

RETOS Y PRÁCTICAS DE LA FORMACIÓN MATEMÁTICA EN LAS ESCUELAS DE INGENIERÍA

Bertha Ivonne Sánchez Luján

Tecnológico Nacional de México/ IT Cd. Jiménez

EVOLUCIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS DE LAS ESCUELAS DE INGENIERÍA: RETOS DE LA PRÁCTICA DEL CURRÍCULUM INTEGRADO DE ÁREAS STEM Y DE LA FORMACIÓN DE PROFESORES

Ruth Rodríguez Gallegos

Tecnológico de Monterrey

Rafael Antonio Arana Pedraza

Instituto Tecnológico de Sonora

Alberto Camacho Ríos

Tecnológico Nacional de México/ IT de Chihuahua II

RELACIÓN DE LA MATEMÁTICA CON LAS CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

José Ismael Arcos Quezada

Universidad Autónoma del Estado de México

Adriana Atenea de la Cruz Ramos

Telesecundaria de la Secretaría de Educación del Estado de Chiapas

LA MODELACIÓN EN LA FORMACIÓN DEL INGENIERO. UN ESTUDIO SOBRE EL USO DE DINÁMICA DE SISTEMAS Y EL CÁLCULO

María del Pilar Esquer Zarate

Instituto Tecnológico de Sonora

Rodolfo David Fallas Soto

Departamento de Matemática Educativa del Cinvestav-IPN

Área temática: A.II) Educación superior y ciencia, tecnología e innovación.

Línea temática: 10. Formación profesional y para la investigación científica y tecnológica.

Resumen general del simposio: Se presenta un análisis de la forma en que se han enseñado las matemáticas en las escuelas de ingeniería y cómo se han incorporado elementos en esta práctica en las materias de ciencias básicas con las de ciencias de la ingeniería y las propias de cada especialidad ingenieril. Los cambios que se han dado en el currículo al incluir la ciencia y la tecnología han impactado en la formación de estos profesionales, y también en el perfil del profesor de las asignaturas de matemáticas, el cual tradicionalmente ha sido de profesionistas con una fuerte formación matemática que requieren de conocimientos y competencias didáctico matemáticas para fortalecer su práctica docente con el fin de aportar experiencias al currículo. Se exhibe, un recorrido histórico de la <distante> relación escolar de la matemática con las ciencias de la ingeniería, siendo la matemática un medio primordial en el modelado de sistemas físicos y naturales. La propuesta de este grupo gira en torno a la importancia de la modelación de casos prácticos, los cuales engloben varias disciplinas y muestren una real aplicación de la matemática escolar en la solución de problemas de la vida profesional, que incluyan avances tecnológicos y aporten al desarrollo de estrategias de enseñanza en la formación de futuros ingenieros.

Palabras clave: Formación de ingenieros, Matemáticas, Ciencias, Tecnología, Ingeniería.

Semblanza de los participantes en el simposio

Bertha Ivonne Sánchez Luján

Doctora en Matemática Educativa por Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional (CICATA-IPN). Profesora investigadora en TecNM: Instituto Tecnológico de Cd. Jiménez. Es miembro del Comité Latinoamericano de Matemática Educativa (CLAME), miembro del Consejo Mexicano de Investigación Educativa (Comie). Líder del Cuerpo académico reconocido por Prodep “Innovación Educativa y Matemáticas en Nivel Superior”. Investigadora anfitriona del “Verano de la Investigación Científica” avalado por la Academia Mexicana de Ciencias. Coordinadora del grupo Formación de Ingenieros desde la matemática educativa. Sus líneas de investigación versan sobre la enseñanza de la matemática a nivel de ingeniería.

Ruth Rodríguez Gallegos

Licenciada en Matemáticas por la Facultad de Físico-Matemáticas de la UANL, Maestra en Educación por el Tecnológico de Monterrey y Doctora en Matemáticas e Informática por la Universidad Joseph Fourier, en Grenoble, Francia. Profesora Asociada del Departamento de Ciencias del Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey. Investigadora en Matemática Educativa y Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y del Comité Latinoamericano de Matemática Educativa (CLAME). Sus principales intereses son la enseñanza y el aprendizaje de las Ecuaciones Diferenciales para futuros ingenieros mediante modelación y tecnología y el vínculo entre la Matemática Educativa y la Comunidad de Educación en Ingeniería.

Rafael Antonio Arana-Pedraza

Rafael Arana es Ingeniero Industrial y de Sistemas y Maestro en Matemática Educativa por el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON). Es estudiante de tercer año del Doctorado en didáctica de las ciencias, las lenguas, las artes y las humanidades por la Universitat de Barcelona, en la línea de investigación didáctica de las matemáticas y las ciencias experimentales. Actualmente se desempeña como Profesor de Tiempo Completo del Departamento de Matemáticas del ITSON, impartiendo asignaturas de matemáticas en el área de ingenierías y asignaturas en la Maestría en Matemática Educativa.

Alberto Camacho Ríos

Doctor en Matemática Educativa por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav-IPN). Profesor investigador del Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico de Chihuahua II. Su especialidad es la Enseñanza de la Matemática en el nivel de ingeniería. A lo largo de los últimos tres años realiza investigación sobre el Sistema de medición Mesoamericano, a través de las magnitudes de los monumentos prehispánicos que aún se conservan. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

José Ismael Arcos Quezada

Ingeniero Mecánico (UAEM), Maestro en Ciencias y Doctor en Ciencias (Matemática Educativa en CINESTAV IPN). Profesor de Tiempo Completo (área de Matemáticas) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México. Autor de libros para la enseñanza de las Matemáticas en Escuelas de Ingeniería (Cálculo infinitesimal, Geometría Analítica y Cálculo multivariable para estudiantes de ingeniería). Coautor de libros para formación de profesores de matemáticas (Desarrollo Conceptual del Cálculo y Desarrollo Conceptual de la Geometría). Miembro del Grupo Formación de Ingenieros desde la Matemática Educativa.

Adriana Atenea de la Cruz Ramos

Licenciada en Ingeniería Civil, Maestra en Ciencias con Especialidad en Matemática Educativa y Maestra en Ingeniería con especialidad en Calidad del Agua; estudios realizados en la Universidad Autónoma del Estado de Chiapas (UNACH). Actualmente se desempeña como profesora de tiempo completo en la modalidad de Telesecundaria de la Secretaría de Educación del Estado de Chiapas. Los trabajos realizados en modelación han sido en torno a su desempeño como profesora en nivel superior en la carrera de Ingeniería Civil y en el nivel Medio Superior, retomando el análisis de determinados fenómenos naturales y vincularlos con asignaturas como física y matemáticas.

María del Pilar Esquer Zárate

María del Pilar Esquer es Ingeniera Industrial y de Sistemas y Maestra en Matemática Educativa por el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON). Aspirante para el Doctorado en Ciencias Educativas en el Instituto de Investigación y Desarrollo Educativo de la Universidad Autónoma de Baja California. Actualmente se desempeña como Profesora de Tiempo Completo del Departamento de Matemáticas del ITSON, impartiendo asignaturas de matemáticas en el área de ingenierías y ciencias administrativas.

Rodolfo David Fallas Soto

Estudiante de doctorado en Matemática Educativa del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Maestro en Ciencias en la misma especialidad y misma institución. Es Licenciado en Enseñanza de la matemática por la Universidad de Costa Rica. Ha realizado estancias académicas en el Tecnológico de Monterrey, México, a cargo de la Dra Ruth Rodríguez y en Paris Diderot (Paris VII), Francia, a cargo de la Dra Michèlle Artigue. Forma parte del Comité Latinoamericano de Matemática Educativa (CLAME). En el 2017 obtuvo el premio Latinoamericano Simón Bolívar a la mejor tesis de maestría. Sus principales intereses son la enseñanza y ecuaciones de las ecuaciones diferenciales, modelación y transversalidad de prácticas.

TEXTOS DEL SIMPOSIO

EVOLUCIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS DE LAS ESCUELAS DE INGENIERÍA: RETOS DE LA PRÁCTICA DEL CURRÍCULUM INTEGRADO DE ÁREAS STEM Y DE LA FORMACIÓN DE PROFESORES

Ruth Rodríguez Gallegos, Rafael Antonio Arana-Pedraza

El presente texto tiene como intención poner en la mesa de diálogo el tema de la manera en que actualmente está evolucionando la manera de enseñar las ciencias en las escuelas de ingeniería. En particular, nos interesa comentar sobre el aprendizaje y enseñanza de las Matemáticas en estas escuelas. Desde hace tiempo atrás, se ha visto como una constante el repensar la enseñanza de las matemáticas en cuanto el enfoque a los futuros ingenieros quienes serán ante todo usuarios de la matemática por lo que un enfoque muy tradicional centrado sobre los objetos matemáticas empezó desde hace años a carecer de valor como lo muestran diversas investigaciones desde los años 90's. Ya entrado el siglo XXI y frente a diversos retos de los nuevos tiempos, cada vez se hizo más evidente una nueva necesidad de formar a los jóvenes con competencias del siglo XXI, y pensando en una comunidad muy precisa como lo son los ingenieros estas nuevas competencias empiezan a tomar cada vez más valor sobre las competencias disciplinares. Diversos autores (Bourn and Neal, 2008) muestran como es muy importante el desarrollar no solo competencias de tipo disciplinar, que siguen siendo muy valiosas, pero igualmente de naturaleza genérica (también conocidas como habilidades genéricas o suaves) tales como pensamiento holístico, pensamiento crítico, manejo de la incertidumbre, habilidades de uso de tecnología, de comunicación y de escucha, entre otras. Aunado a esto se ha visto a nivel mundial el repensar de las escuelas de ingeniería hacia una visión 2020 (National Academy of Engineering, 2005) o incluso ahora 2030 por lo que más que nunca esta discusión debe ser sostenida en el grupo de profesores investigadores que se cuestionan la naturaleza del conocimiento matemático para una comunidad como lo son los ingenieros en formación. Por ejemplo, nos gustaría resaltar el trabajo que expone English (2016) en el cual habla justamente de la importancia de cambiar a un currículum integrado de las ciencias, tecnología, ingeniería y sobre todo matemáticas (STEM, en sus siglas en inglés) alrededor de la necesidad de resolver problemáticas reales en los alumnos de diversos niveles educativos, en especial, desde kinder hasta pre-universitario. Ella señala dos cuestiones: la primera sobre la diversidad de enfoques desde la disciplinariedad, multidisciplinariedad, la interdisciplinariedad y finalmente la transdisciplinariedad (como objetivo final a alcanzar, ver tabla 1). Consideramos que este enfoque corresponde al currículum integrado citado en otras investigaciones.

