente eléctrica y el voltaje en el circuito de manera global cuando haya transcurrido un intervalo de tiempo grande?	EH4: Dejaría de circular corriente por el capacitor, por lo que circularía por la resistencia, la corriente disminuiría. Se mantendría el voltaje al estar en paralelo.
Análisis de la actividad matemática	
¿Qué hacen? Los estudiantes analizan el comportamiento del circuito utilizando su conocimiento previo de las asignaturas Electromagnetismo y Análisis de Circuitos Eléctricos.	
¿Cómo hacen? A través de la ley de Ohm realizan una contextualización de las magnitudes de voltaje y corriente que mantienen una relación de proporcionalidad directa ($V=I \cdot R$). Para realizar la descripción utilizan palabras como “será estable (EH2)” y “se mantendría (EH5)”. EH2 indica, además, que “la corriente circulará por la resistencia constante en relación con el voltaje”.	
Identificación del obstáculo didáctico	
Metodológico	Conceptual <input checked="" type="checkbox"/>
Curricular	Sociocultural
Análisis: Identificamos un obstáculo didáctico de tipo conceptual en la respuesta de EH2, donde menciona “la corriente circulará por la resistencia constante en relación con el voltaje” se hace referencia a la ley de Ohm ($V=I \cdot R$).	

Para la parte 1, inciso d, los estudiantes analizaron con nociones de modelización matemática el circuito eléctrico resistivo-capacitivo (RC) conectado en paralelo cuando el interruptor comuta de manera periódica (tabla 3).

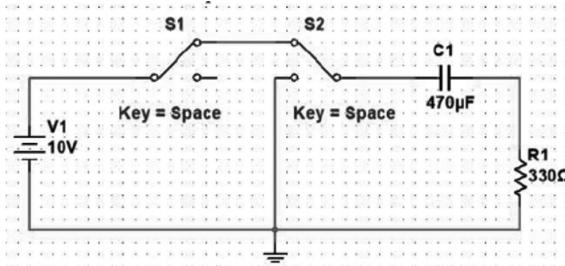
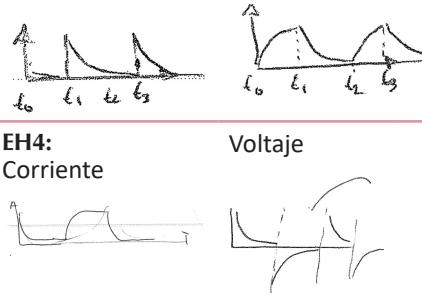
•**Tabla 3.** Análisis de la actividad matemática de la parte 1, inciso d-1

Sección de la Tarea 4: Parte 1, inciso d-1	Respuestas
<p>Contexto: Se muestra la gráfica del comportamiento del voltaje en la resistencia R1 del circuito estudiado anteriormente, cuando el interruptor S1 conmuta de manera periódica.</p>  <p>Pregunta: Describa la forma de onda obtenida.</p>	<p>EH2: Se observa una señal transitoria, la carga o aumento del voltaje es casi inmediato, al desconectar la alimentación vemos como ésta baja de forma exponencial ($e^{-(t)}$), le toma 500 ms descargarse o bajar la tensión a un nivel 0.</p> <p>EH5: Es una señal periódica, se observan los pulsos donde está conectada la fuente y las curvaturas es el tiempo que la fuente permanece desconectada y el tiempo en el cual el capacitor se descarga.</p> <p>EM2: Es periódica, su magnitud se mantiene constante, comienza estable y después empieza a caer.</p>
<p>Análisis de la actividad matemática</p>	
<p>¿Qué hacen? Describen la forma de onda del voltaje del circuito a través de la gráfica.</p>	
<p>¿Cómo hacen? EH2 observa y analiza la gráfica como 2 funciones, dependientes del estado de la conexión de la fuente de alimentación, indicando que el comportamiento tiene una descarga que puede modelarse mediante una función exponencial negativa con asíntota al cero del eje vertical. En su descripción el estudiante omite mencionar la periodicidad de la función.</p> <p>EH5 y EM2 analizan la gráfica como una sola función de manera global, sin incluir el modelo matemático: EH5 menciona que la gráfica tiene la característica de ser una “señal periódica” que tiene pulsos y curvaturas durante la descarga del capacitor, en función del tiempo.</p> <p>EM2 menciona la periodicidad de la función, indicando que durante una parte “la magnitud se mantiene constante” y “comienza estable” y que después empieza a caer.</p>	
<p>Identificación del obstáculo didáctico</p>	
<p>Metodológico</p>	<p>X Conceptual X</p>
<p>Curricular</p>	<p>Sociocultural</p>
<p>Análisis:</p>	
<p>En la respuesta de EM2 se identifican indicios de un obstáculo didáctico de tipo conceptual y metodológico; en este caso, el utilizar como sinónimos constante y estable.</p>	

