

Repensando la enseñanza de las matemáticas para futuros ingenieros: actualidades y desafíos

Rethinking mathematics teaching for future engineers: News and challenges

RODRÍGUEZ GALLEGOS Ruth

RECIBIDO: AGOSTO 21 DE 2017 | ACEPTADO PARA PUBLICACIÓN: SEPTIEMBRE 27 DE 2017

Resumen

El presente escrito muestra la problemática de la formación de profesionales desde una visión muy particular de la matemática educativa. Esta problemática se agrava cuando se habla de una comunidad muy particular como la de ingeniería. Se sabe que actualmente se detecta la necesidad de contar con un mayor número de egresados en esta área y debido a una serie de dificultades tal necesidad no se ha podido cubrir del todo. En particular nos gustaría presentar los esfuerzos que se han tenido desde la matemática educativa, desde el enfoque de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas a través de la modelación y simulación, pero sobre todo, en estos últimos años, de la manera en que un grupo de profesores-investigadores latinoamericanos, desde diversas miradas teóricas, han decidido aportarle elementos de respuesta y propuestas educativas. Pretendemos abordarlo desde estas tres miradas: la relación matemáticas e ingeniería, la propuesta de enseñanza a través de la modelación y retos y primeras acciones a través de la colaboración entre diversas realidades latinoamericanas.

Palabras clave: INGENIERÍA, FORMACIÓN DE INGENIEROS, MODELACIÓN MATEMÁTICA, SIMULACIÓN.

Ruth Rodríguez Gallegos. Profesora-investigadora del Tecnológico de Monterrey Campus Monterrey. Es licenciada en Matemáticas por la Universidad Autónoma de Nuevo León, maestra en Educación por el Tecnológico de Monterrey y doctora en Matemáticas e Informática por la Universidad Joseph Fourier, en Grenoble, Francia. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), del Consejo Mexicano de Investigación Educativa (Comie), de la Comunidad Internacional de Profesores de la Modelación Matemática y Aplicaciones (ICTMA) y del Comité Latinoamericano de Matemática Educativa (Clame). Correo electrónico: ruthrdz@itesm.mx.



Abstract

This paper presents the problem of the training of professionals from a very particular view of Educational Mathematics. This problem is aggravated when speaking of a very particular community as the engineering community. It is known that the need to have a greater number of graduates in this area is now detected and due to a series of difficulties this need has not been fully covered. In particular, we would like to present the efforts that have been made since Mathematics Education, from the teaching and learning approach of Mathematics through Modeling and Simulation but above all in these last years of the way in which a group of research professors Latin Americans have decided to contribute from different theoretical perspectives to give elements of answers and educational proposals to this problem. We intend to address in this paper about these three views: the relationship Mathematics and Engineering; the teaching proposal through Modeling and finally on challenges and first actions through the collaboration between different Latin American realities.

Key words: ENGINEERING, ENGINEERING TRAINING, MATHEMATICAL MODELING, SIMULATION.

INTRODUCCIÓN

El presente escrito es una reflexión teórica a partir de trabajos previamente publicados alrededor de la problemática de la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas para las comunidades profesionales, en particular para la comunidad de formación de ingenieros. Desde tiempo atrás este tema ha sido objeto de numerosas investigaciones en diferentes países y en México se ha destinado un interés creciente al respecto tanto en los foros de divulgación (congresos) como en el panorama internacional. Creemos valioso compartir con este escrito una síntesis de algunos trabajos en esta dirección y en concreto sobre la importancia del tema y los aportes de autores sobre cómo mejorar esa matemática que los futuros ingenieros necesitan, usan, etcétera.

Una primera situación que parece ser de importancia es la necesidad de contar con un mayor número de ingenieros graduados al año, cerca de 30,000 graduados más por año de acuerdo con algunas fuentes recientes (Moreno, 2017 y “Alerta déficit...”, 2017). Lo anterior representa un problema para satisfacer las necesidades inmediatas de la industria. De ahí que es importante que las instituciones de educación que forman a este tipo de profesionistas se den a la tarea de repensar de manera importante la enseñanza de las ciencias básicas, principalmente la de las matemáticas. Por lo anterior, creemos que el camino de diseñar cursos con base en la modelación matemática es un camino viable para poner en juego las nuevas habilidades que re-



quiere un ingeniero del siglo xxi. En este sentido mencionaremos algunas iniciativas internacionales que consideramos relevantes para este punto. El trabajo de Rattan y Klingbeil (2015), realizado en la Comunidad de Ingeniería Educativa al diseñar una propuesta (curso) para la enseñanza de las matemáticas en un primer año de Ingeniería, pretende que el éxito del curso en los estudiantes de ingeniería se debe a la aplicación de una enseñanza de conceptos matemáticos “just-in-time teaching” (enseñanza justo a tiempo). Sin embargo, el autor señala la importancia de que la propuesta sea llevada a cabo por ingenieros y no por profesores de la Facultad de Ciencias (matemáticos). Creemos importante mencionar este tipo de trabajos debido a que se tienen evidencias importantes del éxito de estas propuestas, al menos en el contexto de los Estados Unidos, en el sentido de incrementar el porcentaje de estudiantes que se inscriben en carreras de ingeniería al final de su primer año en la universidad. Consecuencia, de acuerdo con los autores, de la cercanía con el aspecto funcional de la matemática más que con su aspecto formal, una cuestión que sería primordial cuando uno se enfoca en la enseñanza de las matemáticas a futuros usuarios de esta ciencia.

Sobre la situación en Europa, podemos mencionar dos trabajos, uno de Reino Unido (Bourn y Neal, 2008; Jhori, 2009) y el de la Sociedad Europea de Formación de Ingenieros (SEFI por sus siglas en francés, <https://www.sefi.be/publications/>). Por un lado, Bourn y Neal (2008) desarrollan y presentan la necesidad de trabajar en la dimensión global del ingeniero, por lo que se pone de manifiesto la importancia de desarrollar las competencias disciplinares específicas, así como aquellas relacionadas con áreas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM por sus siglas en inglés), así como habilidades denominadas genéricas, como lo son el pensamiento holístico (Bourquet, 2005), pensamiento crítico, análisis y reflexión, aprendizaje activo y aplicación práctica, autoestima y empatía, así como fuertes habilidades de comunicación y escucha. Más adelante retomaremos la discusión de la enseñanza de las matemáticas en las áreas STEM (Pedretti y Nazir, 2011; Breiner *et al.*, 2012; English, 2015 y 2016), así como la relación del enfoque de modelación de fenómenos reales y de la simulación para promover las competencias genéricas como las antes mencionadas. Es importante resaltar que estas habilidades aparecerán en documentos varios como parte de las competencias que se esperan que el ciudadano del siglo xxi posea, específicamente el futuro ingeniero.