Tabla 1: Citada en English (2016) quien la adapta de Vázquez et al. (2013).

FORMAS DE INTEGRACIÓN	CARACTERÍSTICAS
DISCIPLINARIA	CONCEPTOS Y HABILIDADES SON ENSEÑADAS DE MANERA SEPARADA EN CADA DISCIPLINA
MULTIDISCIPLINARIA	CONCEPTOS Y HABILIDADES SON ENSEÑADAS DE MANERA SEPARADA EN CADA DISCIPLINA PERO CON UN TEMA EN COMÚN
INTERDISCIPLINARIA	CONCEPTOS Y HABILIDADES SON ENSEÑADAS CERCAMENTE RELACIONADAS EN DOS O MÁS DISCIPLINAS CON EL OBJETIVO DE PROFUNDIZAR EN ESTOS CONCEPTOS Y HABILIDADES.
TRANSDISCIPLINARIA	CONCEPTOS Y HABILIDADES DE DOS O MÁS DISCIPLINAS SON APLICADAS EN PROBLEMAS Y PROYECTOS REALES; AYUDANDO A DAR FORMA A LA EXPERIENCIA DE APRENDIZAJE.

El segundo punto que retomamos de su trabajo es la advertencia de que en esta integración de las cuatro áreas STEM pareciera que las Matemáticas pasan a un segundo plano en la importancia de las 4 áreas, sobre todo en palabras de la autora, la M en el acrónimo STEM parece ser minúscula al ver que en muchas ocasiones las investigaciones reportadas al integrar las disciplinas con la intención de resolver una problemática real específica. Para ello justo nos explica en el ámbito universitario de la ingeniería desde hace muchos años (más de dos décadas ya) esta integración se ha visto presente en diversas escuelas a nivel y resalta la importancia de reflexionar sobre cómo vigilar que el papel de la Matemática sea de importancia y prioritario. Esta idea ya había sido previamente trabajado igual por otras investigaciones como Fitzallen (2015).

Lo que consideramos importante es hacer ver como la enseñanza de las ciencias ha estado fuertemente arraigada en una visión muy disciplinaria y en los últimos años esfuerzos muy particulares de innovación educativa han estado empujando en ligar a las Matemáticas a otras disciplinas de manera de apoyar al alumno a ver la importancia de ésta en otras disciplinas. Solo que esa unión tiene justamente diferentes niveles como los explica English. Vienen ejemplos donde hemos usado a las Matemáticas en otras áreas sin haber realmente una vinculación “real” y se usa más bien el contexto (historia y matemáticas; física y matemáticas, biología y matemáticas) como un pretexto para darle contexto sin hacer una fusión real.

Nos adentramos ahora al contexto que nos interesa ejemplificar del Tecnológico de Monterrey, una institución privada del noreste de México la cual desde 1995 ha iniciado a evolucionar sus planes de estudio sobre todo en ciencias en esta dirección preocupados por una formación de ingenieros más adecuada. Es una red de multicampus que tiene actualmente 31 campus por todo el país. Estudios mostrados en Domínguez (2018) muestran esfuerzos institucionales aislados en relacionar dos materias como Física y Matemáticas al fusionar un curso de Física I y Matemáticas I para Ingeniería (Cálculo Diferencial) en uno solo, y lo llamand FIS-MAT I. Los autores muestran en su escrito las bondades pero sobre todo los retos de tal integración. Estos esfuerzos duraron varios años, impactando sobre todo a carreras como I2D (Ingenieros en Innovación y Desarrollo) e IFI (Ingeniero Físico Industrial) y algunos otros alumnos voluntarios que se animaron a probar la propuesta didáctica, sin embargo este esfuerzo fue aislado, impacto a unos 6 profesores en Campus Monterrey solamente; este enfoque mostrado en este trabajo es la parte de enfoque interdisciplinario en el enfoque de English (2016). Actualmente desde el año 2017 se está

trabajando en la implementación del Modelo Tec 21 (Tecnológico de Monterrey, 2018) el cual propone a partir de agosto 2019 (en unos meses más) el implementar más un enfoque transdisciplinario donde en unidades de formación académica llamadas materias (en el esquema que ya estamos más familiarizados) y un nuevo ente llamado Bloque. El bloque es un elemento que está centrado en una problemática real que llamamos un reto (problema real de interés social) y al menos 3 contenidos disciplinares de física, matemáticas y computación (organizados en módulos) para impartir contenidos disciplinares, procedimentales y actitudinales para abonar a este reto; en un enfoque más transdisciplinario como lo establece English (2016). Es complicado decir en este momento que se escribe (abril 2019) ya que el modelo se implementa en agosto pero desde octubre 2017 a la fecha se ha iniciado un esfuerzo nacional en los 31 campus y a nivel desde la directiva de este cambio y es posible en este simposio el dar testimonio de todas las implicaciones positivas desde lo académico pero no tan positivas desde lo administrativos/operativo de este proceso. Esto es parte de lo que se desea compartir en el simposio desde el enfoque de lo que esto implica para la formación matemática de los futuros ingenieros. Sin duda alguna los aportes positivos de esta parte son muy evidentes pero además poner a la mesa los retos que implicaría para la comunidad de profesores e investigadores en la formación de ingenieros. Otro tema muy valioso es el enfoque de cómo esto impacta la parte de formación de profesores de matemáticas que no han estado tan familiarizados con un enfoque más instrumental de la matemática. Sobre este tema nos permitimos exponer en este apartado referencias previas sobre formación de profesores en ingeniería y los hallazgos previos que se han tenido.

Conocimientos y competencias didáctico-matemáticas del profesor de matemáticas en ingeniería

En diversas investigaciones se ha encontrado que la formación de los estudiantes de nivel medio superior y superior ha recaído en diferentes profesiones distintas de un perfil orientado a la enseñanza-aprendizaje o didáctica de las matemáticas, es decir, profesionistas que si bien tiene una fuerte formación en la materia existe un área de oportunidad en la parte de la enseñanza-aprendizaje (Beneitone et al., 2007; Dolores, 2014; Fonseca, 2011). Esto podría tener su origen en las decisiones tomadas para disminuir los estándares de selección durante la escasez de profesores que se dio al el crecer el número de estudiantes en el nivel superior, lo que ha contribuido a una tendencia de tener personal sin una preparación adecuada al frente de la educación en las aulas de clases (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2015). Por ejemplo, de acuerdo con la Coordinación Nacional para la Planeación de la Educación Superior (1981) en México entre los años 1970 y 1980 el alumnado del nivel superior incrementó en una tasa promedio de 12.5%, provocando que la razón de jóvenes que estudiaban este nivel incrementara de uno de cada veinte a uno de cada ocho al término de esa década, desencadenando una necesidad de mayor personal al frente de las aulas de educación superior.

De acuerdo con los resultados de la investigación realizada por Camarena (2004) una minoría de los docentes que imparten clases en el nivel superior tienen la formación profesional para la docencia. La autora analiza estos resultados desde una perspectiva global de los niveles educativos en México: en el

caso del nivel básico los profesores reciben una mayor preparación en la docencia a través de su formación en escuelas normales o la Universidad Pedagógica Nacional. En contraste con lo anterior, establece que para los niveles medio superior y superior solo una minoría de los profesores son formados para dar clases, donde el académico por lo general es un profesionalista que por vocación o por algunas otras razones ha terminado en el aula de clase.

A través del tiempo, la concepción de profesor de matemáticas ha ido evolucionando hasta convertirse en un profesionalista que combina elementos de la matemática y de su didáctica para poder realizar sus actividades; lo cual ha llevado a pensar que la formación de este no debería de ser una o la otra, sino que deberá estar compuesta por elementos de ambas áreas del conocimiento (Larios y Font, 2014).

La formación de ingenieros y el perfil del profesor de matemáticas en ingeniería

La ingeniería es uno de los campos que mejor representan la utilización de las matemáticas, pero es deseable tener cuidado en la práctica docente para concretar la formación en el ingeniero, fomentando que adquiera unas competencias específicas, para que en el área real de trabajo pueda traducirse en realizar diferentes tareas como: diseñar ideas, dispositivos, sistemas, mecanismos, dar soluciones y alternativas, entre otras. En este sentido, el profesor de matemáticas en ingeniería debe conocer esta área para poder generar una serie de acciones que permitan formar esas competencias (Mendible & Ortiz, 2007).