3.4.2 Circuito eléctrico en serie

Para la parte 2, inciso c-1, los estudiantes elaboraron gráficas de la corriente y el voltaje con respecto al tiempo para analizar el circuito eléctrico resistivo-capacitivo (RC) conectado en serie cuando los interruptores comutan de manera simultánea y periódica (tabla 4).

•**Tabla 4.** Análisis de la actividad matemática de la parte 2, inciso c-1

Sección de la Tarea: Parte 2, inciso c-1	Respuestas
<p>Contexto: Se muestra el siguiente circuito eléctrico y se realizan preguntas con respecto al comportamiento de la corriente y el voltaje de forma global cuando el interruptor S1 cambia de posición (conmuta) de manera periódica y ha pasado un tiempo largo.</p>  <p>Pregunta: ¿Cómo cambiará la corriente eléctrica y el voltaje en el circuito de manera global cuando haya transcurrido un intervalo de tiempo grande?</p>	<p>EH2: La corriente no tendrá una salida gradual sino más drástica y disminuirá gradualmente.</p> <p>EH4: Corriente</p> <p>EH7: El capacitor no acepta cambios bruscos de corriente por lo que se consideraría como un circuito abierto.</p> <p>Voltaje</p>  <p>El voltaje de la fuente sería igual al voltaje del voltaje total V_c.</p>
<p>Análisis de la actividad matemática</p> <p>¿Qué hacen? Los estudiantes analizan el comportamiento del circuito utilizando su conocimiento previo de las asignaturas Electromagnetismo y Análisis de Circuitos Eléctricos. Se enfocan en describir el comportamiento del voltaje y la corriente en estado estacionario.</p> <p>¿Cómo hacen? EH2 realiza una descripción de la corriente de manera verbal e ilustrándolo a través de una gráfica. En su descripción, el estudiante indica que la salida de corriente no es gradual sino drástica y con disminución lenta, esto indica que el estudiante analiza la corriente como el cambio de magnitud a través del tiempo. La gráfica proporcionada por el estudiante corresponde a un comportamiento exponencial</p>	

negativo con asíntota en cero. En la descripción del voltaje indica que se formará un *diente de sierra*, que corresponde a una función continua en intervalos con crecimiento y decrecimiento exponencial negativo, lo cual ilustra también a través de una gráfica. En ambas gráficas el estudiante muestra que la corriente y el voltaje se encuentran sincronizados en los mismos intervalos, dando a entender que se dan de manera simultánea.

EH4 realiza dos gráficas, una para la corriente y otra para el voltaje. La gráfica de la corriente muestra intervalos con decrecimiento exponencial negativo e intervalos con crecimiento exponencial negativo. La gráfica de voltaje en cambio muestra únicamente intervalos con decrecimiento exponencial negativo, con magnitud invertida respecto al eje x, contextualizado con el proceso de comutación del circuito, existe un cambio de sentido al realizar una medición eléctrica.

EH7 analiza el circuito prestando atención al funcionamiento individual de los elementos que lo componen, indica que el “capacitor no acepta cambios bruscos de corriente por lo que se consideraría un circuito abierto”, esto haciendo alusión a un concepto que se estudia en electromagnetismo que es el estado estacionario para este componente cuando ha terminado su proceso de carga; de aquí también se interpreta que la corriente sería cero al ser un circuito abierto. En el caso del voltaje, el estudiante indica que será el mismo de la fuente, dado que lo asumen como una conexión de tipo paralelo.