Es importante mencionar la parte de la iniciativa de la Sociedad Europea de Formación de Ingenieros, la cual propone un documento para los países que conforman la Comunidad Europea sobre el desarrollo de las habilidades de los graduados de ingeniería (siglo xxi). En este documento se plasman las competencias que se espera desarrolle los futuros ingenieros en cuanto el aprendizaje de las matemáticas. Es importante señalar el esfuerzo conjunto de los países que conforman la Unión Europea para el establecimiento de este tipo de listas, y sobre todo la parte de enfocarse en la realización y desarrollo de ciertas habilidades, en lugar de la transmisión de conocimientos puramente conceptuales.



Estos tres documentos mencionados nos permiten tener un panorama general sobre lo que acontece en el ámbito internacional y sobre todo de cómo esta necesidad de formar un nuevo perfil en la universidad obliga a repensar la manera en que se enseña y aprende matemáticas en la escuela de hoy. Un mecanismo muy particular que permite hacer vivir una nueva realidad en los estudiantes es la enseñanza a través de la modelación. Presentaremos una mirada sobre el tema. En particular hablaremos sobre avances que se han hecho desde hace siete años en esta dirección en un instituto privado del noreste de México.

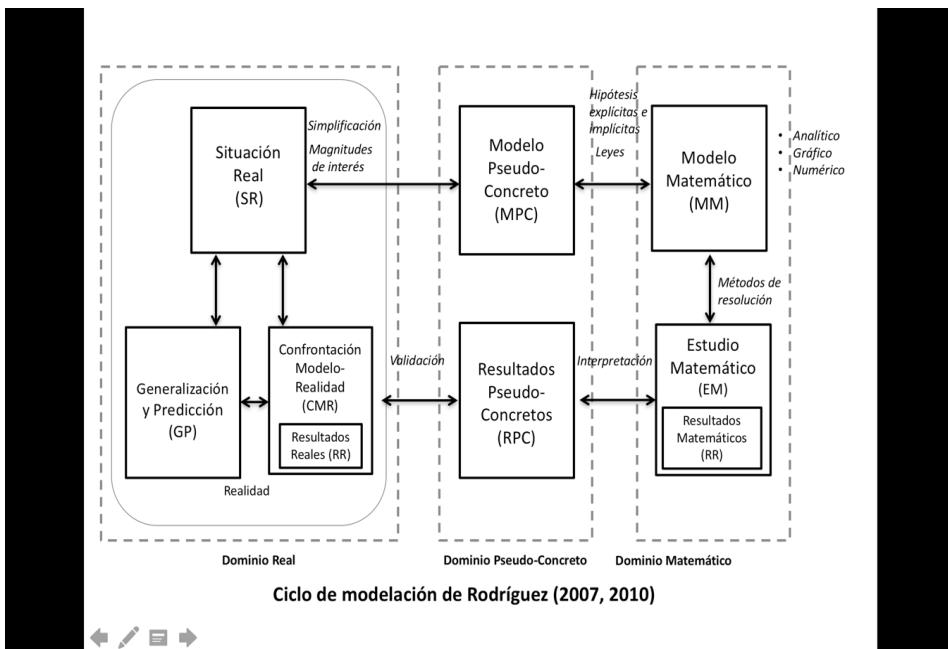
El Tecnológico de Monterrey en México es una institución privada que busca la formación integral en sus egresados, y muy en particular en los ingenieros. Lo anterior está fundamentado al interior de la institución en el marco de un modelo educativo integral que se ha denominado Modelo Tec 21 (Tecnológico de Monterrey, 2017), en el cual se busca alinear los esfuerzos internos con las necesidades externas tanto de los empresarios como de la sociedad. Respecto a lo que se entiende de manera global sobre la enseñanza basada en STEM, si bien en el origen este tipo de iniciativa, no estaba del todo explícita al seno de la institución. Consideramos que es posible repensar este tipo de propuestas educativas, en el sentido planteado por Shanahan *et al.* (2016), de que ha permitido un diálogo y una movilización importante al interior de la institución para permitir la creación y desarrollo de proyectos educativos entre los diferentes actores del proceso educativo.

Los antecedentes básicos que respaldan la definición sobre modelación matemática para el ámbito escolar nacen de los trabajos de Blum y Niss (1991) y Niss, Blum y Galbraith (2007), quienes postulan en un primer momento a la modelación simplemente como la relación entre matemáticas y la “realidad”. Se propone visualizar la modelación matemática desde el ámbito escolar; se decide continuar el estudio adoptando la descripción de este proceso en término de etapas y transiciones entre etapas (Maab, 2006; Henning y Keune, 2007). Nuestra aproximación es del tipo educativa, de acuerdo con Kaiser y Siraman (2006) en el sentido de que nos interesa la formación de futuros ingenieros y desarrollar determinado contenido matemático. Un primer acercamiento al proceso de modelación estaría dado en Rodríguez (2010), como se observa en la figura 1.

Se pretende estudiar en el proceder de los alumnos cuando están frente a tareas de modelar fenómenos variando su proceder, sus dificultades observadas en términos de los argumentos que tienen al respecto la interpretación, el uso de diversos esquemas de representación y de la transición entre las etapas del proceso de modelación definida en un primer momento (Rodríguez, 2010). Es importante comentar que se entiende por modelo matemático las diferentes representaciones gráficas del objeto matemático en cuestión. Para nuestro caso, el estudio se realiza sobre la noción ecuación diferencial (ED, ver Rodriguez, 2010 y 2015): su gráfica de solución, la ED misma en tanto modelo analítico y una tabla numérica de datos que eventualmente puede ser modelada por una ED y/o su solución. En un esquema posterior de modelación (ver figura 2) se tuvo la necesidad de reducir la “realidad” a un breve apartado y