La formación matemática en los estudiantes del área de ingeniería representa una parte primordial de su educación debido a las herramientas que les proporciona en los procesos de modelación de las situaciones problemáticas que enfrentan a lo largo de su formación y su vida profesional. Para que el estudiante logre desarrollar estas competencias, es necesario que cursen un número determinado de asignaturas de matemáticas, los cuales son conducidos por los profesores universitarios quienes estructuran dichos cursos, por lo que el análisis de su práctica docente adquiere una gran importancia de estudio dentro del campo de la didáctica de la matemática (Chávez, 2008).

En México, el Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería (CACEI) es un organismo nacional que tiene como objetivo promover que las instituciones de educación superior ofrezcan educación de calidad a los futuros egresados, mediante la acreditación de los programas educativos en el área de las ingenierías (Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería [CACEI], s.f.). CACEI establece un marco de referencia que brinda directrices que incorporaran las tendencias y estándares establecidos tanto en acuerdos nacionales como internacionales sobre los programas educativos en el área de las ingenierías. En este marco de referencia se señala que dentro de la formación de ingenieros es necesaria una formación en las ciencias básicas incluyendo áreas como Matemáticas, Física y Química dedicando al menos 800 horas de formación bajo la supervisión de un académico como contenidos mínimos requeridos en los programas educativos. Para el caso de Matemáticas, considera asignaturas como: Álgebra, Álgebra lineal, Cálculo diferencial, Cálculo integral, Ecuaciones diferenciales, Probabilidad y Estadística y Análisis numérico y Cálculo avanzado (CACEI, 2017)

Dentro del mismo documento, con respecto al profesor de matemáticas en ingeniería, indica que:

“Los profesionales que participan como académicos en el programa son suficientes y pertinentes, tienen una combinación adecuada de formación académica y profesional; tienen una distribución adecuada de actividades sustantivas, son evaluados y apoyados para su superación y se involucran en la adecuación del Plan de Estudios” (CACEI, 2017, p. 29)

Tomando en consideración lo que se plantea en los apartados anteriores, surge la siguiente interrogante que se presenta como eje central de esta investigación:

¿Qué conocimientos y competencias didáctico-matemáticas necesita el profesor de matemáticas en ingeniería?

Estos conocimientos y competencias didáctico-matemáticas no necesariamente son las que el profesorado que se encuentra inmerso en el sistema educativo actual tiene, por lo tanto, deberá ser analizado a detalle cuáles son los conocimientos y competencias didáctico-matemáticos del profesor de matemáticas en activo, con el fin de poder diseñar lineamientos o estrategias destinadas a incidir en su desarrollo profesional docente.

A manera de acotar, específicamente, se revisan aquellos conocimientos y competencias didáctico-matemáticos referentes al estudio de los sistemas de ecuaciones lineales (SEL), en una asignatura de matemáticas del bloque de ciencias básicas en ingeniería, que necesitan profesores de matemáticas que laboran en escuelas de ingeniería.

El referente teórico que enmarca la investigación es el modelo del Conocimiento y Competencias Didáctico-Matemáticas (CCDM) que se desarrolla en el Enfoque Ontosemiótico de la Instrucción y el Conocimiento Matemático (EOS). Tomando en cuenta el modelo CCDM se plantea como objetivo general de la investigación: Caracterizar la competencia general de análisis e intervención didáctica para el profesor de matemáticas en ingeniería.

Para cumplir este objetivo, se divide la investigación en cuatro etapas: revisión de documentos curriculares y libros de texto, investigación de campo, integración y síntesis de la información obtenida, y establecimiento de pauta para un programa de desarrollo profesional docente. Se presentan avances con respecto a las dos primeras etapas del proyecto.

Algunas reflexiones

Con respecto al profesor de matemáticas en ingeniería se puede observar, conforme a lo que se reportan en la literatura, que los perfiles profesionales de quienes imparten clases en esta área pudieran tener carencias en cuanto a su formación en el ámbito de la didáctica de las Matemáticas. Además, con

respecto a la formación de ingenieros, se percibe que las competencias de resolución de problemas y modelación matemática serán componentes que deberán formar parte de las competencias que debe de tener el profesor de matemáticas en ingeniería.

En términos del proyecto de investigación que se realiza con respecto a la primera etapa, como se reporta en Arana-Pedraza, Ibarra y Font (2019), se observa que la organización del programa educativo es de acuerdo con lo que establece CACEI, identificando bloques de Formación Básica y Especialización. Dentro del primer bloque se encuentran las materias con respecto a matemáticas integradas al programa de Ciencias Básicas.

Una de las observaciones que resultan más interesantes es que la modelación de problemas en el contexto del quehacer del ingeniero pareciera no tener un papel preponderante en los sistemas de prácticas que se promueven, al ser relegado hasta considerarse como un requerimiento de información y no la parte medular de la competencia que desarrolla. Además de lo que se observa en los documentos que brindan directrices curriculares, la actividad del profesor en el aula de clase permite observar qué papel juega la modelación de situaciones problema en contextos extra-matemáticos en la práctica docente de los sujetos de estudio.

Posteriormente, se lleva a cabo un proceso de observación y videograbación de la práctica docente de profesores de matemáticas que laboran en una institución de educación superior que brinda formación a estudiantes en programas educativos del área de ingeniería en México. La investigación se realiza bajo el enfoque de investigación cualitativo, siguiendo el método del estudio de casos. Como técnica de recolección de información se lleva a cabo un proceso de observación y videograbación de clases durante nueve sesiones de clase con duración de una hora.

A partir del análisis de la práctica operativa y discursiva puesta en juego en el salón de clases, se observa que los profesores realizan tareas matemáticas como identificar los diferentes tipos de SEL con base en características como la gráfica (en el caso de los SEL 2×2) y resolver SEL por métodos algebraicos; a partir de estas prácticas se infiere que los profesores poseen un conocimiento matemático común debido a que estas tareas matemáticas son parte de lo que estudiantes deben desarrollar en el curso.

Los profesores utilizan diferentes métodos para resolver situaciones que se presentan en el salón de clases. Además, reconocen la importancia de los conocimientos previos, por ejemplo, otros métodos de solución de SEL (igualación, sustitución, reducción) y ubica su estudio en asignaturas previas al Álgebra Lineal. En estas prácticas se pueden distinguir conocimientos del profesor relacionados con las diferentes facetas como la epistémica, cognitiva y ecológica.

Conclusiones del texto 1

Sin duda alguna un cambio que impondrá otra dinámica en la formación de las ciencias y una invitación forzada a un grupo como este que escribe sobre la importancia de una reflexión del enfoque de las matemáticas en los años a venir.

Referencias

- Arana-Pedraza, R.A., Ibarra, S.E. & Font, V. (2019). *Conocimientos y Competencias Didáctico-Matemáticas del profesor de matemáticas en ingeniería: un primer acercamiento*. XV CIAEM-IACME, Medellín, Colombia.
- Beneitone, P., Esquetini, C., González, J., Marty, M., Siufi, G., & Wagenaar, R. (Eds.). (2007). *Reflexiones y perspectivas de la Educación Superior en América Latina: informe final, proyecto tuning*. España: Publicaciones de la Universidad de Deusto. Recuperado a partir de <http://tuning.unideusto.org/tuningal>
- Bourn, D. & Neal, I. (2008). *The Global Engineer: Incorporating Global Skills within UK Higher Education of Engineers*. Recuperado de: <http://eprints.ioe.ac.uk/839/1/Bourn2008Engineers.pdf>
- CACEI. (2017). Marco de Referencia 2018 del CACEI en el Contexto Internacional (Ingenierías). Recuperado a partir de http://cacei.org.mx/docs/marco_ing_2018.pdf
- CACEI. (s.f.). ¿Quiénes somos? Recuperado el 11 de junio de 2017, a partir de <http://cacei.org.mx/nvfs/nvfs01/nvfs0101.php>
- Camarena, P. (2004). La formación de los profesores de las ciencias básicas en el nivel superior. *Científica*, 8(1), 35–44.
- Chávez, D. G. (2008). Rasgos de la práctica docente sobresaliente en los cursos de Matemáticas para ingeniería. *UNIÓN, Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, (14), 49–60.
- Coordinación Nacional para la Planeación de la Educación Superior. (1981). Plan nacional de educación superior para el Periodo 1981-1991. *Revista de la Educación Superior ANUIES*, 10(39).
- Dolores, C. (2014). La formación profesional de los profesores de matemáticas. En C. Dolores, M. del S. García, J. A. Hernández, & L. Sosa (Eds.), *Matemática Educativa: la formación de profesores* (Primera edición, pp. 15–27). México: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Dominguez, A., Hernandez-Armenta, I. y De la Garza, J. (2018). Towards a Full Integration of Physics and Math Concepts: The Path Full of Traps. Proceedings of the 2018 ASEE Annual Conference & Exposition.
- English, L. (2016). STEM Education K12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education* 3(3). DOI 10.1186/s40594-016-0036-1
- Fitzallen, N. (2015). STEM Education: What Does Mathematics Have To Offer? In M. Marshman, V. Geiger, & A. Bennison (Eds.). *Mathematics education in the margins* (Proceedings of the 38th annual conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia), pp. 237–244. Sunshine Coast: MERGA.
- Fonseca, C. (2011). *Reforma integral de la educación media superior*. *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*, (13), 44–52.
- Larios, V., & Font, V. (2014). El estudio de la práctica docente para un diseño de formación para profesores de Matemáticas. En C. Dolores, M. del S. García, J. A. Hernández, y L. Sosa (Eds.), *Matemática Educativa: la formación de profesores* (Primera edición, pp. 223–239). México: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Mendible, A., & Ortiz, J. (2007). Modelización Matemática en la Formación de Ingenieros. La Importancia del Contexto. *Enseñanza de la Matemática*, 12, 133–150.
- National Academy of Engineering. (2005). *Educationg the Engineering 2020. Adapting Engineering Education to the New Century*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11338>
- Tecnológico de Monterrey. (2018). Modelo Tec 21. <https://tec.mx/en/model-tec21>
- UNESCO. (2015). Incheon Declaration and SDG4 – Education 2030 Framework for Action. Recuperado a partir de <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002456/245656E.pdf>
- Vasquez, J., Sneider, C., & Comer, M. (2013). *STEM lesson essentials, grades 3–8: integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Portsmouth, NH: Heinemann.