Identificación del obstáculo didáctico

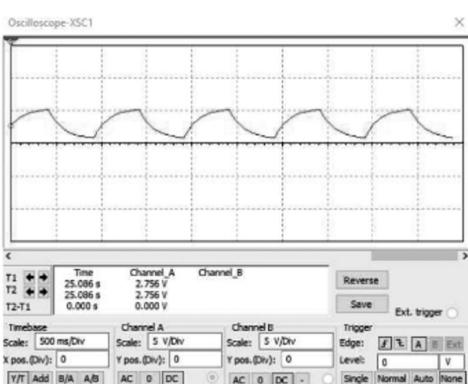
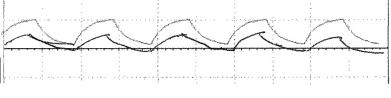
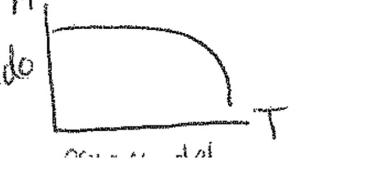
Metodológico	X	Conceptual	X
Curricular		Sociocultural	

Análisis:

Identificamos un indicio de obstáculo didáctico de tipo conceptual en la respuesta de EH7 al utilizar el concepto de que “el capacitor no acepta cambios bruscos de corriente”, limitando su respuesta sólo a considerar el estado estacionario del circuito cuando la alimentación es de corriente directa.

Para la parte 2, inciso d-2, a partir de la gráfica del voltaje del simulador cuando el interruptor S1 comuta de manera periódica, los estudiantes elaboraron gráficas similares (algunas superpuestas) para describir la forma de onda de la corriente con respecto al tiempo (tabla 5).

•**Tabla 5.** Análisis de la actividad matemática de la parte 2, inciso d-2

Sección de la Tarea: Parte 2, inciso d-2	Respuestas
<p>Contexto: Se muestra la gráfica del comportamiento del voltaje en la resistencia R1 del circuito estudiado anteriormente, cuando el interruptor S1 comuta de manera periódica.</p>  <p>Pregunta: Describa cómo será el comportamiento de la corriente conforme pasa el tiempo. Grafíquela.</p>	<p>EH1:  ¿Cómo podría obtenerse una expresión matemática que describa el voltaje o la corriente? Si puede, obtenga la expresión.</p> <p>EH3: Proporcional, debe cumplirse $I=V/R$.</p>  <p>EH4:  </p>

Análisis de la actividad matemática

¿Qué hacen?

Dada la gráfica del voltaje, describen la forma de onda que tendrá la corriente en el circuito.

¿Cómo hacen?

EH1 dibuja una gráfica en color verde, representando la corriente eléctrica con la misma forma que la gráfica de voltaje mostrada en la pregunta, indicando que la corriente y el voltaje son proporcionales entre sí. Posteriormente, el estudiante rectifica su gráfica al analizar detalladamente el circuito, superponiendo una gráfica en color rojo que muestra semicírculos de decrecimiento exponencial de magnitud positiva y negativa que coinciden en tiempo y periodicidad con la carga-descarga del capacitor.

EH3 indica que, dada la ley de Ohm $I=V/R$, la corriente debe ser proporcional con el voltaje y dibuja la gráfica de corriente en color negro, superpuesta con la de voltaje proporcionada en la pregunta.

EH4 realiza una gráfica que representa a la corriente con un comportamiento decreciente abrupto a cero.

Identificación del obstáculo didáctico

Metodológico	Conceptual	X
Curricular	Sociocultural	

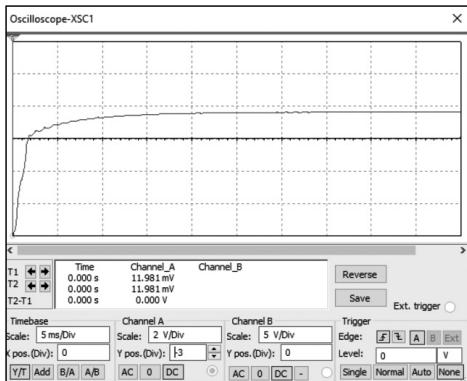
Análisis:

En las respuestas de todos los estudiantes identificamos un obstáculo didáctico de tipo conceptual porque utilizaron como proporcional, dada la ley de Ohm, los conceptos de corriente y voltaje.

3.4.3 Circuitos eléctricos convertidores de potencia

Para la parte 3, inciso a-2, los estudiantes describen el comportamiento del voltaje de la resistencia a partir de la simulación de la forma de onda de un circuito convertidor de electrónica de potencia (tabla 6).

•**Tabla 6.** Análisis de la actividad matemática de la parte 3, inciso a-2

Sección de la Tarea: Parte 3, inciso a-2	Respuestas
Contexto: Se muestra la siguiente forma de onda obtenida de la simulación de un circuito convertidor de electrónica de potencia.	EH1: Aumenta hasta llegar a un nivel estable.
	EH4: Se estabiliza el comportamiento del voltaje o, dicho de otra manera, se vuelve constante.
Pregunta: Describa cómo se comporta el voltaje del circuito a través del tiempo.	EM2: Va aumentando conforme va pasando el tiempo hasta volverse estable.

