

# MODELIZACIÓN MATEMÁTICA COMO ESTRATEGIA DIDÁCTICA EN INGENIERÍA: UN ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

## MATHEMATICAL MODELING AS A DIDACTIC STRATEGY IN ENGINEERING: A BIBLIOGRAPHIC ANALYSIS

I. M. Salinas Reyna<sup>1</sup>  
C. E. Villarreal Rodríguez<sup>2</sup>  
C. Mercat<sup>3</sup>  
M. Hinojosa Rivera<sup>4</sup>

### RESUMEN

La enseñanza de las matemáticas es crucial en la formación de ingenieros para un contexto global, sin embargo, existe una desconexión entre la teoría matemática y su aplicación práctica en el ejercicio profesional. Este estudio es parte de una colaboración entre la Universidad Claude Bernard de Francia y la Universidad Autónoma de Nuevo León, para investigar qué estrategias didácticas pueden mejorar esta problemática. Mediante un análisis documental, se identificó el modelaje matemático como la estrategia más comúnmente recomendada por los autores revisados. Además, se destacan praxeologías que muestran la relevancia de comprender las matemáticas más allá de una simple herramienta. Se identifican también variables para mejorar la enseñanza, como vincular contenidos y fomentar la confianza estudiantil. El estudio concluye que, para optimizar la formación de ingenieros, es fundamental integrar metodologías activas como la modelización con un enfoque interdisciplinario, lo que propiciará una enseñanza más efectiva y conectada con retos contemporáneos en la ingeniería. Estas estrategias no solo buscan mejorar el aprendizaje académico, sino que también preparan a los nuevos ingenieros para las retos actuales y futuros en campos como electromovilidad, energías renovables, industria inteligente, y computación cuántica, entre otros

### ABSTRACT

Mathematics teaching is crucial in the training of engineers for a global context; however, there is a disconnect between mathematical theory and its practical application in professional practice. This study is part of a collaboration between Claude Bernard University in France and the Autonomous University of Nuevo León to investigate which teaching strategies can address this issue. Through a documentary analysis, mathematical modeling was identified as the most recommended strategy by the reviewed authors. Furthermore, praxeologies are highlighted that demonstrate the importance of understanding mathematics beyond a simple tool. Variables for improving teaching are also identified, such as linking content and fostering student confidence. The study concludes that, to optimize the training of engineers, it is essential to integrate active methodologies such as modeling with an interdisciplinary approach, which will foster more effective teaching connected to contemporary challenges in engineering. These strategies not only seek to improve academic learning but also prepare new engineers for current and future challenges in fields such as electromobility, renewable energy, smart industry, and quantum computing, among others.

### ANTECEDENTES

Las matemáticas desempeñan un papel fundamental en la formación básica de los ingenieros. No obstante, el reconocimiento de su utilidad y su aplicación práctica en el ámbito profesional de los ingenieros sigue siendo un área poco investigada. Se observa una

<sup>1</sup> Profesora y doctorante. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, UANL. idalia.salinasry@uanl.edu.mx

<sup>2</sup> Profesor Investigador. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, UANL. cesar.villarrealrd@uanl.edu.mx

<sup>3</sup> Profesor Investigador. Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques de Lyon, Université Claude Bernard. christian.mercat@univ-lyon1.fr

<sup>4</sup> Profesor Investigador y Subdirector de Relaciones Internacionales. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, UANL. moises.hinojosarv@uanl.edu.mx

desconexión entre la enseñanza teórica en matemáticas y su implementación práctica en el ejercicio profesional de ingeniería.

La enseñanza de las matemáticas en las carreras de ingeniería a menudo se considera solo un contenido obligatorio del currículo del estudiante, sin ser vista como una herramienta práctica en las actividades diarias de los ingenieros. Existe cierta percepción negativa de algunos estudiantes, egresados e inclusive docentes, respecto a las matemáticas y su verdadera utilidad en la vida profesional. No obstante, es necesario tener en claro que la aplicación de las matemáticas es fundamental para modelar y resolver problemas de ingeniería.