RELACIÓN DE LA MATEMÁTICA CON LAS CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

José Ismael Arcos Quezada, Adriana Atenea de la Cruz Ramos

Matemáticas en la formación de ingenieros

Desde el siglo XVIII –época en la que comenzó a ofrecerse en Francia una instrucción especialmente dirigida a aquellos que deseaban ejercer la ingeniería–, ha existido una notable diversidad de opiniones respecto de cuáles han de ser las actividades del ingeniero, y, por consiguiente, respecto de cómo debe ser su formación escolar, en la que, por supuesto, se incluye a las matemáticas.

Esta situación ha persistido durante más de doscientos años, de manera que, actualmente, en las instituciones de enseñanza superior que ofrecen carreras de ingeniería, aún se observan algunos problemas que, podría decirse, han sido heredados históricamente. Podemos identificar algunas de estas situaciones, referentes al perfil profesional del ingeniero y a las actividades que le son propias, en el artículo de Langins (1991) en el que analiza la obra de Bélidor, particularmente “La Ciencia de los ingenieros”. Por ejemplo, respecto de la importancia de la matemática en la ingeniería, nos dice que:

[Bélidor] quiere que esta disciplina se vuelva más matemática; más exactamente, quiere que el lenguaje de la ingeniería sea algebraico. La matemática no sólo debe aportar las reglas de la ingeniería sino también su lenguaje. Nos dice que él habría prescindido del álgebra de haber podido, pero le resulta imposible; las reglas de la ciencia únicamente pueden ser entendidas por quienes hablan y comprenden este lenguaje.

Observemos que, en ese momento, la intención de introducir el álgebra como herramienta imprescindible para el ingeniero. Ello, sin embargo, iba en contra de lo que los ingenieros (en ejercicio) pensaban, tal como lo observa Langins, haciendo referencia a un ingeniero contemporáneo de Bélidor:

[...] el ingeniero Bouchotte [...] opinaba que [...] la esencia real del trabajo de un ingeniero, era la administración de proyectos y el mantenimiento y se quejaba de que Bélidor no había tratado satisfactoriamente esos aspectos.

Aquí puede observarse esa tensión entre dos visiones de la ingeniería totalmente opuestas, la primera, en la que la ingeniería es una especie de “ciencia aplicada” y la segunda, en la que la actividad del ingeniero adquiere un carácter más bien orientado a aspectos administrativos. Ello implica, a su vez, dos visiones de la matemática en la formación escolar de los ingenieros, en particular acerca del “nivel” con el que se presentan los conceptos matemáticos en la escuela. Langins lo explica haciendo referencia a Taton, un historiador de la ciencia:

El nivel de la enseñanza de las matemáticas era elevado, quizá más alto que en cualquiera otra institución del mundo en aquella época. No obstante, es preciso tener en cuenta dos puntos. Primero, el que los profesores de

matemáticas no eran los únicos ni eran los únicos ni eran los más importantes en esa escuela militar, a pesar de que la admisión se basaba en un examen muy estricto en esa disciplina [Taton 1964]. El jefe de la escuela era un oficial militar y, junto con las matemáticas, los oficiales de ingeniería enseñaban la fortificación práctica. La mayor parte de ellos había adquirido sus conocimientos a partir de su experiencia práctica en lugar de una instrucción formal y no tenían una buena opinión de los profesores de matemáticas ni desde el punto de vista profesional ni del social [Taton, 1947].

Desde entonces, como vemos, se manifestaba esa tensión entre profesores de matemáticas y de aquellos ingenieros que imparten los cursos al final de la carrera.

Ahora bien, en una situación más reciente (fines del siglo pasado), en el ámbito latinoamericano, respecto de la formación escolar de los ingenieros.

Antes cabe mencionar que parece existir un cierto consenso en cuanto a los propósitos generales de la formación matemática del ingeniero, y esto parece ocurrir desde hace tiempo, aunque recientemente comienzan a manifestarse opiniones en un sentido diferente. Así, en el número único del año 1993, la Revista Iberoamericana de Enseñanza de Ingeniería, dedicado especialmente a estos asuntos, Letelier, al hablar de los propósitos de las Matemáticas en la formación escolar de los ingenieros, indicaba que:

...En los que a los objetivos educativos propios de la Matemática se refiere, existe un amplio consenso en considerar a ésta como una disciplina que desarrolla una manera rigurosa y abstracta de razonar y que, al mismo tiempo, aporta elementos instrumentales en el trabajo profesional mismo. Es decir, la Matemática sería a la vez formativa y operativa (Letelier, 1993).

Observemos que se señala, en primer término, que la matemática en las escuelas de ingeniería ayuda a los alumnos a desarrollar un pensamiento racional y, en segundo, que lo dota de una herramienta para su actividad profesional. Más adelante, el autor abunda en estas cuestiones al señalar, respecto del desarrollo del pensamiento racional, que:

[se considera que] la Matemática es un recurso esencial de desarrollo intelectual general. La comprensión y manejo de conceptos tales como límites, derivadas, representaciones geométrico-diferenciales, estructuras algebraicas, matrices, variables complejas, gradiente, rotor, laplaciano, etc., etc., generan un estilo de pensamiento lógico riguroso y científico.

Mientras que, respecto de las cuestiones instrumentales afirma, que:

La Matemática es un recurso fundamental para modelar sistemas físicos y naturales en general. Esta propiedad permite comprender y aplicar fenómenos complejos, cuyas relaciones de causa y efecto son expresadas a través de principios, leyes y fórmulas matemáticas.

Así pues, se consideraba desde entonces que en la Ingeniería la Matemática puede integrarse a la Ciencia y contribuir así al desarrollo de la Tecnología. Sin embargo, sabemos que los cursos de matemáticas aparecen tradicionalmente en forma separada de los de ciencias de la ingeniería y siempre antecediéndolos, de manera que, en los cursos de matemáticas, en los primeros dos años de la formación escolar, se atiende básicamente el primero de los propósitos antes mencionados, presentando las matemáticas desprovistas del contexto de las ciencias de la ingeniería.

Al parecer se ha supuesto que, al haber aprendido la matemática en un contexto riguroso, los alumnos fácilmente identificarán el rol de los conceptos matemáticos en el estudio de las ciencias y, eventualmente, en la actividad profesional. Esta manera de pensar corresponde a la llamada Concepción idealista platónica de la Educación Matemática, según la cual «[se] considera que el alumno debe adquirir primero las estructuras fundamentales de las matemáticas de forma axiomática. Se supone que, una vez adquirida esta base, será fácil que el alumno por sí solo pueda resolver las aplicaciones y problemas que se le presenten.» (Godino, Batanero y Font, 2003).

Sin embargo, la experiencia en las aulas, así como señalamientos de historiadores, divulgadores y educadores de la Matemática nos dicen que eso está lejos de ocurrir, por lo que habría que disminuir la importancia de la búsqueda de un desarrollo de un pensamiento racional, dando en cambio más atención al desarrollo de la intuición, la innovación, la capacidad de estimación, la modelación matemática y la resolución de problemas.

Por otra parte, Letelier hacía algunas críticas a la educación matemática (escolar) de los ingenieros, de acuerdo con lo que el observaba entonces. En la primera de tales críticas, señalaba que:

Se extrema el énfasis en el objetivo de desarrollo de pensamiento formal, es desmedro del objetivo que asocia la Matemática al modelado de la realidad.

Si observamos los textos de matemáticas utilizados para la enseñanza en las escuelas de ingeniería, veremos que la crítica de Letelier continúa vigente, y es que tradicionalmente se eligen los cursos de matemáticas por materia. Se decide si se imparte o no, por ejemplo, un curso de cálculo diferencial (en una variable), pero los contenidos son los habitualmente incluidos en el mismo y se imparten en el orden y con la profundidad con la que ha ocurrido desde hace cuatro o cinco décadas. En el mejor de los casos ocurren pequeños cambios, en consideración de la mayor disponibilidad actual de la tecnología.

Por otra parte, y esta es una situación presente, tanto en los cursos de matemáticas como en los de ciencias de la ingeniería, la evaluación de los aprendizajes se apoya fuertemente en la resolución de problemas “de libro de texto”, los cuales difícilmente serán como aquellos que los ingenieros afrontarán en su actividad profesional. Al respecto, Letelier indicaba que:

La enseñanza matemática, por otra parte, exhibe la tendencia apoyarse en la solución de problemas. Este entrenamiento es útil, pero en la realidad profesional rara vez los problemas aparecen formulados. Se requiere una etapa previa de formulación o modelado que no es habitualmente considerado en la enseñanza de la Matemática.