Análisis de la actividad matemática

¿Qué hacen?

Los estudiantes describen el comportamiento de la gráfica de voltaje en la resistencia del circuito cuando se encuentra en estado estacionario.

¿Cómo hacen?

EH1 indica que el valor de voltaje aumenta hasta llegar a un nivel estable, refiriéndose a que la magnitud del voltaje tiende a un valor constante.

EH4 indica que el voltaje se estabiliza, mostrando además que esto significa que se vuelve constante. EM2, de igual forma, indica que la magnitud del voltaje aumenta con el tiempo hasta volverse estable, refiriéndose a la tendencia a un valor constante.

Identificación del obstáculo didáctico

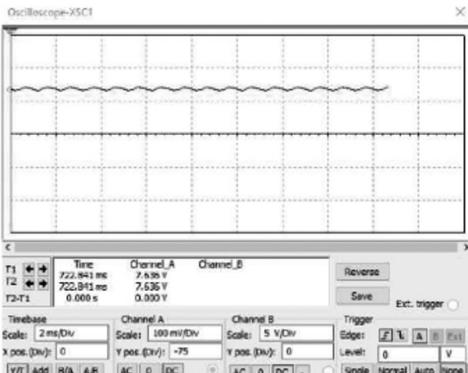
Metodológico	X	Conceptual	X
Curricular		Sociocultural	

Análisis:

En las respuestas de los tres estudiantes relacionan las palabras “se estabiliza” y “estable” con el comportamiento del fenómeno con tendencia a un valor constante, por lo que se manifiesta un obstáculo didáctico tanto de tipo metodológico como conceptual.

Para la parte 3, inciso b-1, los estudiantes describen la forma de onda del voltaje a partir de un acercamiento del circuito convertidor del inciso anterior que permite apreciar a detalle la oscilación de la conmutación de sus componentes (tabla 7).

•**Tabla 7.** Análisis de la actividad matemática de la parte 3, inciso b-1

Sección de la Tarea: Parte 3, inciso b-1	Respuestas
<p>Contexto: Se muestra un acercamiento de la forma de onda del voltaje en la resistencia R1, de tal manera que se aprecie a detalle la oscilación presente dada la conmutación de los componentes del circuito.</p>  <p>•EH5: Es una señal periódica con cierto porcentaje de rizo, por lo que no es completamente lineal, ni lo será, aunque transcurra un tiempo muy grande.</p> <p>•EH6: La forma de onda siempre tendrá ruido, por lo tanto, se presentarán oscilaciones. Se le llama estado estacionario debido a que la forma ya no cambia con el transcurso del tiempo.</p> <p>•EH7: Es periódico de forma triangular, de una amplitud de aproximadamente 20×10^{-3}, es relativamente estable, está montado sobre 7.636 Vcd</p>	
<p>Pregunta: Describa la forma de onda, ¿cómo es el comportamiento del voltaje a través del tiempo?</p>	

Análisis de la actividad matemática

¿Qué hacen?

Describen el acercamiento de la forma de onda del voltaje del circuito a través de la gráfica.

¿Cómo hacen?

EH5 indica que es una función periódica con cierto porcentaje de rizo, esto se interpreta como las oscilaciones acotadas alrededor del valor de convergencia de la función en estado estacionario, sin embargo, indica que la función *no es completamente lineal* dada la presencia de este rizo e indica que no lo será. De aquí se interpreta que el estudiante considera que la magnitud del fenómeno siempre es asintótica con respecto a su valor de convergencia.

EH6 indica que la función tendrá ruido y por ello presentará oscilaciones, de lo cual se interpreta que el estudiante considera que las oscilaciones son provocadas por factores externos al circuito eléctrico y no por el funcionamiento de éste. Además, indica que la gráfica mostrada corresponde al estado estacionario porque se tiene el mismo comportamiento sin cambios a través del tiempo.

EH7 indica que es una función periódica con forma triangular, de aquí se interpreta que el estudiante la considera como dos rectas, una con pendiente positiva y otra con pendiente negativa que se presentan en distintos intervalos. Además, indica que tiene una amplitud de aproximadamente 20×10^{-3} , montada sobre 7.636 Vcd, de donde interpretamos que se tiene un valor de convergencia a una magnitud constante, pero con oscilaciones acotadas a una magnitud específica. También menciona que es relativamente estable, con lo cual se refiere que si bien hay oscilaciones éstas son pequeñas en comparación con la magnitud de convergencia.