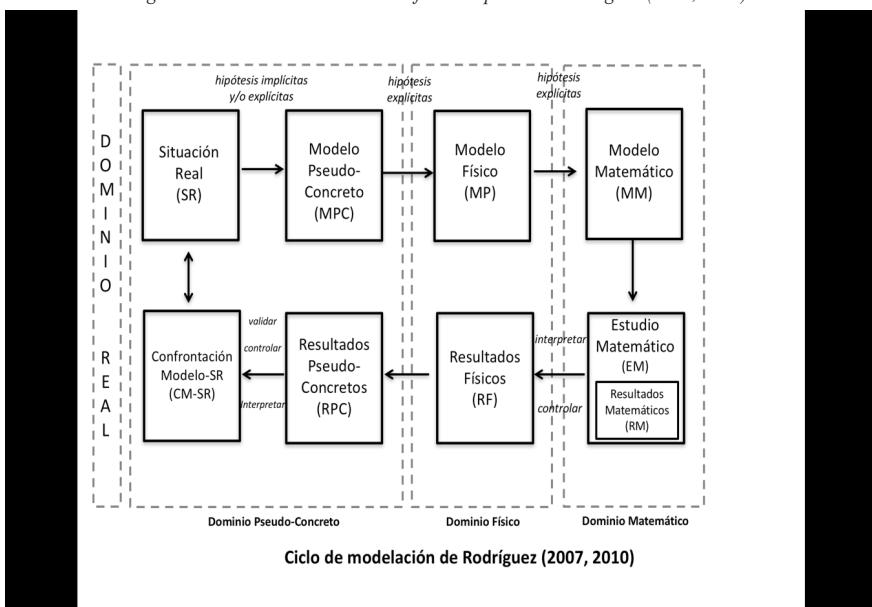
Fig. 1. Proceso de modelación a partir de Rodríguez (2007, 2010).



reconocer que en el contexto educativo usualmente se inicia a trabajar en un dominio pseudo-concreto (en el sentido de Henry, 2001, “una realidad” ya reducida) y cómo en este enfoque nos interesa modelar fenómenos extra matemáticos se decide trabajar en contextos extra matemáticos (usualmente la física, aunque igualmente pueden ser otros dominios, como química, biología, entre otros).

En un primer lugar, un curso como el que se presenta pretende mostrar a los alumnos de ingeniería un mayor enfoque balanceado entre las disciplinas STEM, así

Fig. 2. Proceso de modelación modificado a partir de Rodríguez (2007, 2010).





como una mayor equidad entre las *representaciones* de las disciplinas que se trabajan (matemáticas e ingeniería subrepresentadas). Se hace un énfasis especial en mostrar la importancia en que se trabajen diversos contextos, no solo de naturaleza física, sino también biológicas y/o sociales, introduciendo de manera especial aquellas situaciones donde las leyes empíricas son de importancia.

REFORMA DE CÁLCULO EN EL TECNOLÓGICO DE MONTERREY

En nuestro instituto, Ecuaciones Diferenciales (ED) corresponde al último curso formal de matemáticas básicas. A través de su estudio se pretende que el alumno sea capaz de poder aplicar sus conocimientos a las materias de especialidad en curso posteriores (Tecnológico de Monterrey, 2012). Un antecedente importante a esta propuesta es el rediseño curricular en las matemáticas del sector de Ingeniería en el Campus Monterrey iniciado en el año 1999 (Salinas y Alanís, 2009; Pulido, 2010; Salinas, Alanís y Pulido, 2011), en donde se cuestiona no solo cómo enseñar, sino qué enseñar (contenido) y para qué enseñarlo (prácticas profesionales/ingenieriles).

Esta propuesta pretende retomar el camino ya avanzado, pero además propone que el curso de Ecuaciones Diferenciales se desarrolle a través de un enfoque de modelación matemática, enfatizando con ello que los objetos matemáticos sean vistos ante todo como herramientas para modelar fenómenos diversos en contextos varios (físicos, químicos, biológicos, sociales, etcétera).

Desde tiempo atrás, la problemática en la enseñanza de las ecuaciones diferenciales radica, por un lado, en la falta de comprensión por parte de los alumnos de las ideas fundamentales alrededor de esta disciplina (Blanchard, 1994; Artigue, 1996; Rassmussen, 2001; Rassmussen y Whitehead, 2003; Arslan, 2010).

Por otro lado, muchas veces se reduce el curso a la enseñanza de una serie de prácticas procedimentales de métodos analíticos de resolución de estas ED, dejando a un lado otras formas de resolución de las mismas.

Investigaciones previas (Artigue, 1989, 1992, 1995, 1996) denotan que desde la década de los noventa, la reforma a la enseñanza de las ecuaciones diferenciales promueve el cambio del uso preponderante de métodos analíticos hacia otros de naturaleza cualitativa y numérica (Arslan, 2010). Si bien es cierto existen casos de éxito documentados en México en los últimos años, aunque principalmente propuestas innovadoras sobre su enseñanza a nivel internacional (Kallaher, 1999; Lomen y Lovelock, 2000; Fisher, 2011; Brannan y Boyce, 2007; Blanchard, 2006; Boyce y DiPrima, 2010; Smith, 2011, Caron *et al.*, 2014; Natan y Klingbeil, 2015), así como algunas investigaciones al respecto, es necesario un cambio más fundamental de lo que se vive en las aulas en el día a día.



LA ENSEÑANZA A TRAVÉS DE LA MODELACIÓN Y DEL USO DE TECNOLOGÍA VARIADA

En el caso del curso de ED, se ha considerado como tecnología disponible la siguiente:

- a) calculadoras graficadoras CAS (ejemplo, TI CX Nspire CAS de Texas Instruments, Rodríguez, 2012).
- b) Adicionalmente, situamos el uso de sensores (temperatura, voltaje, movimiento; ver Rodríguez 2015, Rodríguez y Quiroz, 2015) para que el alumno pueda realizar algunas prácticas experimentales dentro del aula con la finalidad de ver ejemplificado el modelo de la ED en el fenómeno real, tomar datos reales y ajustar, proponer modelo, verificar.
- c) Cuando no es posible llevarlo a la clase, se trabaja con el uso de recursos educativos abiertos (REA), como simuladores PhET de la Universidad de Colorado (Rhen *et al.*, 2013).
- d) Software de modelación como Tracker (de uso abierto; ver Olmos, 2012).
- e) Laboratorios remotos.
- f) Software de simulación dinámica como Vensim (Bourguet, 2005) o Stella (Fisher, 2011a y 2011b).
- g) Software específico para una perspectiva de teoría de control como MatLabSimulink (Smith y Campbell, 2011) o SciLab (software de uso libre).

La tecnología anteriormente descrita permite el diseño y realización de actividades donde las competencias de modelación pueden ser eventualmente desarrolladas y que se propicie un aprendizaje significativo de las ED en tanto objeto matemático, así como herramienta para modelar fenómenos varios.

EJEMPLO DEL ESTUDIO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS RC Y RL A TRAVÉS DE LA SIMULACIÓN

Se han diseñado varias actividades para el curso; en particular se ha centrado la atención en el modelado de crecimiento de población, cambio de temperatura, mezclas, masa-resorte y circuitos eléctricos (Rodríguez, 2015). En particular presentamos en este escrito el modelar de la carga del capacitor en un circuito resistencia-capacitor RC. Se usa experimentación y simulación para recrear la situación y permitir que el alumno se familiarice con el fenómeno eléctrico y verifique la solución de la ED asociada al fenómeno. El objetivo es estudiar la forma en que cambia la carga $q(t)$ en un capacitor C respecto al tiempo utilizando el sensor de voltaje. Se pide a los alumnos que a través de las representaciones gráficas y numéricas que proporciona la calculadora TI-Nspire CX CAS establezcan la “forma en que cambia la carga en el capacitor C respecto al tiempo t ”; es decir, que a través de una *situación real* puedan *comprender* la solución de la ED que subyace al fenómeno.