Transposición didáctica invertida

A partir de las últimas décadas del siglo pasado, se han desarrollado marcos teóricos y estableciendo conceptos y principios alrededor de la problemática de la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas en la escuela. Dependiendo del lugar en el que estas actividades tienen lugar, puede hablarse de disciplinas como Didáctica de las Matemáticas, Educación Matemática o Matemática Educativa, y en cada una de ellas se han venido realizando un sinnúmero de trabajos de investigación con el propósito principal de obtener mejores aprendizajes de la matemática en las escuelas.

En poco menos de medio siglo se ha transitado de una situación en la que los problemas de aprendizaje de las matemáticas ni siquiera eran considerados de manera particular, a otra en la que existen diferentes corrientes de pensamiento, estudiando la problemática desde su propia perspectiva.

Al mismo tiempo se han venido proponiendo diversos modelos educativos, entre los que destaca el basado en competencias, el cual se ha adoptado plenamente en la comunidad europea y se ha intentado adaptar o imponer en algunas regiones geográficas como la nuestra, sin que hasta ahora se hayan conseguido los resultados deseados.

Abordaré un poco esta situación, haciendo referencia, primeramente, al Reporte *EduTrends*, de octubre de 2015, del Observatorio de Innovación Educativa del Tecnológico de Monterrey, el cual se refiere al *Aprendizaje basado en retos*, uno de los varios acercamientos pedagógicos, propuestos recientemente. Al indicar “hacia dónde se dirige esta tendencia”, se menciona que:

Una tendencia creciente en la educación actual, es el llamado modelo *Just in time learning* (Aprendizaje justo a tiempo). Esta tendencia ha sido motivada por el desarrollo de competencias como búsqueda y selección de información, pensamiento crítico y solución de problemas, tal como ocurre en escenarios laborales reales. Con este modelo, se ha cuestionado la necesidad de almacenar información que quizás pueda ser útil en el futuro (*Just in case learning*).

En coincidencia con otras propuestas pedagógicas, se señala (como lo hiciera la UNESCO, 2007) la imposibilidad de que un estudiante adquiera, durante su formación escolar, todo aquel conocimiento que, eventualmente pudiera serle útil en su actividad profesional.

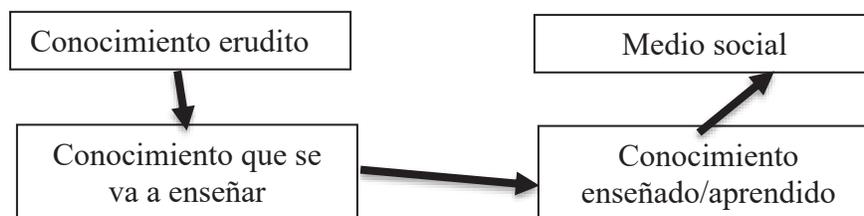
Ahora bien, respecto del cómo hacer para que el alumno adquiera todas esas competencias, encontramos coincidencias en las diversas propuestas existentes, las cuales pueden describirse como la “inversión del sentido” del recorrido de los conceptos en la educación.

Veamos, en “Las competencias en la educación. Un balance” Denyer y otros (2004), en referencia al Decreto de Misiones (1997, comunidad francesa de Bélgica) hacen un balance, luego de algunos años de trabajar (en el nivel básico) con un modelo educativo basado en competencias.

Al hablar de cómo enseñar en términos de competencias, los autores hacen una descripción de este cambio de sentido, a partir del concepto de transposición didáctica de Yves Chevallard:

Según el principio de la “transposición didáctica”, desarrollado por Yves Chevallard —o al menos, según lo que de él se ha conservado en la enseñanza—, en una pedagogía tradicional, un profesor que prepara sus lecciones parte de unos conocimientos “eruditos” para adaptarlos al nivel de sus alumnos, es decir, para transformarlos en conocimientos “que se puedan enseñar”, esperando que después del curso esos conocimientos “enseñados” se hayan convertido en conocimientos... “aprendidos” y utilizados en las prácticas profesionales o ciudadanas, como en las de la vida diaria y personal: dicho de otra manera, en lo que se llama las “prácticas sociales”

Figura 1: Transposición didáctica en el sentido tradicional



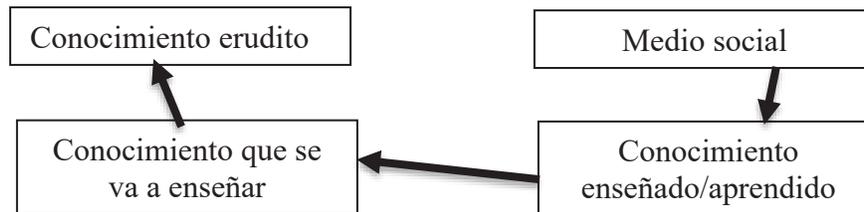
Para transponer los conocimientos cultos en conocimientos que se van a enseñar, el profesor *selecciona* los conocimientos (no da todos los conocimientos sobre un tema), los *simplifica*, tanto conceptual como lingüísticamente, y los *programa* (organiza las secuencias según un orden, por ejemplo, de lo más sencillo a lo más complicado). En seguida, comunica el resultado de su transposición a los alumnos, esperando que éstos lo asimilarán y que, a la postre, el resultado del aprendizaje sea aplicado a la vida real.

[...] Ahora bien [...] el objetivo prioritario asignado ahora a los alumnos ya no es restituir la materia o resolver ejercicios de aplicación relativos a los conocimientos previamente enseñados, sino enfrentarse desde la escuela a tareas. Por consiguiente, según M. Rominville

El enfoque por competencias invierte la corriente [...] el punto de partida de la reflexión didáctica se sitúa del lado de las situaciones sociales de movilización de lo que se ha adquirido en la escuela. Los objetivos de

formación ya no se describen en términos de conocimientos sino en términos de actividades, de tareas que el alumno deberá poder enfrentar [...] Forzando un poco las cosas, el recorrido didáctico se efectúa, respecto del esquema clásico, en el otro sentido

Figura 2: Transposición didáctica en el sentido inverso



En el caso de la enseñanza de las matemáticas en las escuelas de ingeniería, esta inversión de sentido implicará varias cosas. De acuerdo con esto, en lugar de partir de una lista de contenidos, como en el modelo tradicional, se partirá de las prácticas de la ingeniería, reconociendo ahí qué matemáticas son necesarias y cómo deberán ser presentadas a los alumnos para que, como se espera, estén directamente implicadas en la actividad profesional.

De esta manera, no deberán incluirse temas o conceptos que no puedan justificarse, es decir, que no resulten necesarios para entender, modelar o explicar situaciones que se dan en la actividad profesional o que no ayuden a resolver los problemas que se presenten como resultado de esa modelación.

De esta manera, al menos momentáneamente, en cada institución educativa debe “combinarse” el modelo pedagógico que haya sido adoptado (o adaptado) con aquel con el que se haya estado trabajando, en el que se partía de una lista de temas. Es prácticamente seguro que cada escuela se enfrente a este problema, si decide modificar sustancialmente su modelo educativo, lo que con seguridad generará un estado de tensión entre sus docentes, particularmente entre los de mayor experiencia. Al respecto, Denyer y otros nos dicen lo siguiente:

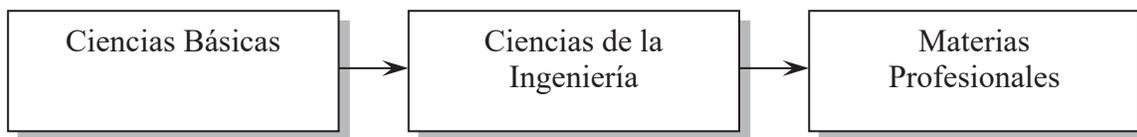
Sólo una tiranía de las competencias conduciría a excluir de los programas todo su conocimiento que no estuviese ligado a una práctica. Lo que resulta inaceptable es justificar los programas por su sola existencia, cediendo a la presión de los grupos disciplinarios, que no desean siquiera que se plantee la cuestión de la pertinencia de tal o cual conocimiento.

Así pues, al parecer tendremos que trabajar durante algún tiempo con una buena dosis de incertidumbre, hasta que los buenos resultados lleguen (esperando que así suceda).

El caso de la Ingeniería Civil en la Universidad Autónoma de Chiapas

El contenido de las matemáticas en las carreras propias de la ingeniería es significativo, aunque los conocimientos matemáticos son abordados en educación básica y media resulta complicada su enseñanza y su aprendizaje en el nivel superior, impactando fuertemente en la formación de ingenieros civiles. Cajas (2013), hace una revisión en la que expone que al observarse de manera lineal los programas de ingeniería, encuentra que las matemáticas dentro de las ciencias básicas preceden a las materias de las ciencias de la ingeniería y las materias profesionales (véase *Figura 1*). Esta importancia y dificultad de las matemáticas hace que alumnos, profesores y la sociedad en general demande cuestionamientos que tiene que ver más con el sentido utilitario que funcional (en el sentido de Cordero, 2008) del conocimiento matemático tales como ¿sirve esa matemática de la escuela, en la vida diaria del ingeniero civil?

Figura 3: Programa lineal de ingeniería entendida como aplicación de la ciencia básica. Tomado de Cajas, 2013.