Identificación del obstáculo didáctico

Metodológico	Conceptual	X
Curricular	Sociocultural	

Análisis:

Identificamos de la respuesta de EH5 un obstáculo didáctico de tipo conceptual cuando interpreta las oscilaciones de la función como una no linealidad del fenómeno estudiado en lugar de considerarlo como las cotas superior e inferior alrededor del valor de convergencia de la magnitud del voltaje. De igual forma, este tipo de obstáculo didáctico puede identificarse en la respuesta de EH6 donde considera las mismas oscilaciones como ruido.

En la respuesta de EH7 identificamos, además, otro tipo de obstáculo didáctico de tipo conceptual cuando el estudiante menciona que la magnitud es relativamente estable, haciendo alusión a que la estabilidad consiste en que la magnitud de convergencia debe ser constante sin oscilaciones.

4. Análisis y discusión

Los nueve estudiantes que participaron en la investigación cursaron la seriación de asignaturas mostrada en la sección 3.2 (Ecuaciones Diferenciales → Ingeniería de Control → Electrónica de Potencia), por lo que fue posible identificar que las nociones de estado estacionario y estabilidad identificadas por Hinojos y Farfán (2017) en dicha seriación son transversales a lo largo de sus planes de estudio.

A través del análisis mostrado en las tablas 2 a 6, identificamos ocho obstáculos didácticos de tipo conceptual y cuatro de tipo metodológico (tabla 8); la ausencia de obstáculos didácticos de tipo curricular se justifica dado que los estudiantes que participaron en el estudio se encuentran en el último año de sus carreras y, en ese momento, ya habían cursado la mayoría de las asignaturas obligatorias en su formación. Por otro lado, los obstáculos de tipo sociocultural no pudieron ser identificados dada la naturaleza del instrumento diseñado.

•**Tabla 8.** Concentrado de obstáculos didácticos

Tarea 4	Descripción de los tipos de obstáculos didácticos identificados			
	Metodológico	Curricular	Conceptual	Sociocultural
Parte 1. Circuito eléctrico en paralelo	X	X		
Parte 2. Circuito eléctrico en serie			X	
Parte 3. Circuitos eléctricos convertidores de potencia			X	X
Tipo de obstáculo identificado				

Los *obstáculos didácticos de tipo conceptual* se identificaron como inconsistencias, contradicciones, sobregeneralizaciones o sobresimplificaciones de conceptos referentes a la Matemática y la Física que les permiten modelar a los fenómenos eléctricos que se les presentaron en la Tarea 4, algunos ejemplos fueron:

- Considerar lo constante como sinónimo de lo estable al analizar un fenómeno de su disciplina, siendo que, si bien lo constante es inherentemente estable, lo estable no implica que el fenómeno tenga un comportamiento modelado con una constante; lo cual corresponde con una sobresimplificación del conocimiento (ver tabla 3).
- Cuando utilizan la ley de Ohm como $V = IR$ para analizar circuitos eléctricos que tienen elementos capacitivos, lo cual corresponde a una sobregeneralización del conocimiento (ver tabla 2).
- Cuando utilizan la palabra *constante* para referirse a *proporcional*, lo cual corresponde con una sobresimplificación.
- Cuando al analizar circuitos con elementos capacitivos se utilizan únicamente nociones del estado estacionario del capacitor, provocando que se omitan las consideraciones del transitorio en este dispositivo –los ciclos de carga-descarga–, lo cual corresponde a una sobresimplificación.
- Considerar a la estabilidad como la ausencia de oscilaciones alrededor de un valor de convergencia y que si dichas oscilaciones son pequeñas -en términos del fenómeno eléctrico- no alteran el estado estacionario del circuito.

Los *obstáculos didácticos de tipo metodológico* se identificaron como estrategias y decisiones tomadas por el docente, las cuales se observaron indirectamente en el actuar del estudiante. Este tipo de obstáculos están relacionados con el tipo de ejemplos privilegiados para la enseñanza de las nociones de Física, Matemáticas e Ingeniería, algunos ejemplos fueron:

- La predilección, por ejemplo, donde el estado estacionario es convergente con un valor constante, nombrándolo estado estable –como en Ecuaciones Diferenciales e Ingeniería de Control (lo cual también se relaciona con un obstáculo conceptual) –.
- Otro relacionado con la elección de ejemplos donde se analiza el estado estacionario del capacitor en circuitos de corriente directa, omitiendo ejemplos donde se utilizan elementos de conmutación o donde se analiza el proceso de carga de este componente.