El aprendizaje de conceptos, definiciones, teoremas y otras estructuras matemáticas está bien integrado en numerosos programas académicos de ingeniería. Sin embargo, la forma en que se instruyen estas herramientas matemáticas es distinta según cada institución educativa, así como la cultura de cada país. En algunas naciones, se ha identificado un enfoque que favorece la solución mecánica de problemas. Si bien estas competencias pueden contribuir al desarrollo de la precisión técnica, a menudo se pierde la conexión entre las matemáticas y su aplicación en situaciones reales puesto que se carece del saber interpretar los resultados.

Ante esta brecha entre la matemática educativa y las herramientas aplicadas en la vida cotidiana de un ingeniero, se han realizado diversas y variadas estrategias didácticas para buscar esa conexión teórico-práctica. Estas iniciativas como el aprendizaje activo, simuladores, gamificación y el uso de nuevas tecnologías han mejorado el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería. Ejemplo de esto son los trabajos realizados por Mercat (2022a), Mercat (2022b), Rodríguez Gallegos (2017) y Romo Vázquez (2014). A pesar de la creatividad y el trabajo de profesores e investigadores en el desarrollo de estas estrategias didácticas, la percepción de las matemáticas en ingeniería pareciera continuar descontextualizada de casos reales en los lugares de trabajo. (Quéré, 2022)

Considerando un panorama internacional, es bueno tomar en cuenta el liderazgo y pautas que marcan algunas instituciones respecto a las necesidades en ingeniería. La Academia Nacional de Ingeniería (NAE) de los Estados Unidos, publicó una lista de 14 desafíos para la ingeniería en el siglo XXI. Estos retos se pueden clasificar en cuatro temas transversales: sostenibilidad, salud, seguridad y placer de vivir. A continuación, se mencionan estos 14 puntos, los cuales representan también una orientación para la enseñanza de la ingeniería desde las aulas universitarias:

1. Aprendizaje personalizado avanzado
2. Hacer que la energía solar sea económica
3. Mejorar la realidad virtual
4. Ingeniería inversa del cerebro
5. Ingeniería para mejores medicamentos
6. Informática avanzada para servicios de salud
7. Restaurar y mejorar la infraestructura urbana
8. Ciberseguridad
9. Proporcionar acceso a agua potable
10. Proporcionar energía a partir de la fusión
11. Prevenir el terrorismo nuclear
12. Gestionar el ciclo del nitrógeno

13. Desarrollar métodos de secuestro de dióxido carbono
14. Diseñar herramientas para la ciencia

(National Academy of Engineering, 2008). Ante el contexto anterior, la pregunta de investigación de este trabajo es: ¿qué estrategias didácticas pueden mejorar la conexión entre los conceptos teóricos de las matemáticas y su aplicación en la resolución de problemas de ingeniería contemporánea?

La elaboración de este estudio representa un proyecto de colaboración entre la Universidad Claude Bernard (UCBL1) en Francia y la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME), de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Este trabajo es parte de una investigación de un doctorado en cotutela entre dichas universidades, el cual tiene como objetivo analizar las praxeologías matemáticas del ingeniero en su ejercicio profesional, para identificar con esto, formas de optimizar la enseñanza en las escuelas de ingeniería. Es pertinente señalar que este estudio aporta elementos que pueden enriquecer las experiencias, enfoque y recomendaciones en la formación de ingenieros.

### **Colaboración México – Francia una estrategia para la educación matemática de ingenieros.**

En el contexto de este estudio como parte de un proyecto de colaboración entre la UCBL1 y UANL, nos centraremos en analizar autores, estrategias y modelos mexicanos y franceses. A continuación, se presentará una reseña de los trabajos de internacionalización realizados desde hace casi 20 décadas entre la FIME y algunas universidades francesas. Estas colaboraciones representan también antecedentes en la búsqueda de estrategias para mejorar al aprendizaje de matemáticas en las escuelas e instituciones de ingenieros.