En un plan de estudios de la licenciatura en Ingeniería Civil, tomemos por ejemplo el caso de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), se puede observar que están inmersas en el área de ciencias básicas específicamente las asignaturas como Geometría Analítica, Cálculo Diferencia y Cálculo Integral; sin embargo en esos planes y programas de estudio no es claro el uso, aplicación y relación de estos conocimientos con las propias de la ingeniería, y, si bien, en el currículo pudiera encontrarse una explicación de cuáles son las matemáticas importantes en la formación de un ingeniero civil aún faltaría preguntarse cuáles son las matemáticas que realmente usa el ingeniero civil en el ejercicio de su profesión o, preguntando de otra manera, cuál es la matemática presente en la comunidad de conocimiento matemático de la ingeniería civil.

Entonces hay matemáticas por lo menos en dos ámbitos diferentes, en el ámbito de formación de los ingenieros y las pertenecientes al ámbito mismo de los ingenieros. Aquí podemos traer a colación la dualidad del conocimiento que identifica Cordero (2011) de una matemática escolar y una matemática funcional que obedecería a dos demandas distintas, la primera a las competencias curriculares vigentes (UNACH, 2007) y la otra a los requerimientos de cada país (Cajas, 2013). Por otro lado, es fundamental establecer la promoción de actividades interdisciplinarias y transdisciplinarias aplicando métodos didácticos para que el proceso enseñanza-aprendizaje en estas áreas se lleve a cabo.

Concentrarnos en el segundo ámbito nos traería como cuestionamiento cómo poder identificar la matemática funcional de la ingeniería y para llevar a cabo este estudio hemos elegido la ingeniería civil. Nos centraremos en los fenómenos de la infiltración.

La Ingeniería Civil se desarrolla a partir del análisis, diseño, dictamen y predicción, actividades que norman la formación y actividad en el ejercicio de su profesión. En cada una de las actividades mencionadas existe el contenido matemático, quizás no perceptible, pero es relevante en cada una de ellas. Un papel importante de la matemática educativa consiste en proponer marcos de referencia que ayuden a entender la reconstrucción del conocimiento matemático (Cordero, 2008), para atender una problemática de la enseñanza y aprendizaje de la matemática en el área de la Ingeniería Civil. A raíz de las prácticas observadas en la formación del ingeniero civil se logra distinguir la modelación, misma que se encuentra implícita en dichas prácticas, de tal forma que desempeña un papel medular en las actividades de esta comunidad.

Al revisar el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Civil, se encuentra que las matemáticas son para: resolver, modelar identificar, predecir los problemas y fenómenos que se presentan en el entorno social, demostrando de esta forma la importancia de la predicción de los fenómenos físicos. Por tanto, al hacer referencia a la Predicción se remite a la modelación, de la que inercialmente, se piensa en generar un modelo matemático que represente la situación o fenómeno a estudiar, sin trascender y pensar en que se genera un conocimiento. Al obviar conceptos como la predicción y la modelación o la graficación, no se logra demostrarla relevancia de estas categorías siendo utilizadas únicamente como instrumentos y no como herramientas de construcción de conocimiento matemático en cada asignatura (Hernández 2006, De la Cruz-Ramos, 2011).

Retomando la pregunta ¿sirve esa matemática de la escuela, en la vida diaria del ingeniero civil?, y la estructura de las materias en el currículo de la ingeniería, es decir, que las ciencias básicas preceden a las materias de las ciencias de la ingeniería y a las materias profesionales. Romo (2007), tiene como pregunta de investigación: ¿Qué lugar darles a las matemáticas en una formación de ingeniero? Acorde a las observaciones expresadas. Romo encontró coincidentemente con Farfán en cuanto al surgimiento de l'École Polytechnique entre 1794 -1850; y los trabajos desarrollados por la comisión internacional de la Enseñanza de las matemáticas a principios del siglo XX. Situando su pregunta de investigación en tres instituciones: las de producción, las de enseñanza y las instituciones usuarias. Esta revisión da cuenta de la existencia de la problemática entre la transmisión de los saberes e identifican los niveles en los que se produce el conocimiento matemático y cómo lo utilizan en diversas instituciones.

Hacia el 2007, Cajas reflexiona acerca de las prácticas en la universidad y las prácticas en Ingeniería; así como del papel de las ciencias involucradas en la currícula de la licenciatura, su importancia radica que generalmente se consideran a las ciencias básicas como los fundamentos de la ingeniería por ejemplo: matemáticas y física y que esas materias son impartidas por profesores especialistas en física, matemáticas o ingenieros sin experiencia en campo, de tal forma que no existe vinculación de las prácticas de la ingeniería al currículo. Toma como objeto de estudio la educación de la ingeniería, sus investigaciones consideran a la ciencia como un fenómeno que trasciende a la sociedad misma: alfabetización científica y tecnológica. Esto en su gran mayoría se debe a que el saber científico no ha logrado trascender tanto a la

escuela (transposición didáctica) como a la vida cotidiana, por tanto, no hay saber funcional, se encuentra entonces, que no hay matemática que refleje el uso de conocimiento científico escolar en la vida cotidiana.

Conclusión texto 2

El escrito muestra la necesidad de realizar una reestructuración de los contenidos en las asignaturas de matemáticas de las diversas carreras de ingeniería, no sólo en la parte temática, que algunas ocasiones es presentada como una lista (interminable), sino en la manera en que estos contenidos son llevados al aula, sin conexión alguna con las ciencias de la ingeniería y las materias de especialidad. Se plantea no incluir temas o conceptos que no puedan justificarse, o que resulten difíciles de aplicar en la actividad profesional, es decir, que toda es matemática escolar aprendida en los primeros semestres tenga alguna aplicación en asignaturas posteriores y en la vida profesional del ingeniero.

Referencias

- Cajas, F. (2007). De Parvulitos a las Ingenierías: Alfabetización Científico- Tecnológica. *Democracia y Educación*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Cajas, F. (2013). La formación de Ingenieros/as Civiles y Matemáticos/as en la Actualidad: Tendencias y Desafíos. En H. Mestre (Presidencia), *II seminario-taller centroamericano de armonización académica regional de las licenciaturas en Ingeniería Civil y matemática*. Las Tunas, Cuba.
- Cordero, F. (2008). *El Uso de las Gráficas en el Discurso del Cálculo Escolar. Una visión Socioepistemológica*. Investigaciones sobre enseñanza y aprendizaje de las matemáticas: Un reporte Iberoamericano. México: Ediciones Díaz de Santos.
- Cordero, F. (2011). La modelación y la graficación en la matemática escolar. En L. M. Rodríguez-Salazar, R. Quintero-Zazueta y A. R. Hernández (Coords.) *Razonamiento Matemático. Epistemología de la Imaginación. (Re)pensando el papel de la Epistemología en la Matemática Educativa*. (pp. 377-399). Barcelona: Gedisa y México: Cinvestav.
- De la Cruz-Ramos, A. (2011). *Situaciones Didácticas de las Ecuaciones Diferenciales en el contexto de Ingeniería Civil a través de la Predicción*. Tesis de maestría no publicada. México: Universidad Autónoma de Chiapas
- Denyer, M., Furnémont, J., Poulain, R. y Vanloubbeeck, G. (2007). *Las competencias en la educación*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Godino, J. D., Batanero, C. y Font, V. (2003). *Fundamentos de la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas*. Departamento de Didáctica de las Matemáticas. Universidad de Granada. (Recuperable en, <http://www.ugr.es/local/jgodino/>).
- Langins, J. (1991). La codificación y matematización de la ingeniería francesa del siglo XVIII: el caso de Bernard Forest de Bélidor”, *Mathesis*, 7(3). Ciudad de México.
- Letelier, M. (1993). “La enseñanza de las Matemáticas en Carreras de Ingeniería” (pp. 61-67), en Revista Iberoamericana de Enseñanza de Ingeniería (número único de 1993).
- Romo-Vázquez, A. (2007). The role of mathematical knowledge in a practical activity: engineering projects at university level. En D. Pitta-Pantazi y F. Philippou (Eds.) *Fifth congress of the European Society for Research in Mathematics Education*. Cyprus: Department of Education, University of Cyprus.
- Taton, René, 1947. Una lettre inédite de Monge sur la situation en France en 1791, après la fuite du roi. *Revue d'histoire de science* I, 358-59.
- Taton, René, 1964. L'Ecole du Génie de Mézières, *Enseignement et Diffusion des Sciences en France au XVIIIe Siècle*, René Taton, Ed., (pp. 559-615). Paris: Hermann.
- UNACH. (2007). *Plan de estudios de la Licenciatura Ingeniería Civil*. México: Facultad de Ingeniería, UNACH
- UNESCO. (2007). *Educación de calidad para todos: un asunto de derechos humanos*. Documento de discusión sobre políticas educativas en el marco de la II Reunión Intergubernamental del Proyecto Regional de Educación para América Latina y el Caribe (EPT/PRELAC). 2007. Descargable en:
<http://www.redetis.iipe.unesco.org/publicaciones/educacion-de-calidad-para-todos-un-asunto-de-derechos-humanos/#.WX9GwLpFzIU>

LA MODELACIÓN EN LA FORMACIÓN DEL INGENIERO. UN ESTUDIO SOBRE EL USO DE DINÁMICA DE SISTEMAS Y EL CÁLCULO

María del Pilar Esquer Zarate, Rodolfo David Fallas Soto

La ingeniería es una disciplina cuya finalidad es generar profesionales capaces de enfrentar problemas cada vez más complejos que vive cotidianamente con respuestas y soluciones creativas y materialmente rentables. Para poder dar respuesta a estos problemas, es necesario que el estudiante desarrolle desde la escuela dichas competencias que le permitan egresar con un perfil óptimo. El presente trabajo propone un estudio sobre nuevas maneras de mejorar la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas en la formación de ingenieros. Se sitúa en el estudio de la Dinámica de Sistemas y el papel que juegan las matemáticas, particularmente en un curso de cálculo.