Como puede observarse, los obstáculos didácticos de tipo conceptual se relacionan con sobregeneralizaciones y sobresimplificaciones de los distintos conceptos involucrados en el análisis de los fenómenos eléctricos. Aunado a esto, se tienen obstáculos de

tipo metodológico relacionados con los obstáculos de tipo conceptual que coinciden con lo que se presenta en libros de texto de asignaturas de Ciencias Básicas (como Ecuaciones Diferenciales) y corresponden con el empleo de las palabras estable y estacionario como sinónimos, además de que dichas asignaturas privilegian ejemplos donde se tiene convergencia a estados constantes.

Identificamos que el conocimiento disciplinar del análisis de circuitos eléctricos les dio a los estudiantes una forma de validación del conocimiento matemático en juego:

- Dos formas distintas de la descripción verbal de las gráficas de parámetros eléctricos (estas fueron dadas como dato en el problema) como una única función continua en cada periodo de la gráfica (EH5 y EM2 en la tabla 3) y como una función continua por cada semiperíodo de la gráfica (EH2 en la tabla 3), lo cual puede considerarse una forma de modelización.
- La elaboración de gráficas para los parámetros de corriente y voltaje con respecto al tiempo al analizar el circuito eléctrico resistivo-capacitivo (RC) conectado en serie cuando los interruptores comutan de manera simultánea y periódica. Los estudiantes modelan la corriente y el voltaje con funciones exponenciales negativas, aunque en sus explicaciones omiten mencionar el transitorio, los cambios en el voltaje y la corriente durante los ciclos de carga-descarga del capacitor provocados por la comutación de los interruptores.
- Cuando al utilizar la ley de Ohm como el modelo para analizar circuitos eléctricos –como un modelo de proporcionalidad directa– identificamos que uno de los estudiantes (EH1) cambia una de sus respuestas pues, si bien gráficamente mostró una relación de proporcionalidad directa entre voltaje y corriente en un inicio, al inspeccionar el circuito eléctrico propuesto y comprobar que este contenía elementos capacitivos y de comutación decidió modificar su respuesta a una donde considera el tiempo de carga-descarga del circuito.

5. Conclusiones

Comenzamos indicando la preocupación por el estudio de obstáculos didácticos para la ingeniería dada la íntima relación entre el conocimiento matemático avanzado y el conocimiento disciplinar. Además, mostramos en la figura 1 cómo el estudio del estado estacionario y su convergencia está cargado de diversos significados que se van construyendo a lo largo de la formación profesional del ingeniero, centrando nuestro interés en la ingeniería eléctrica y notando que, en diversas asignaturas y textos, el estado estacionario es expuesto como un sinónimo de lo estable. Para caracterizar estos obstáculos, desde la Socioepistemología y con base en una revisión acerca de las distintas manifestaciones de los obstáculos didácticos, elaboramos un esquema teórico-metodológico donde nos centramos en el actuar del estudiante. Uti-

lizando dicho esquema, analizamos las producciones escritas de los estudiantes cuando éstos trabajaron con una situación de aprendizaje relacionada con el análisis de circuitos eléctricos (tabla 1). De esta manera fue posible identificar y caracterizar ocho obstáculos de tipo conceptual y cuatro de tipo metodológico; estos obstáculos conceptuales y metodológicos están relacionados entre sí puesto que los metodológicos pueden provocar conceptuales y viceversa.

Los obstáculos conceptuales se presentaron cuando los estudiantes mezclaron las nociones de convergencia, estabilidad, acotamiento y periodicidad, produciéndose sobresimplificaciones y sobregeneralizaciones, y en algunos casos contradicciones. Por ejemplo, como en el caso de considerar que lo constante y lo proporcional refieren a una misma cosa; los estudiantes utilizaron la palabra constante para referirse a un fenómeno que tiene un crecimiento proporcional directo –que tiene una razón de cambio constante–, de este mismo modo, la palabra constante también la utilizaron en reiteradas ocasiones para referirse al estado estacionario de un sistema dinámico, o bien, el relacionar las oscilaciones acotadas alrededor del valor de convergencia en estado estacionario como no linealidades; esto limita el significado del estado estacionario que se componen de diversas nociones matemáticas, como la convergencia, la estabilidad, el acotamiento y la periodicidad.