Con el objetivo de mejorar la calidad de la educación, la FIME ha buscado la internacionalización de sus programas educativos. Desde principios del siglo XXI, la UANL y el *Institut National des Sciences Appliquées* (INSA) de Lyon comenzaron una colaboración académica la cual se ha consolidado a través de diversos proyectos como: intercambios de estudiantes y docentes, acuerdos doble titulación, capacitación a docentes y coloquios académicos.

En el intercambio de estudiantes, se identificó que los estudiantes latinos enfrentaban dificultades en matemáticas debido a los distintos enfoques educativos entre Francia y América Latina. Ante este desafío, la UANL y el INSA Lyon impulsaron diversas acciones como el programa AmerINSA, la plataforma eMaths y el intercambio de docentes. Profesores de la FIME han visitado el INSA Lyon para familiarizarse con la pedagogía francesa, y algunos profesores franceses, han impartido capacitaciones a docentes mexicanos, en particular en los años 2017 y 2022.

Por otro lado, se han realizado diversos coloquios académicos, en 2014, 2016 y 2024, sobre matemáticas e ingeniería. Con la participación de expertos académicos y profesionistas de la industria, se han explorado la importancia, didáctica y el rol de las matemáticas para los ingenieros a nivel internacional, no solo en México y Francia, sino en otros países de América Latina como Brasil.

En este proceso de internacionalización, un elemento que sobresale son las diferencias en el modelo francés y el enfoque mexicano de enseñanza matemática en ingeniería. El modelo francés acentúa la teoría, la abstracción y la demostración de los teoremas. Mientras que el enfoque mexicano prioriza la aplicación práctica y la resolución de problemas concretos. Estas diferencias, como se mencionó anteriormente, han significado desafíos en el aprendizaje de los estudiantes de intercambio. Por otro lado, se ha encontrado con esto la oportunidad para mejorar la enseñanza adoptando elementos de ambos modelos. Un modelo híbrido de enseñanza podría implicar una mejor conexión en los conceptos teóricos de las matemáticas y sus aplicaciones reales en los problemas de ingeniería.

Otras colaboraciones han sido publicaciones científicas y tesis de posgrado. Recientemente se concluyó con una tesis doctoral en cotutela, entre la UANL y la L'Université de Pau et des Pays de l'Adour. Dicha investigación trató sobre un método experimental para calcular la energía superficial de fractura para contribuir a la mitigación del cambio climático (Rodríguez-Villarreal, 2023). Además, como se mencionó, este mismo estudio es parte de las acciones de internacionalización, mediante un nuevo doctorado en cotutela, acerca de las matemáticas efectivas en las actividades de los ingenieros. En este proyecto los autores de esta publicación estamos trabajando como tesista, codirectores e investigadores de apoyo.

## METODOLOGÍA

Se realizó un análisis documental de la literatura en donde se identificaron autores que hablan del tema: enseñanza de las matemáticas para ingenieros. En este análisis de la literatura se estudiaron y examinaron escritos científicos como revistas de investigación, tesis de grado y documentos de organismos internacionales, priorizando el contenido de acuerdo con su relevancia temática y la calidad científica.

La búsqueda se realizó principalmente a través de Google Scholar y con apoyo de herramientas de inteligencia artificial para búsqueda de referencias académicas, principalmente Elicit. Para buscar la bibliografía, se utilizaron palabras o frases en español, francés e inglés, por ejemplo: *enseñanza de matemáticas para ingenieros*, *enseignement des mathématiques pour ingénieurs*, *mathematics teaching for engineers*. Las referencias encontradas se consultaron directamente en la base de datos académica o en el portal de la revista para consultar el archivo original.