El objetivo general de estudiar diferentes modelos o concepciones de modelación es ofrecer una visión más amplia de la modelación en la formación de ingenieros y otros profesionales con la intención de aportar en la innovación de los cursos que se dan actualmente como parte del currículo en las instituciones educativas.

Introducción

La formación del Ingeniero y su perfil en la actualidad

Según la Revista del Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Andalucía Occidental (2015), el siglo XXI ha traído consigo una serie de cambios muy importantes en la sociedad, equiparable a los vividos en la Revolución Industrial. La llegada del internet, los avances tecnológicos, el aumento de la población o el nuevo panorama de la comunicación global son algunos de los factores encargados de marcar un antes y un después en esta nueva era. La ingeniería ha jugado un papel primordial en este conjunto de transformaciones, ya que se trata de una profesión con una perspectiva muy globalizada, siempre en continuo desarrollo.

La enseñanza de la ingeniería desde su surgimiento ha estado condicionada por diferentes cambios que la han hecho evolucionar y a la vez enriquecerse. Constituye una preocupación de todos los tiempos la formación de un ingeniero acorde con las necesidades del entorno en que vive y se desenvuelve y la manera en que debe enfrentar la misma. Para lograr este propósito es necesario que la formación del profesional supere el paradigma en el que predominaba la adquisición y transmisión de conocimientos y se asuma uno nuevo orientado a generar nuevas formas de pensamiento y acción, más adecuadas a las características de los nuevos tiempos, que permita formar profesionales que sean capaces de lograr un aprendizaje continuo o permanente (Capote, Rizo & Bravo, 2016).

La formación matemática en los estudiantes del área de ingeniería representa una parte primordial de su educación debido a las herramientas que les proporciona en los procesos de modelación de las situaciones problemáticas que enfrentan a lo largo de su formación y su vida profesional. Para que el estudiante logre desarrollar estas competencias, es necesario que cursen un número determinado de asignaturas de matemáticas (Chávez, 2008).

La Simulación Matemática y Dinámica de Sistemas como estrategia de enseñanza-aprendizaje

Los avances tecnológicos que suceden rápidamente, día a día, han permitido la evolución de muchos sistemas, ya sean físicos o sociales. Dentro de estos sistemas están los que se caracterizan por no poderse representar fácilmente con un modelo matemático, y por lo tanto, cada vez que se requiere un estudio de ellos, debe recurrirse a la habilidad, conocimientos y criterios de quienes tienen la responsabilidad de tomar las decisiones en dichos sistemas.

Surge entonces, ante este rápido avance tecnológico y la complejidad de los sistemas, la necesidad de recurrir a estudios que ayuden a comprender dicha complejidad, y a obtener resultados que permitan mejorar los procesos de toma de decisiones. Una de las técnicas de estudio de sistemas, es la simulación y dentro de ésta, la dinámica de sistemas apoyada por los análisis cualitativos matemáticos.

La técnica de la simulación con dinámica de sistemas tiene como objetivo principal, ver y entender las relaciones entre los factores que intervienen en un sistema y su influencia en el comportamiento dinámico del mismo. Esta cualidad de la dinámica de sistemas, hace que el que la utiliza, tenga una visión sistémica y por lo tanto una mayor comprensión del proceso que se lleva a cabo (Peña, 2003).

Antecedentes teóricos y metodológicos

Según Dewey citado en Ruiz. G. (2013), el pensamiento constituye un instrumento (tanto para adultos como para los niños) destinado a resolver situaciones problemáticas que surgen en el curso de las actividades, es decir, los problemas de la experiencia. Así, el conocimiento es precisamente la acumulación de sabiduría que genera la resolución de esos problemas.

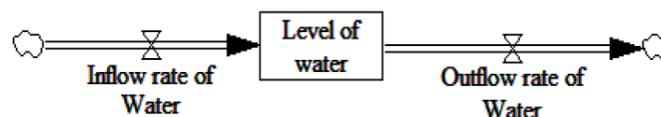
Según Dewey, el ser humano aprende en la interacción con su ambiente a partir de su capacidad de adaptación funcional, a través del ensayo y error. Ello le permite *progresar* en la lucha por adaptarse y dominar el ambiente en el que vive. Se aprende por experiencia, mediante la educación por acción («learningbydoing»). La educación escolar debe por tanto favorecer el diseño de experiencias reales para los estudiantes que supongan a su vez la resolución de problemas prácticos (Ruiz. G., 2013).

Para Tirso J. (2014), la toma de decisiones es un proceso mental que nos obliga a aprender a pensar. La literatura dice que la toma de decisiones es un proceso cognitivo y también emotivo, donde el individuo

realiza un especie de filtro, tomando en cuenta sus prioridades, sus intereses, motivos, entornos y condiciones predeterminadas sobre las cuales el individuo normalmente no puede influir. En otras palabras, la situación y el entorno están dados, donde coexisten la incertidumbre, informaciones no existentes o informaciones incompletas, y todo tipo de barreras que se tienen que derribar. Sin embargo, en ese entorno también existen oportunidades, donde el individuo debe sopesar las ventajas y desventajas que le brinda tal entorno. Por ello debe adaptarse a las circunstancias que le otorga su entorno.

En un trabajo realizado por Rodríguez & Bourguet (2014, 2015) se presenta el diseño y desarrollo de un curso nuevo de posgrado titulado “Modelación dinámica de sistemas”, su principal aportación en el diseño fue la combinación entre la construcción de experiencia de verdad, confianza y la modelación de sistemas complejos, a través de los fundamentos matemáticos de sistemas dinámicos y lenguaje gráfico de simulación de Dinámica de sistemas, respectivamente. También se discuten las interdependencias principales en los cursos de profesional de Ecuaciones diferenciales y de Dinámica de Sistemas los cuales de manera interdisciplinaria e interdepartamental dieron forma a la propuesta para el curso de profesional y posgrado (Ver figura 1).

Figura 1: Ejemplo de diagrama de flujo. Tomado de Rodríguez & Bourguet (2014, 2015)



Por otra parte, para el nivel bachillerato Fisher (2011) explica desde 1997 la incorporación exitosa de temas relacionados al pensamiento sistémico en lecciones de grados elementales en varias escuelas nivel secundario en E.U.A. y hace reflexiones sobre la enseñanza de la dinámica de sistemas y las matemáticas y el papel que juegan en la vida escolar.

En un estudio realizado por Walters, P, Geiner B, Morrow, E. & Amadei, B. (2017), se dio a conocer el beneficio de usar grupos de modelación al desarrollar proyectos comunitarios. El proyecto fue aplicado a un grupo estudiantil de la organización EWB- USA (Engineers Without Borders) los cuales estaban trabajando en un proyecto de agua rural en Perú, y tenía como propósito el uso de la construcción de modelos para fomentar el pensamiento sistémico en los estudiantes, de tal forma que logran tomar mejores decisiones y mejorar técnicas en el desarrollo de proyectos comunitarios.

En términos de la simulación y modelación, los autores García, Hernández y Poveda (2014) desarrollan su investigación para responder a la pregunta: ¿cómo perfeccionar las habilidades de los estudiantes en las ecuaciones diferenciales, usando simulación en una situación profesional de ingeniería? Para ello, proponen preguntas que orienten en la construcción de actividades en las fases para llevar a cabo la simulación:

¿cuáles son los conocimientos previos del estudiante?, ¿cómo los estudiantes diferencian entre una ecuación diferencial ordinaria a una ecuación diferencial parcial?, ¿cómo pueden distinguir los métodos de solución para la ecuación diferencial ordinaria?, ¿cómo se puede construir la ecuación diferencial a partir de una situación real? y ¿cómo verificar la solución y comparar con la situación real?.

Con respecto a lo anterior, la primera actividad trata sobre determinar el tiempo en un drenado de un tanque usando el valor inicial del problema. La segunda actividad que el estudiante use la ley de Torricelli para el modelado, además de cambiar la forma del recipiente para que realice comparaciones de descarga, tiempos de drenaje, capacidades, etc. En la tercera actividad estudian al circuito R-C con el modelo de desfibrilador cardíaco resolviendo la ecuación y predecir si el paciente tiene posibilidades de vivir o no. En la cuarta actividad estudian el circuito R-L-C verificando la solución con apoyo del software. En la quinta actividad estudian el modelo depredador-predador con sistemas de ecuaciones diferenciales. Concluyen que “desarrollar actividades donde se usen las ecuaciones diferenciales impactan de forma positiva al aprendizaje de los estudiantes y además promueve un grado de autonomía del aprendizaje, importancia de aplicaciones y uso del software” (García et al., 2014, pp. 7783–7784).

Tomando una tarea que la autora califica como interdisciplinaria A. Barros (2015) muestra el uso que tiene las ecuaciones diferenciales en la modelación de situaciones que desde un inicio parecen incontroladas: una situación de epidemiología. Se apoya de la interpretación visual de la epidemia y métodos cualitativos que ayudan para significar los diferenciales que forman al modelo matemático. Menciona que además no existe un método general que permita unificar modelos en las aplicaciones a estudiar, pero lo que sí se puede promover es de formar un núcleo básico de ideas ante estos problemas. Se evidencia que no solamente desea que se construya la ecuación diferencial asociada con la situación de epidemias, sino que se necesita de su comprensión y uso para poder determinar un número mínimo de individuos para que ocurra una incidencia de la epidemia, y antes de que toda la población vaya a morir. El trabajo desarrollado por la autora A. Barros nos da la reflexión del uso que tiene la modelación, pues no es solamente plantear la ecuación diferencial, sino que existe una necesidad para su planteamiento que ayuda a resolver un problema real.