Los obstáculos metodológicos se relacionaron con las decisiones tomadas por los docentes o por los ejemplos privilegiados por los libros de texto. Si bien en este estudio no se observó la labor del docente de forma directa podemos extraerla dado el actuar del estudiante ante la tarea puesto que sus respuestas eran similares a las mostradas en los libros de texto (figura 2). Por ejemplo, cuando los estudiantes analizaron gráficas de un sistema dinámico de segundo orden sobrearmortiguado se refirieron a este como un fenómeno de primer orden, dado que al estudiar sistemas de segundo orden se privilegian los subarmortiguados; en otro sentido, también se tiene predilección por utilizar ejemplos de sistemas dinámicos cuya convergencia tiende a un valor constante cuando alcanzan su estado estacionario, haciendo referencia a esto como el estado estable –como se ve en cursos de Ecuaciones Diferenciales e Ingeniería de Control–.

En este estudio no fue posible identificar obstáculos de tipo sociocultural y curricular, dado que el esquema de trabajo y la interacción con los estudiantes no nos lo permitió, pues nos centramos en las producciones escritas y no en la observación de sus interacciones diarias o de las restricciones impuestas por la propia institución educativa. Adicionalmente, los obstáculos de tipo sociocultural no pudieron identificarse por la naturaleza de los instrumentos utilizados en la investigación pero pro-

ponemos que éstos pueden estudiarse a través de diseños creados específicamente para ello, como entrevistas, relatos de vida, observaciones sistematizadas, etnografías, entre otras, de tal manera que hagan evidentes los factores que intervienen en el dominio afectivo, la inclusión y el aspecto socioeconómico.

Así mismo, consideramos que los obstáculos de tipo curricular no se identificaron en este estudio debido al momento cronológico de la formación profesional de los estudiantes que participaron en la investigación –último año de sus carreras– puesto que ya habían cursado la mayoría de las asignaturas obligatorias, sin embargo, este tipo de obstáculos podrían identificarse y caracterizarse en estudios posteriores a través del constructo de la *desarticulación matemática* reportado por Torres-Corrales y Montiel (2020).

Los obstáculos didácticos de tipo conceptual que identificamos pueden evitarse, minimizarse o confrontarse a través del diseño de instrumentos que hagan evidentes las diferencias entre los conceptos de constante y proporcional (Barajas *et al.*, 2018), los cuales pueden fundamentarse en la investigación experimental y en el diseño de tareas con enfoque en análisis histórico-epistemológico del conocimiento matemático –por ejemplo, Hinojos *et al.* (2020)–. Además, en lo relacionado a considerar la estabilidad y la convergencia en estado estacionario como sinónimos, es necesario que se realicen diseños didácticos donde se haga explícita la diferencia entre ambos conocimientos matemáticos, pudiendo tomar como ejemplo el trabajo de Camacho (1993) respecto de la estabilidad en Ecuaciones Diferenciales y el trabajo de Mendoza-Higuera y Cordero (2018) donde se problematizan la modelación matemática y la estabilidad de sistemas dinámicos.

Para evitar y minimizar los obstáculos didácticos de tipo metodológico se considera que puede favorecer la reflexión por parte del docente con respecto a las decisiones didácticas/metodológicas que toma para explicar sus clases, la revisión de otras fuentes de información como artículos de investigación relacionados con el tema, propuestas didácticas diseñadas con base en la modelación –de sistemas dinámicos en este caso– y la autoevaluación de la propia actividad docente.

Finalmente, el esquema propuesto en la figura 2 puede contribuir al análisis de obstáculos didácticos en otros estudios si se extiende a observar cómo influyen la noción institucional y la noción del docente directamente en la noción del estudiante y su actuar. Así, proponemos estudiar el actuar del estudiante de donde se identifican los obstáculos didácticos y la descripción de las tipologías (Barrantes, 2006; Autino, 2011; Andrade, 2011; Cortina *et al.*, 2013; García *et al.*, 2018) que permiten clasificar de manera específica a estos obstáculos, el diseño de instrumentos y de estrategias que, posteriormente, permitan evitarlos o confrontarlos, minimizando así el desarrollo de nuevos obstáculos.

Los autores de este artículo declaramos que no existe ningún tipo de conflicto de intereses que manifestar y que lo expresado en el escrito es nuestra interpretación de los resultados de una investigación científica.