Se empleó un enfoque sistemático para organizar y categorizar la información encontrada, lo cual permitió identificar patrones y tendencias en el contenido. Entre los patrones encontrados, se identificó la modelización matemática como una de las estrategias más recomendadas por los autores revisados, destacando su potencial para mejorar la conexión entre la teoría matemática y su aplicación práctica en ingeniería.

Otra tendencia identificada en varios autores fue su fundamento teórico basado en la Teoría Antropológica de la Didáctica (TAD) de Chevallard (2011), la cual estudia la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas desde una perspectiva antropológica, que considera las prácticas y las instituciones en las que se desarrollan. La TAD propone el conocimiento matemático como una praxeología con un bloque práctico, que consiste en tareas ( $T$ ) y técnicas ( $\tau$ ), que trata de lo “qué se hace” y “cómo se hace”. Así como un bloque teórico,

compuesto por tecnologías ( $\theta$ ) y teorías ( $\Theta$ ), que es el “por qué se hace” y que justifican la práctica.

Cabe destacar que, de las publicaciones encontradas en el análisis, al menos dos son autores mexicanos con formación en matemáticas en una universidad francesa, y otros dos son autores franceses expertos en el objeto de estudio. Lo anterior aporta al contexto de aplicación de este estudio, el cual se realiza en un marco de colaboración entre México y Francia.

Finalmente, con los resultados encontrados en el estudio de las referencias bibliográficas, se definieron puntos de comparación para descubrir semejanzas y diferencias. Además, se hizo una colección de los argumentos de mayor valor para el estudio, los cuáles se muestran a continuación.

### RESULTADOS

La síntesis de los resultados se muestra en la Tabla 1, en donde se detalla una breve descripción del estudio realizado, su población y las estrategias implementadas. Es interesante observar que en las publicaciones analizadas en todas se menciona la importancia de la modelización matemática en la didáctica de la ingeniería, así como la relación de la matemática con otras áreas como lo son la física, biomedicina, biología, economía o cualquiera en donde se apliquen las matemáticas.

**Tabla 1.** Comparación de las publicaciones estudiadas.

Autores	Descripción del estudio	Población de estudio	Estrategias propuestas				Otras estrategias propuestas
			Modelaje matemático	Simulación	Enseñar matemáticas básicas	Relación con otras áreas	
Doukhan, Gueudet, & Quéré (2024)	Analiza las praxeologías de profesores, a través de entrevistas y análisis de evidencias aplicadas, para identificar los cinco tipos de tareas	Profesores de ingeniería en Francia	sí		sí	sí	* Restaurar la confianza en sus habilidades matemáticas (Tscm) * Fomentar el interés y la participación (Tiem).
Quéré (2017)	Encuesta a egresados de ingeniería y entrevistas semi-dirigidas con 6 de ellos para conocer de qué manera aplican las herramientas matemáticas en sus actividades laborales como ingenieros.	Egresados de ingenierías en Francia	sí		sí	sí	
Rodríguez Gallegos (2017)	Análisis documental de los fundamentos teóricos. Caso de éxito aplicados en ingeniería eléctrica a través de modelación y simuladores	Estudiantes de ingeniería	sí	sí		sí	* Redes de colaboración entre investigadores
Rodríguez Gallegos & Quiroz Rivera (2015)	Caso de éxito aplicados en ingeniería eléctrica a través de modelación y simuladores	Estudiantes de ingeniería	sí	sí		sí	
Romo Vázquez (2014)	Análisis documental de los fundamentos teóricos de la modelización. Caso de éxito con orientación en ingeniería biomédica.	Estudiantes de ingeniería	sí	sí		sí	

A continuación, se presentará el contenido específico, de la bibliografía analizada, que aporta a responder la pregunta de investigación de este trabajo.