Posteriormente a esta práctica, en una segunda sesión se modela un circuito RL a través del simulador PhET (figura 2), tanto con corriente directa como con alterna.

Se pide al alumno discutir al respecto la función respuesta de ambos circuitos y relacionar ese comportamiento a la función de voltaje de entrada y la solución misma. Se observa en esta actividad una cuestión importante de análisis de solución de la ED en términos de estados transitorio y estable y se asocia esto a la forma de la función de entrada (excitatriz o perturbación) de la ED:

CONSTRUCCIÓN DE SIMULADORES: LAS PRÁCTICAS PROFESIONALES EN EL CURSO DE ED

Consideramos que retomar un enfoque sistémico (holístico) puede ser de mucha utilidad en la modelación y simulación de estos contextos sociales. Ejemplos como Fisher (2011a y 2011b) proponen desde tiempo atrás retomar este enfoque sistémico desde la preparatoria. Fisher (2011a y 2011b) propone el uso de un software como Stella; sin embargo, como veremos más adelante, es posible hacer uso de otro software equivalente de simulación dinámica como Vensim. Parte de este esfuerzo de conjuntar matemáticas y enfoque sistémico se puede ver plasmado en Rodríguez y Bourguet (2014 y 2015).

Otro esfuerzo es vincular cuestiones básicas de teoría de control, materia dirigida generalmente a ingenieros en mecatrónica, electrónica, eléctrica, sistemas digitales con conceptos matemáticos. Un esfuerzo importante en este sentido lo constituye el trabajo de Smith y Campbell (2011), así como el estudio de Castela y Romo (2011) y Romo-Vázquez (2014), donde justamente se estudia a una comunidad de ingenieros que hacen uso del tema “transformada de Laplace” y sus diversos significados en el área laboral. El software utilizado para esta cuestión es MatLab/Simulink.

Un breve análisis de la experiencia México (curso de ED) a través de English (2016):

1. La necesidad de hacer *transparente y explícita las conexiones* entre las disciplinas que conforman STEM para estudiantes y profesores mayor claridad de procesos en el proceso de resolver problemas en un enfoque STEM. Consideramos que la propuesta desarrollada en México pretende avanzar en esta dirección; sin embargo, habrá que seguir trabajando en este tipo de vinculaciones entre el

Fig. 3. Ejemplos de producciones de alumnos al momento de modelar la corriente en un circuito RL a través del simulador PhET; uso de corriente alterna (variable) en un circuito RL.



Fig. 3. Representaciones de la ED de primer orden necesaria para modelar el afecto entre dos personas (sistema de ED, comportamiento periódico) y la expansión de una enfermedad de una comunidad de personas (función logística).

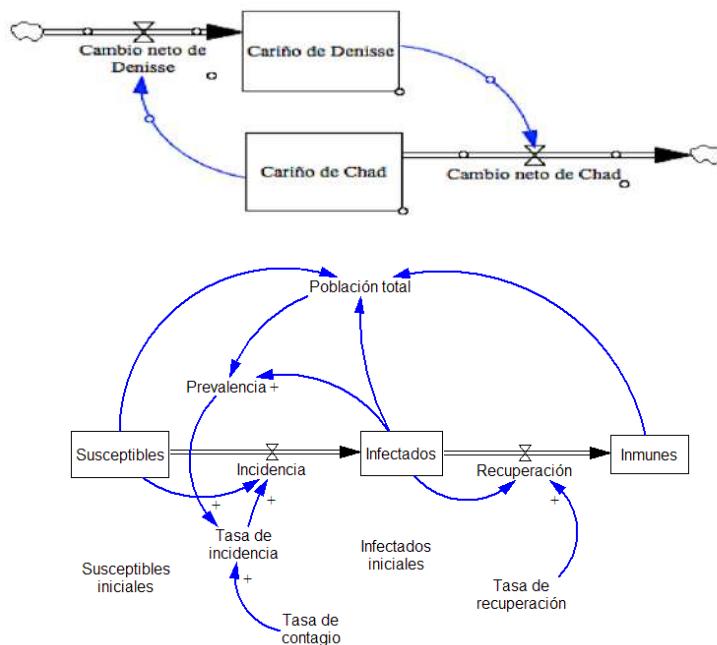
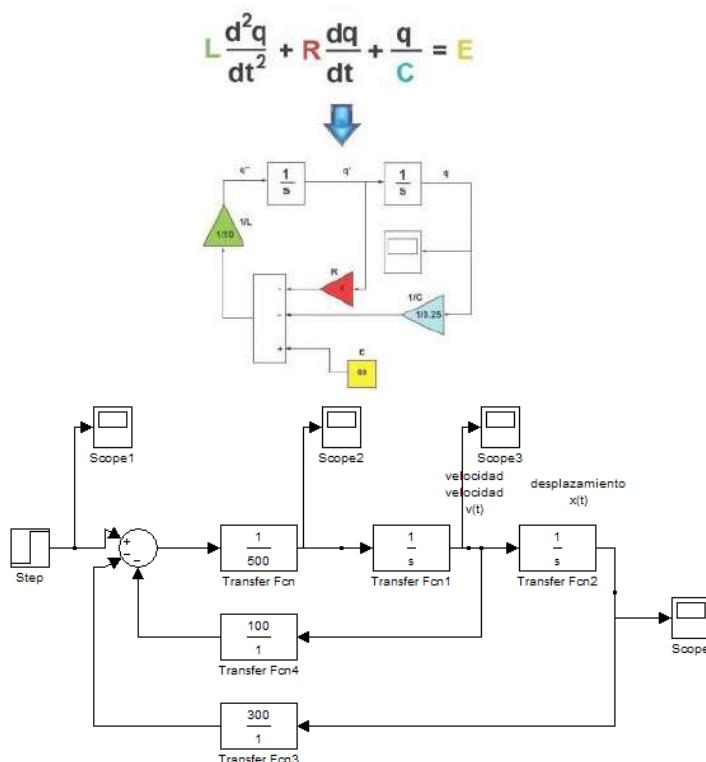


Fig. 4. Representación en MatLab/Simulink de una ED de primer orden $RCq' + q(t) = E(t)$ para modelar un circuito RC (Smith y Campbell, 2011) y de una ED de segundo orden $m'' + \beta x' + x(t) = F(t)$ para modelar un sistema mecánico masa-resorte.





vocabulario usado en una y otra disciplina y, sobre todo, en su puesta en juego en el ámbito educativo.