• Referencias

- Andrade, C. (2011). Obstáculos didácticos en el aprendizaje de la matemática y la formación de docentes. En P. Lestón (Ed), *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa 24*, 999-1007. México: Comité Latinoamericano de Matemática Educativa.
- Autino, B., Dígion, M., Llanos, L., Marcoleri, M., Montalvetti, P. & Soruco, O. (2011). Obstáculos didácticos, ontogenéticos y epistemológicos identificados desde la comunicación en el aula de Matemática. *XIII Conferencia Interamericana de Educación Matemática*, 1-12.
- Barajas, C., Fulano, B., Ríos, W., Salazar, L. & Pinzón, A. (2018). *Función constante, lineal y afín*. En Gómez, P. (Ed.), Diseño, implementación y evaluación de unidades didácticas de matemáticas en MAD 3 (pp. 131-186). Bogotá: Universidad de los Andes.
- Barrantes, H. (2006). Los obstáculos epistemológicos. *Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática*, 1(2), 1-7.
- Brousseau, G. (1983). Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 4(2), 101-117.
- Camacho, A. (1993). Estabilidad en los Sistemas de Ecuaciones Diferenciales. *Educación Matemática*, 5(2), 57-68.
- Cantoral, R., Farfán, R., Lezama, J. & Martínez-Sierra, G. (2006). Socioepistemología y representación: algunos ejemplos. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa, número especial*, 83-102.
- Cantoral, R., Reyes-Gasperini, D. & Montiel, G. (2014). Socioepistemología, Matemáticas y Realidad. *Revista Latinoamericana de Etnomatemática*, 7(3), 91-116.
- Cortina, J., Zúñiga, C. & Visnovska, J. (2013). La equipartición como obstáculo didáctico en la enseñanza de las fracciones. *Educación Matemática*, 25(2), 7-29.
- García, T., Cifuentes, W. & Bolaño, J. (2018). Obstáculos didácticos de los docentes de matemática, en el proceso enseñanza-aprendizaje de la educación básica secundaria y media, del municipio de Valledupar, Cesar. *Revista boletín REDIPE*, 7(10), 113-122.
- Hinojos, J. (2020). Una caracterización de las concepciones de estudiantes de Ingeniería Eléctrica acerca de la noción matemática del estado estacionario [Tesis de doctorado no publicada]. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Ciudad de México, México.
- Hinojos, J. & Farfán, R. (2017). Breve recorrido por el discurso matemático escolar de la serie de Fourier en el contexto del ingeniero en electrónica. *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa*, 30, 838-846.
- Hinojos, J. & Farfán, R. (2019). Historical-epistemological elements for the design of a learning situation from Socioepistemology. The case of steady-state and electrical engineering. *Journal of Teaching and Educational Research*, 5(15), 20-31. doi: <https://doi.org/10.35429/JTER.2019.15.5.20.31>
- Hinojos, J., Romero, F. & Farfán, R. (2020). Principios de diseño de tareas en Socioepistemología. *IE Revista de Investigación Educativa de la REDIECH*, 11, e708. doi: https://doi.org/10.33010/ie_rie_rediech.v11i0.708
- Mendoza-Higuera, E. & Cordero, F. (2018). La modelación en las comunidades de conocimiento matemático. El uso de las matemáticas en ingenieros biónicos. El caso de la estabilidad. *Revista Latinoamericana de Etnomatemática*, 11(1), 36-61.

- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*, Madrid, España: Pearson Educación.
- Plaza-Gálvez, L. & Villa-Ochoa, J. (2019). Obstáculos detectados en la formación matemática de ingenieros. Una revisión de literatura. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (58), 223-241. doi: <https://doi.org/10.35575/rvucn.n58a13>
- Rashid, M. (2004). *Electrónica de potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Ciudad de México, México: Pearson Educación.
- Ríos-Cabrera, P. (2020). *Metodología de la investigación. Un enfoque pedagógico*. Cognitus.
- Soto, D. & Cantoral, R. (2014). Discurso Matemático Escolar y Exclusión. Una Visión Socio-epistemológica. *Boletim de Educação Matemática*, 28(50), 1525-1544.
- Torres-Corrales, D. & Montiel, G. (2020). La desarticulación matemática en Ingeniería. Una alternativa para su estudio y atención, desde la Matemática Educativa. *Nóesis. Revista de Ciencias Sociales*, 29(58-1), 24-55.
- Zill, D. (1997). *Ecuaciones diferenciales con aplicaciones de modelado*. Ciudad de México, México: International Thomson editores.