Romo Vázquez (2014) reúne en su artículo, la evolución de los fundamentos teóricos de la modelización matemática para ingenieros. Se presenta la modelización como la herramienta matemática más importante de las formaciones profesionales, que no forman futuros matemáticos, como las ingenierías. La autora recapitula como se ha considerado a las matemáticas como una disciplina de servicio, con la potencialidad de ser una herramienta que resuelve de manera eficaz los problemas prácticos, a través de la modelización.

Se identifica también una jerarquía de competencias necesarias para el uso de los modelos matemáticos. El primer nivel es el de la manipulación, relacionado con las matemáticas básicas, usando habilidades algebraicas, sustitución de fórmulas, esencialmente mecánica. En un segundo nivel está la competencia de la interpretación, que es la habilidad de interpretar las formas del modelo, es esencialmente reactiva. La iteración que surge entre la manipulación y la interpretación permite desarrollar el tercer nivel que es la aplicación del modelo. En este último nivel se aplica la interpretación, se hacen recomendaciones, es esencialmente proactiva (Romo Vázquez, 2014).

Por último, Romo Vázquez (2014) plantea diversos cuestionamientos para el diseño de actividades didácticas basadas en la modelización matemática. Por ejemplo: ¿Las competencias de modelización pueden ser tratadas en los cursos de matemáticas de futuros ingenieros? ¿De qué tipo de herramientas teóricas y metodológicas dispone la matemática educativa para diseñar actividades didácticas para una formación de ingenieros? Y muestra después el diseño de una actividad orientada en la ingeniería biomédica.

En un estudio realizado por el matemático Pierre-Vincent Quéré (2017), siguiendo el enfoque según la TAD, se analizaron las necesidades matemáticas praxeológicas que encuentran los ingenieros en su trabajo diario, "en el lugar de trabajo" (*workplace*). El estudio se realizó a través de una encuesta y algunas entrevistas con ingenieros egresados de escuelas francesas. El artículo muestra que las matemáticas no deben considerarse sólo como una "herramienta" (*toolbox*), pues los ingenieros en ocasiones necesitan tener una comprensión del funcionamiento de lo que emplean en su lugar de trabajo.

Los resultados encontrados por Quéré (2017), son clasificados en tres tipos de praxeologías: (1) un tipo general de tarea, como resolver un problema, comunicar, usar técnicas o tecnologías, que involucran elementos matemáticos. Este tipo de tareas generales, mostraron que el rigor, la lógica y una serie de conocimientos básicos de matemáticas (a veces considerados inútiles), son necesarios para el trabajo diario de los ingenieros, y además les permiten comunicarse eficazmente en su entorno laboral. (2) El segundo tipo de praxeología encontrada en el lugar de trabajo son tareas específicas como simulación, modelado, análisis de datos y cálculo, que están directamente relacionadas con técnicas matemáticas. (3) El último tipo, es la combinación de razonamiento y uso. Para un ingeniero, es necesario interconectar una tecnología, o incluso una teoría, a una técnica utilizada en un tipo específico de tarea matemática.

La matemática Ruth Rodríguez (2017), muestra la problemática de la formación de ingenieros desde la perspectiva de la matemática educativa. En su artículo, muestra los esfuerzos elaborados por profesores e investigadores latinoamericanos en el problema de la matemática educativa para estudiantes de ingeniería. Los ejemplos de estrategias aplicadas se centran en la enseñanza de las matemáticas a través de la modelización y simulación.

En una publicación anterior de Rodríguez Gallegos & Quiroz Rivera (2015), se analiza el uso de la modelización matemática para la enseñanza de Ecuaciones Diferenciales a través de circuitos RC (Resistor-Capacitor) y RL (Resistor-Inductor). Además, se detalla la forma en como la tecnología, a través de simuladores, promueve el desarrollo de la modelización matemática en estudiantes de ingeniería.