- Una expectativa de la educación STEM efectiva es motivar a hacer nuevas conexiones entre dos o más disciplinas, y que debe ser evidencia con una mejora en el aprendizaje y en la transferencia en los estudiantes, así como su interés y su compromiso hacia la resolución de problemas. Estos resultados de aprendizaje requieren que los alumnos sean competentes en el contenido de las disciplinas específicas, pero también en las representaciones y en la fluidez (*representation fluency*) de estas, así como en la traducción entre las diferentes representaciones.

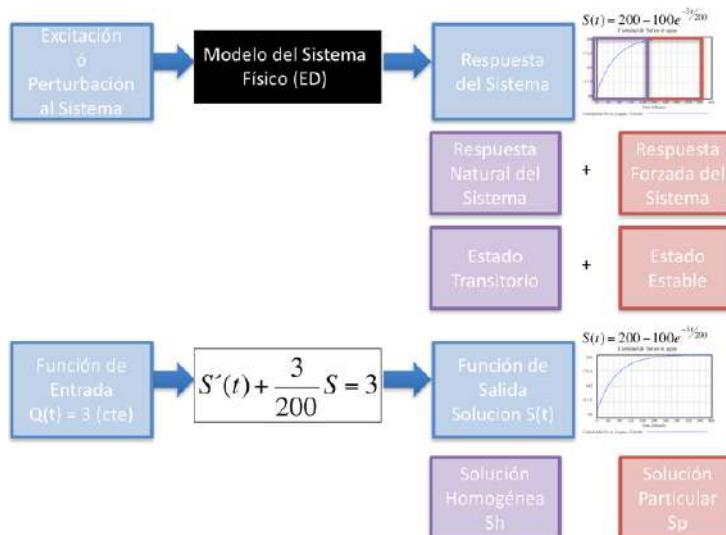
UNA PERSPECTIVA POSIBLE: EL ÁREA STEM

Desde los noventa, la National Science Foundation (NSF) en Estados Unidos mostraba una gran preocupación sobre la importancia en la integración de científicos de diferentes áreas, como la física, matemáticas e ingeniería, en objetivos comunes. La NSF consideraba que las universidades deberían realizar un esfuerzo en integrar departamentos que incluyeran científicos de varias áreas. Si bien tal proposición no llegó a implementarse por completo en las universidades, dejó la semilla para iniciar estudios y proponer un *syllabus* que tuviera como objetivo transformar los cursos, de tal forma que se promoviera la integración de las ciencias, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (STEM en sus siglas en inglés).

Existen numerosos trabajos alrededor de este tema, los cuales proporcionan diversas interpretaciones del surgimiento del término STEM, principalmente en EEUU. De acuerdo con Shanahan *et al.* (2016), al parecer el término se acuña más en

Fig. 5. Ejemplo de la mirada “caja negra” en ingeniería y de “caja blanca” desde la matemática.

Analizando la solución de la ED



función de buscar una alianza de áreas para el desarrollo de investigación conjunta y sobre todo la búsqueda de fondos para estos fines. En la práctica, la iniciativa STEM parece ser más la conformación de una red de colaboración donde actores clave de iniciativas de educación de la ciencia y matemáticas parecen comprometerse hacia un objetivo en común. Hoy en día, el *paraguas* de STEM está dirigido más a buscar el currículum integrado y diversas publicaciones recientes muestran casos de éxito donde esta integración ha sido fructífera. Sin embargo, Shanahan *et al.* (2016, pp. 130-131) resaltan un debate actual al respecto:

¿Es STEM un ambiente multidisciplinario donde la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas son vistas trabajando juntas manteniendo sus compromisos epistemológicos distintos o es STEM un espacio interdisciplinario o incluso multidisciplinario que no es ciencia ni matemáticas, pero algo que emerge entre o más allá de compromisos disciplinarios?

Justo en este artículo vemos la importancia de resaltar la segunda parte de la pregunta ya lanzada por Shanahan *et al.* (2016) en esta dirección de STEM. Es justamente la integración en STEM lo que representará todo un reto, y a pesar de que este es un tema que sigue pendiente y vigente, la literatura reciente se enfocará en avanzar más en el área STEM en esta dirección. De acuerdo con los autores, existen diversas perspectivas para abordar el tema; algunos educadores entenderán el término STEM no solo desde la visión integradora, pero enfatizando más los problemas fuera de la escuela (los problemas reales). Desde este punto de vista, desde la introducción, hemos visto la importancia del desarrollo de investigación sobre modelación matemática en la comunidad de matemática educativa.

Estudiaremos a continuación un ejemplo de una investigación que propone estudiar el fenómeno STEM desde una visión integradora. Un trabajo importante a mencionar en este sentido es el de Kelley y Knowles (2017) sobre su esfuerzo de proponer un marco teórico para la educación STEM integrada. En este marco teórico, ellos reconocen la importancia de concebir esta integración de cuatro disciplinas desde perspectiva sugerida en la figura 6.

Desde su perspectiva, la enseñanza bajo STEM es compleja, y los autores reconocen tal complejidad considerando la interacción de las diferentes variables en juego, proponiendo un sistema de poleas que permite atacar la enseñanza, fijando dos componentes como soporte para impulsar las otras. Así, la indagación científica (*science inquiry*, SI) y la cultura tecnológica (*technological literacy*, TL), permiten que la componente diseño ingenieril (*engineering design*) y pensamiento matemático (*mathematical thinking*) sean más efectivas. Es decir que bajo este modelo de poleas, el diseño ingenieril y el pensamiento matemático tienen un rol central que al interactuar con el soporte SQ + TL promueven el aprendizaje bajo el currículum STEM. En particular al respecto de la descripción que ellos proponen para esta parte resalta el hecho de que diversos “estudios han mostrado que los estudiantes están

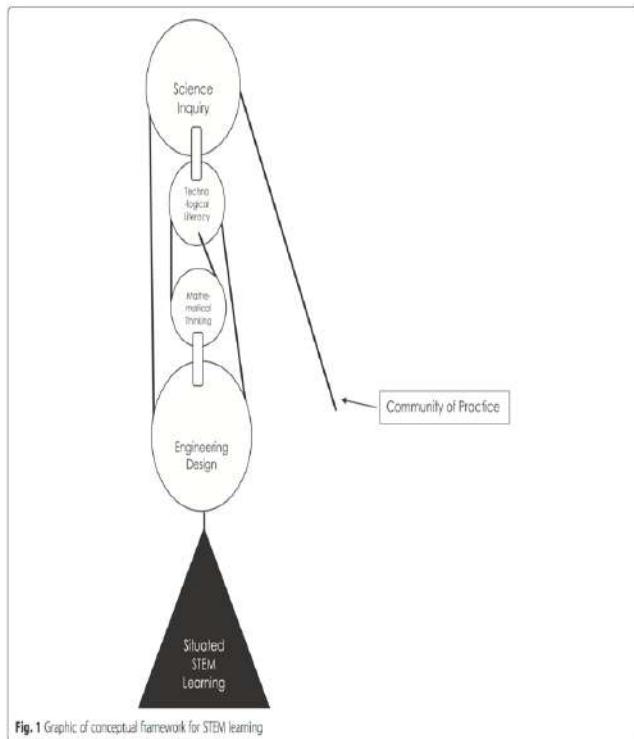


Fig. 6. Gráfico del aprendizaje conceptual bajo la perspectiva STEM (Kelley y Knowles, p. 4).