R. Rodríguez y Quiroz (2016) muestran un modelo de modelación matemática que retoma de los trabajos anteriores realizados por Rodríguez, mostrando una relación entre la situación real, modelo físico y modelo matemático pero en esta ocasión considerando los recursos tecnológicos: “la vinculación entre lo analítico y los datos que la tecnología proporcionaba posibilitaron una reflexión en el interior de los equipos para una mejor comprensión del procedimiento seguido entre el modelo físico y modelo matemático” (R. Rodríguez & Quiroz, 2016, p. 120). Algunas acciones utilizadas por los estudiantes y que declaran las autoras son: realizar hipótesis, interpretar, controlar, validar, confrontación con el modelo real.

Por otro lado, la autora Almeida (2017) realiza su artículo de investigación alrededor de la siguiente pregunta: ¿Cómo usan los estudiantes las matemáticas para modelar actividades?, queriendo observar aquellas

prácticas que el estudiante hereda de su contexto para usarlas en la modelación matemática, con este propósito, el documento informa sobre la matematización y el uso de las matemáticas:

Lo que el análisis de estas actividades también permite concluir es que el uso de las matemáticas que realizan los estudiantes está anclado en sus experiencias anteriores, ya sea en sus experiencias con los conceptos y herramientas de las matemáticas, o en sus experiencias con las prácticas de modelado matemático. Las diferencias entre los usos de las matemáticas por el grupo de primer año y el de cuarto año son directamente relacionado con el conocimiento matemático y extra-matemático de los estudiantes. Además, los estudiantes con menos experiencia en el modelado matemático utilizaron las matemáticas directamente relacionadas con los contenidos del curso que estaban tomando. Además de eso, estos estudiantes avanzaron y expandieron sus conocimientos e hicieron un progreso significativo.

El desarrollo de la actividad en grupos favoreció este avance, ya que los estudiantes obviamente habían aprendido algunas nuevas ideas matemáticas de sus compañeros (Almeida, 2017, p. 28).

Además, más allá del conocimiento matemático, la investigación indicó que el éxito en la realización de actividades de modelado también requiere anticipación del modelado matemático basado en el conocimiento. La mirada de la autora con respecto al rol de la anticipación del modelado corresponde a las experiencias previas que haya tenido el estudiante en modelados y en el planteamiento de ecuaciones diferenciales, por ejemplo, al asociar la idea de proporcionalidad para la confección de una ecuación diferencial.

Cantoral, Moreno-Durazo y Caballero Pérez (2018) tratan sobre el papel de la práctica social en la construcción de modelos relacionados con el conocimiento matemático avanzado; específicamente, con la forma en que un individuo usa la noción de variación en diferentes fenómenos, mientras que el pensamiento predictivo es el principio subyacente en el proceso matemático. El modelo matemático de la variación sucesiva en matemáticas y ciencias se aborda a través de la interpretación de gráficos en dos casos de diferente naturaleza: el diagnóstico de un cardiólogo sobre la salud de un paciente (un fenómeno no determinista) y los argumentos de los estudiantes de secundaria que trabajan en la tarea de llenar recipientes (un fenómeno determinista). En su documento tratan la transversalidad y la funcionalidad de las variaciones de orden superior en el desarrollo de prácticas predictivas (como predicción, diagnóstico, estimación y evaluación).

La investigación que presentan tiene como hipótesis central, que detrás de las prácticas predictivas, se encuentran formas de razonamiento matemático asociadas al estudio de las pequeñas variaciones a pesar del hecho de que tal conocimiento no se enseñó formalmente en la escuela. Este principio del pensamiento aparece junto con el estudio del cambio y la variación de una manera natural, de la misma forma que Fermat se ocupa de la optimización algorítmica, antes de que se conocieran los aparatos de Newton y Leibniz para el cálculo. Además, este principio de pensamiento suele evidenciar el uso de las prácticas predictivas ante fenómenos deterministas y no deterministas, caracterizado por el uso de un razonamiento bajo supuestos

que suelen ser fundamentales para el desarrollo del pensamiento matemático y que aparecen en muchas tareas profesionales. La sugerencia que ofrecen en su investigación para el estudio de la modelación o propiciar escenarios de prácticas predictivas es el siguiente:

Además, creemos que este tipo de investigación, una combinación de múltiples disciplinas en el campo pedagógico, incluye los elementos esenciales de la variación en otros entornos, al igual que en el entorno médico que se informa aquí. Teniendo en cuenta este aspecto, el contenido de los libros de texto de cálculo diferencial e integral, al referirse a ejemplos realistas, se expone a partir de la matemática de la física clásica bajo enfoques deterministas. En otros casos, estos modelos no deterministas se utilizan (por ejemplo, el crecimiento poblacional en biología), pero estos se reducen en la escuela al cálculo de una exponencial o bipartición. En nuestra opinión, es esencial fomentar la investigación en educación matemática con la matematización de fenómenos no deterministas más cercanos a la realidad de cada ciudadano del siglo XXI, ya que contribuye al desarrollo del pensamiento y el lenguaje variacional (Cantoral et al., 2018, p. 88).

Conclusiones del texto 3

En este apartado se presentan diferentes aportaciones de cómo se concibe a la modelación y simulación en diferentes trabajos abordados en la matemática educativa. El reto del grupo de investigación es ampliar miradas con otros especialistas en la misma ingeniería para estudiar diversos modelos de modelación para brindar elementos en la discusión sobre que matemática se debe enseñar y cómo hacerlo.

Referencias

- Almeida, L. M. W. (2017). Considerations on the use of mathematics in modeling activities. *ZDM - Mathematics Education*, 50(1-2), 19-30. <https://doi.org/10.1007/s11858-017-0902-4>
- Aracil, J; Gordillo, F. (1997). *Dinámica de sistemas*. Alianza Editorial
- Barros, A. (2015). Modelos matemáticos de equações diferenciais ordinárias aplicados à epidemiologia. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, 2(2), 62-67.
- Cantoral, R., Moreno-Durazo, A., & Caballero-Pérez, M. (2018). Socio-epistemological research on mathematical modelling: An empirical approach to teaching and learning. *ZDM - Mathematics Education*, 50(1-2), 77-89. <https://doi.org/10.1007/s11858-018-0922-8>
- Capote, G., Rizo, N. y Bravo, G. (2016). La formación de ingenieros en la actualidad. Una explicación necesaria. *Revista Universidad y Sociedad*, 8. ISSN 2218-3620. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202016000100004
- Chávez, D.G. (2008). Rasgos de la práctica docente sobresaliente en los cursos de matemáticas para ingeniería. *EfimZelmanov*, 49.
- Fisher, D. M. (2011). "Everybody thinking differently": K-12 is a leverage point. *System Dynamics Review*, 27, 394-411. DOI: 10.1002/sdr.473 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sdr.473/full>
- García, O., Hernández, N. A., & Poveda, R. M. (2014). Didactic actions differential equations learning betterment in engineering careers. *Applied Mathematical Sciences*, 8(156), 7775-7784. <https://doi.org/10.12988/ams.2014.48600>
- Rodríguez, R. y Bourguet, R. (2014). Diseño interdisciplinario de Modelación Dinámica usando Ecuaciones Diferenciales y Simulación. *Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Education (LACCEI 2014)*. Guayaquil, Ecuador. <http://www.laccei.org/LACCEI2014-Guayaquil/index.htm>
- Rodríguez, R., y Bourguet, R. (2015). Building bridges between Mathematics and Engineering: Modeling practices identified through Differential Equations and Simulation. *American Society of Engineering Education (ASEE) Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*. Atlanta, Estados Unidos. <https://www.asee.org/public/conferences/56/papers/13153/view>
- Rodríguez, R., & Quiroz, S. (2016). El papel de la tecnología en el proceso de modelación matemática para la enseñanza de las ecuaciones diferenciales. *Revista Latinoamericana de Investigación En Matemática Educativa*, 19(1), 99-124. <https://doi.org/10.12802/relime.13.1914>
- Tirso, J. (2014). *Los líderes aprenden a razonar antes de tomar decisiones eficaces y productivas*, Santiago de Chile. Recuperado de: https://books.google.com.mx/books?id=LFquAwAAQBAJ&pg=PA2&lpg=PA2&dq=en+que+fijarnos+para+tomar+la+decisi%C3%B3n+y+resolver+un+problema&source=bl&ots=mO3463Sego&sig=CFZRZHmByiN0-chQxb_05KjDTU&hl=es-419&sa=X&ved=0OahUKEwiegtm_1MHWAhVCG92MKHeU2B0EQ6AEITDAJ#v=onepage&q&f=false
- Vázquez, L. R. I. (2012). ¿Qué ingenieros necesita México? *Innovación Educativa*, 12(60), 125-136. Recuperado de: <http://www.innovacion.ipn.mx/Revistas/Documents/Revistas%202012/Revista%2060/revista-60.pdf>
- Walters, P, Geiner B, Morrow, E. & Amadei, B. (2017). Fostering Systems Thinking Within Engineers without Borders Student Teams Using Group Model Building. *International Journal of Engineering Education* 33, 1(A), pp. 247-260. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/312613125_Fostering_Systems_Thinking_Within_Engineers_Without_Borders_Student_Teams_Using_Group_ModelBuilding