Si bien Rodríguez Gallegos (2017) y Rodríguez Gallegos & Quiroz Rivera (2015), consideran la TAD, también consideran las obras de Blum y Niss (1991) y Niss, Blum y Galbraith (2007), como parte de su fundamento en cuanto a la modelización matemática, descrita simplemente como la relación entre la situación real o el problema original y las matemáticas.

Entendiéndose por modelo matemático las representaciones gráficas del objeto matemático estudiando, Rodríguez Gallegos (2017) muestra un ciclo de modelización adaptado a la noción de una ecuación diferencial. Dicho planteamiento hace énfasis en desarrollar un modelo pseudo-concreto que sea adecuado al modelo físico y matemático de la problemática que se estudia. Plantea como objetivo que este enfoque de modelaje se realice en diversos fenómenos no matemáticos, que en estudios de ingeniería suele ser la física, pero que también pueden ser otros dominios, como química, biología o economía. La autora hace también énfasis en la necesidad de hacer explícita las conexiones entre las disciplinas que conforman las áreas STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*), de manera que se promueva la interconexión entre materias.

En una reciente publicación, Doukhan, Gueudet & Quéré (2024) realizaron un estudio para investigar las praxeologías desarrolladas por los profesores que enseñan matemáticas a no especialistas, por ejemplo, un estudiante de ingeniería. En dicho estudio se definen cinco tipos de tareas, las cuáles se relacionan a las principales dificultades encontradas en los estudiantes al aprender matemáticas. Estos cinco tipos de tareas sugieren variables o factores a considerar en la elaboración de estrategias de enseñanza para mejorar la conexión entre la teoría matemática y su aplicación en la ingeniería. Las variables son: (1) Vincular el contenido matemático con otros contenidos del curso ( $T_{lmo}$ ), (2) Enseñar modelos matemáticos ( $T_{mm}$ ), (3) Enseñar matemáticas básicas ( $T_{bm}$ ), (4) Restaurar la confianza de los estudiantes en sus habilidades matemáticas ( $T_{scm}$ ) y (5) Fomentar el interés y la participación de los estudiantes en las matemáticas ( $T_{iem}$ ).

## CONCLUSIONES

La enseñanza de las matemáticas en la formación de ingenieros requiere una actualización constante para asegurar su efectividad en la resolución de problemas contemporáneos. A partir de la revisión de la literatura analizada, se han identificado varias estrategias didácticas que pueden mejorar significativamente la conexión entre los conceptos teóricos de las matemáticas y su aplicación en el ámbito profesional de la ingeniería.

En primer lugar, la modelización matemática se establece como una herramienta esencial en la formación de ingenieros. Romo Vázquez (2014) destaca que la modelización no solo actúa como un recurso para resolver problemas prácticos, sino que también permite a los estudiantes desarrollar competencias para la interpretación y aplicación de resultados. Esta progresión es fundamental para que los futuros ingenieros sean capaces de aplicar las herramientas matemáticas a situaciones reales.

Además, el estudio de Quéré (2017) subraya que las matemáticas deben ser vistas más allá de una simple herramienta; es crucial que los ingenieros comprendan el impacto que tienen en el contexto laboral. Las praxeologías identificadas en su investigación revelan que las tareas de los ingenieros sí requieren un dominio sólido de las matemáticas, para lograr interconectar una tecnología o una teoría, a una técnica o tarea en sus actividades laborales.

Por otro lado, el trabajo de Doukhan, Gueudet y Quéré (2024) proporciona un marco práctico al identificar variables clave para mejorar la enseñanza de las matemáticas. Al vincular el contenido matemático con otros cursos, enseñar modelos matemáticos y fomentar la confianza y participación estudiantil, se puede crear un entorno educativo más dinámico y efectivo.

Finalmente, Ruth Rodríguez (2017) resalta la importancia de didácticas como la modelización y simulación para enseñar conceptos matemáticos complejos. Estas metodologías, además de facilitar el aprendizaje, también promueven una interconexión entre disciplinas STEM, lo cual es esencial para abordar problemas multidimensionales en ingeniería.