más motivados y se desempeñan mejor en la evaluación del contenido matemático cuando los maestros usan un enfoque de educación de STEM integrado” (Kelley y Knowles, 2016, p. 6).

Este acercamiento conlleva diferencias con el movimiento de resolución de problemas, ya que en este enfoque no necesariamente la interacción con otras ramas científicas y la modelación matemática tiene lugar. El problema puede ser puramente matemático, como fue la tendencia en los inicios de los estándares de los Estados Unidos en la década de los noventa. Justamente Kelley y Knowles (2016) nos muestran los cambios en los estándares del presente siglo. Aunado a lo anterior, Williams (2007) señala que los alumnos “desean saber la relevancia de aprender matemáticas para su vida” (p. 572). Si bien es cierto que esta integración pretende dar una respuesta a esta problemática, en ocasiones ello no es posible, debido en parte a que los profesores les hace falta un mejor entendimiento de la educación STEM. Es entonces que trabajos como los descritos anteriormente aparecen importantes, ya que hay una vinculación entre las comunidades de educación de ingeniería y de enseñanza de las matemáticas.

Sin embargo, Kelley y Knowles (2016) resaltan en sus conclusiones que los estudiantes están a menudo desinteresados y/o desmotivados en aprender ciencias, ya que no observan relaciones entre los conceptos que aprenden en la clase de ciencia o matemática y aplicaciones del mundo real. Ellos sugieren, a manera de conclusión, sobre la importancia de preparar mejor a los educadores en esta perspectiva de una

manera integrada, dando a conocer los resultados ya reportados por otras investigaciones, además de las diversas perspectivas pedagógicas y de teoría de aprendizaje.

Sobre la importancia de las investigaciones en el área de STEM, aún hay mucho por hacer. Creemos que este es un camino que debe continuarse para analizar que se debe seguir o no en esta dirección. Es muy importante resaltar que actualmente muchos organismos que otorgan financiamiento para realizar investigaciones en estas áreas (educación de la ingeniería, de la ciencia o de la matemática educativa) dan mucha importancia en estudios con enfoque STEM.

LA IMPORTANCIA DE LA COLABORACIÓN EN REDES

Concluimos este escrito resaltando la creación y desarrollo de un grupo de profesores-investigadores que se han organizado desde diciembre 2014 en México y desde julio 2015 en Latinoamérica, pretendiendo aportar en esta dirección, compartiendo sus propias experiencias e investigaciones en foros nacionales e internacionales. Pero sobre todo intentando responder a las siguientes preguntas igualmente planteadas por el grupo (Rodríguez *et al.*, 2015 y 2016):

- El tipo de matemáticas que debe ser enseñada y aprendida.
- La relación de las matemáticas con las ciencias de la ingeniería.
- El rol que juegan los profesionales en la transformación del conocimiento matemático hacia un saber práctico, y de qué manera ese saber práctico puede volverse al aula.
- Las formas de modelización pertinentes en esos niveles.

Se sugiere saber más del grupo en el sitio <https://www.facebook.com/fpme2014/>.

En este sentido, la producción de los miembros del grupo se puede ver reflejadas en dos artículos (Rodríguez *et al.*, 2015 y 2016) del grupo. Entre otras cuestiones, se enfatiza la necesidad de tomar en cuenta otras realidades, y para ellos enumeramos a continuación organismos o conferencias relevantes al respecto.

Incluimos también algunas referencias importantes de organismos y eventos asociados a esta temática:

a) Cuatro organismos de acreditación:

1. Sistema de Acreditación de Programas de Arquitectura e Ingeniería (<http://acaai.org.gt/>).
2. Sistema de Homologación Centro Americano de Programas de Ingeniería (<http://www.csuca.org>).
3. ABET (<http://www.abet.org/accreditation/>).
4. CACEI en México (<http://www.cacei.org>)

b) Cuatro congresos internacionales:

1. Conferencia anual de la Sociedad Americana de la Educación de la Ingeniería, ASEE por sus siglas en inglés (American Society for Engineering Education; <http://www.asee.org>).



2. Conferencia anual organizada por el Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Instituciones de Ingeniería; LACCEI por sus siglas en inglés (<http://www.laccei.org>).
 3. Fronteras en Educación, organizado por la IEEE (<http://fie-conference.org>).
 4. Conferencia Internacional de Profesores de la Modelación y Aplicaciones, ICTMA (<http://www.ictma15.edu.au>).
- c) Tres organismos internacionales y nacionales:
1. Academia Nacional de Ingeniería en Estados Unidos (National Academy of Engineering, <https://www.nae.edu/>).
 2. Sociedad para la Formación de Ingenieros en Europa (SEFI).
 3. Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería (ANFEI) en México (<http://www.anfei.mx>).
- d) Grupos de trabajo relacionados en el marco de conferencias internacionales:
1. Grupo de estudio “Las interacciones entre las matemáticas y las otras disciplinas en la formación general y profesional” en el marco del Espacio Matemático Francófono (Espace Mathématique Francophone, EMF por sus siglas en francés); <http://emf2015.usthb.dz>.
 2. Grupo de estudio “Modelación, interdisciplinariedad y complejidad” (GT4) o “Matemáticas en la pluralidad de enseñanzas en el nivel superior” (GT5) en el marco del Espacio Matemático Francófono (Espace Mathématique Francophone; <https://emf2018.sciencesconf.org/>).
 3. Grupos de estudio “Matemáticas en y para el trabajo” (TSG3); “Modelación y aplicaciones” (G21) e “Interdisciplinariedad en matemática educativa” (TSG22) en la Conferencia Internacional de Matemática Educativa, ICME por sus siglas en inglés, 2016 en Hamburgo (http://icme13.org/topic_study_groups).

El listado anterior no pretende ser exhaustivo; sin embargo, es una primera mirada de eventos importantes en México, Latinoamérica y el mundo sobre cómo una comunidad como matemática educativa aborda la problemática de la formación de profesionales, específicamente ingenieros. Es muy importante a los profesores de matemáticas para ingeniería u otras profesiones ser parte de la discusión al respecto. Parte de este esfuerzo que hoy compartimos en este escrito es una invitación al diálogo en conjunto, pero sobre todo a proponer soluciones de tal forma que la formación matemática de estas profesiones sea cada vez más sólida y con significado.

CONCLUSIONES

Sin duda alguna, y después de leer los avances en investigación e innovación educativa en este tema, nos queda claro que aún hay mucho por hacer en este tema. Consideramos importante que se puedan tener redes de colaboración como el grupo antes descrito; tener en claro la problemática actual sobre la formación de ingenie-



ros en México y cómo esta se trabaja en otros contextos, pero sobre todo ver cómo trabajos alineados a modelación permiten ver la riqueza de este enfoque para desarrollar competencias genéricas tan valiosas como las ya postuladas por organismos internacionales. Además, consideramos valioso ampliar el enfoque a las áreas STEM y sus avances ya reportados para poder seguir contribuyendo a la debida formación de ingenieros.

La pregunta que queda de manifiesto aquí es cómo, desde nuestra experiencia previa como profesores investigadores en matemática educativa dedicados a formar futuros ingenieros, podemos contribuir al fenómeno STEM actualmente en auge y cómo nuestros hallazgos previos en investigación aportan de manera importante al diálogo actual en el tema para así poner en relevancia el papel de las matemáticas en STEM, y mejorar paulatinamente la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas de los futuros ingenieros en México.

REFERENCIAS

- Alerta déficit de ingenieros en Nuevo León (2017, agosto). *Zócalo*. Recuperado de <http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/alerta-deficit-de-ingeneros-en-nuevo-leon>
- ARSLAN, S. (2010). Do students really understand what an ordinary differential equation is? *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 41(7), 873-888. <http://dx.doi.org/10.1080/0020739X.2010.486448>
- ARTIGUE, M. (1989). Une recherche d'ingénierie didactique sur l'enseignement des équations différentielles du premier cycle universitaire. *Cahier du séminaire de Didactique des Maths et de l'Informatique de Grenoble*, édition IMAG, 183-209. Grenoble, Francia.
- ARTIGUE, M. (1992). Functions from an Algebraic and Graphic Point of View: Cognitive Difficulties and Teaching Practices. En E. Dubinsky y G. Harel (eds.), *The concept of function: Aspects of epistemology and pedagogy*, MAA notes 25. Washington, DC, Estados Unidos: MAA.
- ARTIGUE, M. (1995). La enseñanza de los principios del cálculo: problemas epistemológicos, cognitivos y didácticos. En P. Gómez (ed.), *Ingeniería didáctica en educación matemática*. México: Grupo Editorial Iberoamérica.
- ARTIGUE, M. (1996). Teaching and learning Elementary Analysis. En *Memorias del VIII Congreso Internacional de Matemática Educativa (ICME VII), Selected Lectures* (15-29). Sevilla, España.
- BLANCHARD, P. (1994). Teaching differential equations with a dynamical systems viewpoint. *The College Mathematics Journal*, 25, 385-393.
- BLANCHARD, P., Devaney, R. y Hall, G. (2006). *Differential equations* (3a. ed.). Belmont: Cengage.
- BOURGUET, R.E. (2005). Desarrollo de pensamiento sistemático usando ecuaciones diferenciales y dinámica de sistemas. En *Reunión de intercambio de experiencias en estudios sobre educación del Tecnológico de Monterrey (RIE)*. Monterrey, Nuevo León, México. Recuperado de [http://www.mty.itesm.mx/rectoria/dda/rieee/pdf-05/26\(DIA\).RafaelBourguet.pdf](http://www.mty.itesm.mx/rectoria/dda/rieee/pdf-05/26(DIA).RafaelBourguet.pdf)
- BOURN, D. y NEAL, I. (2008). *The global engineer. Incorporating global skills within UK Higher Education of Engineers*. Engineers against Poverty, Leading Education and Social Research, Institute of Education, University of London.
- BLUM, W. y Niss, M. (1991). Applied mathematical problem solving, modeling, applications, and links to other subjects-State, trends and issues in mathematics instruction. *Educational Studies in Mathematics*, 22(1), 37-68.
- BLUM, W., GALBRAITH, P., HENN, H. y Niss, M. (eds.). (2007). *Modelling and applications in mathematics education. The 14th ICMI Study*. Nueva York, Estados Unidos: Springer.