En conclusión, para mejorar la conexión entre los conceptos teóricos de las matemáticas y su aplicación práctica en ingeniería, es fundamental integrar la modelización matemática y el aprendizaje interdisciplinario. Estas estrategias promueven la comprensión profunda del contenido teórico, alcanzando el desarrollo de competencias de interpretación y aplicación de modelos. Además, son actividades que fomentan un aprendizaje activo y colaborativo. La implementación de estas estrategias no solo ayudará a la formación académica, sino que también les proporcionará competencias para el mundo laboral contemporáneo. Con la aplicación de estas estrategias, los estudiantes de ingeniería tendrán mejor preparación para el entorno profesional que presenta complejos retos en campos con una fuerte base científica y en particular matemática, tales como la computación cuántica, la electromovilidad, la industria inteligente, entre muchas otras. Trabajos como este pueden tener un impacto positivo en la búsqueda de mejoras en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas a nuestros futuros ingenieros

Para terminar, hacemos un agradecimiento a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo a este doctorado. Además, agradecemos al profesor afiliado Guy Athanaze por su orientación en la investigación. Y finalmente, agradecemos a Benjamin Rontard, encargado de cooperación universitaria de la embajada de Francia en México y al Consulado de Francia en Monterrey por los apoyos en la gestión de este proyecto.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Blum, W. & 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. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00302716>
- Chevallard, Y. (2011). Didactique fondamentale. Module 1: Leçons de didactique. Université Aix-Marseille. [http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/IMG/pdf/DFM\\_2011-2012\\_Module\\_1\\_LD\\_.pdf](http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/IMG/pdf/DFM_2011-2012_Module_1_LD_.pdf)
- Doukhan, C., Gueudet, G., & Quéré, P. V. (2024). Teaching mathematics to non-specialists at university: a praxeological approach. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 1-20.
- Mercat, C. (2022). Case study from Université Claude Bernard, Lyon 1. *Open Education Studies*, 4(1), 120-135. <https://doi.org/10.1515/edu-2022-0007>
- Mercat, C. (2022). Introduction to Active Learning Techniques. *Open Education Studies*, 4(1), 161-172. <https://doi.org/10.1515/edu-2022-0010>
- National Academy of Engineering. (2008). *14 Grand Challenges for Engineering in the 21st Century*. National Academy of Sciences. <https://www.engineeringchallenges.org/challenges/16091.aspx>
- 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.
- Quéré, P. V. (2017). French engineers' training and their mathematical needs in the workplace: Interlinking tools and reasoning. In Tenth Congress of the European Mathematical Society for Research in Mathematics Education.
- Quéré, P. V. (2022). Bridging the mathematics gap between the engineering classroom and the workplace. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 53(5), 1190-1212. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2021.2014585>
- Rodríguez Gallegos, R., & Quiroz Rivera, S. (2015). Developing Modelling Competencies Through the Use of Technology. In: Stillman, G., Blum, W., Salett Biembengut, M. (Eds.), *Mathematical Modelling in Education Research and Practice. International Perspectives on the Teaching and Learning of Mathematical Modelling* (pp 443–452). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-18272-8\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-319-18272-8_37)
- Rodríguez Gallegos, R. (2017). Repensando la enseñanza de las matemáticas para futuros ingenieros: actualidades y desafíos. *IE Revista de investigación educativa de la REDIECH*, 8(15), 69-85.

- Rodríguez-Villarreal, O. (2023). A novel experimental method to calculate the fracture surface energy of geothermal bedrocks in realistic temperature conditions, as a contribution to climate change mitigation. (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León). <http://eprints.uanl.mx/26998/1/1080312833.pdf>
- Romo Vázquez, A. (2014). La modelización matemática en la formación de ingenieros. *Educación matemática*, 314-338.