- BOYCE, W. y DiPRIMA, R. (2010). Ecuaciones diferenciales y problemas en valores de la frontera (5a. ed.). México: LimusaWiley.
- BRANNAN, J. y BOYCE, W. (2007). Ecuaciones diferenciales. Una introducción a los métodos modernos y sus aplicaciones. México: Grupo Editorial Patria.
- CASTELA, C. y ROMO, A. (2011). Des mathématiques à l'automatique: étude des effets de transposition sur la transformée de Laplace dans la formation des ingénieurs. *Recherches en didactique des mathématiques*, 31(1), 79-139.
- CARON, F., LIDSTONE, D. y LOVRIC, M. (2014). Complex dynamical systems. In S. Oesterle y D. Allan (eds.), *Actes du Groupe canadien d'étude en didactique des mathématiques 30 mai-3 juin 2014* (pp. 137-148). Alberta.
- CAPOTE-LEÓN, G.E., RIZO-RABELO, N. y Bravo-López, G. (2016). La formación de ingenieros en la actualidad. Una explicación necesaria. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(1), 21-28. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/>
- DECOITO, I. (2016). STEM Education in Canada: A knowledge synthesis, STEM. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 16(2), 114-128. <http://dx.doi.org/10.1080/14926156.2016.1166297>
- ENGLISH, L.D. (2015). STEM: Challenges and opportunities for mathematics education. *Proceedings of PME*, 39(1), 1-18.
- ENGLISH, L.D. (2016). STEM Education K-12: Perspectives on Education. *International Journal of STEM Education*, 3(3), 1-8. <http://dx.doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- FISHER, D. (2011a). *Modeling Dynamics Systems: Lessons for a First Course* (3a. ed.).
- FISHER, D.M. (2011b). Everybody thinking differently: K-12 is a leverage point. *System Dynamics Review*, 27, 394-411. <http://dx.doi.org/10.1002/sdr.473>
- INTERNATIONAL COMMUNITY OF TEACHERS OF MATHEMATICAL MODELLING AND APPLICATIONS [ICTMA]. *The first twenty five years*. Recuperado de <http://www.icmihistory.unito.it/ictma.php>
- HENNING, H. y KEUNE, M. (2007). Levels of modelling competencies. En W. Blum, P.L. Galbraith, H.W. Henn y M. Niss (eds.), *Modeling and Applications in Mathematics Education. The 14th ICMI Study* (pp. 225-232). Nueva York, Estados Unidos: International Commission on Mathematical Instruction ICMI.
- HENRY, M. (2001). Notion de modèle et modélisation dans l'enseignement. En M. Henry (ed.), *Autour de la modélisation en probabilités* (pp. 149-159). Besançon: Commission Inter-IREM Statistique et Probabilités.
- JHORI, A. (2009). Preparing Engineers for a Global World: identifying and Teaching Strategies for Sensemaking and Creating New Practices. En *Proceedings of the 39th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*.
- KALLAHER, M. (1999). *Revolutions in Differential Equations, exploring ODES with modern technology*. En *MAA Notes 50*. Washington, D.C., Estados Unidos: MAA.
- KAISER, G. y SIRAMAN, B. (2006). A global survey of international perspectives on modelling in mathematics education. *ZDM*, 38(3), 302-310. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02652813>
- KELLEY, T. y KNOWLES, G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(11). <http://dx.doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- LOMEN, D. y LOVELOCK, D. (2000). *Ecuaciones diferenciales a través de gráficas, modelos y datos*. México: CECSA.
- MAAB, K. (2006). What are modeling competencies? *ZDM*, 38(2), 113-142.
- MORENO, T. (2017). México tiene déficit de ingenieros. *El Universal*. Recuperado de <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/nacion/politica/2017/01/10/mexico-tiene-deficit-de-ingenieros>
- NATHAN, K. y KLINGBEIL, N. (2014). *Introductory Math to Engineering Applications*. Wiley.
- NISS, M., BLUM, W. y GALBRAITH, P. (2007). Introduction. En *ICMI Study 14: Applications and Modelling in Mathematics Education* (pp. 3-32). Nueva York, Estados Unidos: Springer.
- PEDRETTI, E. y NAZIR, J. (2011). Currents in STSE education: Mapping a complex field, 40 years on. *Science Education*, 95(4), 601-626.
- RASMUSSEN, C. y KING, K. (2001). Locating starting points in differential equations: a realistic mathematics education approach. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 31(2), 161-172. <http://dx.doi.org/10.1080/002073900287219>

- RASMUSSEN, C. y WHITEHEAD, K. (2003). *Learning and Teaching Ordinary Differential Equations*. The Mathematical Association of America (MAA). Recuperado de http://www.maa.org/t_and_l/sampler/rs_7.html
- REHN, D., MOORE, E., PODOLEFSKY, N. y FINKELSTEIN, N. (2013). Tools for high-tech tool use: A framework and heuristics for using interactive simulations. *Journal of Teaching and Learning with Technology*, 2(1), 31-55.
- RODRÍGUEZ, R. (2010). Aprendizaje y enseñanza de la modelación: el caso de las ecuaciones diferenciales. *Revista Latinoamericana de Matemática Educativa*, 13(4-I): 191-210. México. Recuperado de <http://www.clame.org.mx/relime.htm>
- RODRÍGUEZ, R. (2012). Modelación y uso de tecnología TI Nspire CX CAS en la enseñanza de las ecuaciones diferenciales. *Revista Innovaciones Educativas de la Texas Instruments*, (duodécima edición), 24-26. México. Recuperado de http://education.ti.com/sites/LATINOAMERICA/downloads/pdf/Revista_innovaciones_2012_web.pdf
- RODRÍGUEZ, R. y BOURGUET, R. (2014). Diseño interdisciplinario de modelación dinámica usando ecuaciones diferenciales y simulación. *Proceedings of the LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2014) "Excellence in Engineering To Enhance a Country's Productivity" 22-24 de julio de 2014*. Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <http://www.laccei.org/LACCEI2014-Guayaquil/RefereedPapers/RP142.pdf>
- RODRÍGUEZ, R. y BOURGUET, R. (2015). Diseño de una actividad de modelación en un curso de ecuaciones diferenciales desde una perspectiva de dinámica de sistemas. *Proceedings of the Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Education (LACCEI 2015)*. República Dominicana. Recuperado de <http://www.laccei.org/LACCEI2015-SantoDomingo/RefereedPapers/RP232.pdf>
- RODRÍGUEZ, R. (2015). A Differential Equations Course for Engineers through Modelling and Technology. En G. Stillman, W. Blum y M.S. Biembengut (eds.), *Mathematical Modelling in Education, Research and Practice. Cultural, Social and Cognitive Influences* (pp. 545-555). Nueva York, Estados Unidos: Springer. Recuperado de <http://www.springer.com/us/book/9783319182711>
- RODRÍGUEZ, R. y QUIROZ, S. (2015). Developing Modeling Competencies through the use of technology. En G. Stillman, W. Blum y M.S. Biembengut (eds.), *Mathematical Modelling in Education, Research and Practice. Cultural, Social and Cognitive Influences* (pp. 443-452). Nueva York, Estados Unidos: Springer. Recuperado de <http://www.springer.com/us/book/9783319182711>
- ROMO-VÁZQUEZ, A. (2014). La modelización matemática en la formación de ingenieros. *Educación Matemática*, 314-338. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/405/40540854016.pdf>
- SHANAHAN, M.C., CAROL-ANN, L.E. y FRANCIS, F. (2016). Using a Boundary Object Perspective to Reconsider the Meaning of STEM in a Canadian Context. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 16(2), 129-139. <http://dx.doi.org/10.1080/14926156.2016.1166296>
- SALINAS, P. y ALANÍS, J.A. (2009). Hacia un paradigma en la enseñanza del cálculo dentro de una institución educativa. *Revista Latinoamericana de Matemática Educativa*, 12(3), 355-382. México. Recuperado de <http://www.clame.org.mx/relime.htm>
- SALINAS, P., ALANÍS, J.A. y PULIDO, R. (2011). Cálculo de una variable. Reconstrucción para su enseñanza y aprendizaje. *DIDAC*, 56-57. México, Universidad Iberoamericana.
- SMITH, C. y CAMPBELL, S. (2011). *A First Course in Differential Equations, Modeling & Simulation*. Taylor & Francis.
- TECNOLÓGICO DE MONTERREY. (2005). *Visión misión 2015* (documentos del Sistema Tecnológico de Monterrey). Recuperado de <http://www.itesm.mx/2015/recursos/2015-Vision-Mision.pdf>
- TECNOLÓGICO DE MONTERREY. (2017). *Modelo Tec 21* (documentos del Sistema Tecnológico de Monterrey).
- WILLIAMS, D. (2007). The what, why, and how of contextual teaching in a mathematics classroom. *The Mathematics Teacher*, 100(8), 572-575.