

CONTRIBUCIÓN DE LAS ASIGNATURAS DE MATEMÁTICA A LA FORMACIÓN INTERDISCIPLINARIA DEL INGENIERO: UNA PROPUESTA BASADA EN EL CICLO DE MODELACIÓN MATEMÁTICA.

Emilio Cariaga López, Departamento de Ciencias Matemáticas y Físicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Temuco, ecariaga@uct.cl.

RESUMEN

En este trabajo se considera el problema de evaluar la contribución de las asignaturas de matemática a la formación interdisciplinaria del ingeniero. Para tal efecto se revisa el rol y la ubicación de las asignaturas de matemática en las mallas de ingeniería chilenas, y se evalúa su aporte a lo interdisciplinario. La metodología utilizada consiste en un análisis documental de la literatura del área con énfasis en los conceptos fundantes, y de las mallas curriculares de pregrado de ingeniería, las cuales son de dominio público desde los sitios web de las instituciones de educación superior. A partir de esta revisión se observa un aislamiento significativo de la matemática respecto de otras disciplinas, a partir de lo cual se evalúa la incorporación del ciclo de modelación matemática, como metodología de enseñanza y aprendizaje en los cursos de matemática. Se concluye que el ciclo de modelación matemática posee el potencial de contribuir significativamente a la formación profesional interdisciplinaria del ingeniero, siendo el principal obstáculo su débil implementación en la mayoría de las mallas curriculares chilenas, lo cual podría explicarse por la falta de capacitación de los docentes de matemática de esta metodología.

PALABRAS CLAVES: interdisciplinario, modelación matemática, matemática, mallas curriculares.

INTRODUCCIÓN

Ingeniería es la aplicación del conocimiento científico a la resolución de problemas del mundo real. El ingeniero se distingue de otros profesionales por su habilidad para resolver problemas complejos e implementar soluciones prácticas y económicamente viables.

En general, una actividad se dice interdisciplinaria si su ejecución requiere la cooperación de dos o más disciplinas, siendo cooperación el término distintivo (Frodeman et al., 2017). Por lo tanto, y en particular, un proceso formativo profesional en ingeniería será interdisciplinario si participan dos o más disciplinas, y si además debe existir cooperación entre las mismas para lograr un cierto producto u objetivo. Resulta evidente que la ingeniería es una profesión esencialmente interdisciplinaria en su práctica, y que por tanto sus procesos formativos también deberían serlo.

Desde el punto de vista formativo el ingeniero es un profesional que posee una sólida base matemática, sobre la cual se construyen otros saberes científicos tales como la física, química o biología, para luego, en una etapa intermedia, utilizarlos en las denominadas ciencias de la ingeniería, finalizando con un tercer estadio formativo de especialización en algún área de la ingeniería. Lo anterior describe *grasso modo* una malla curricular clásica de ingeniería en Chile.

Usualmente, en el ámbito de las matemáticas, se consideran de manera secuencial y parcelada temas tales como álgebra, cálculo, ecuaciones diferenciales, y métodos numéricos. La principal observación negativa al modelo ya descrito es la casi total ausencia de comunicación entre los

distintos cursos que conforman la malla curricular, lo cual explica en parte la percepción habitual del ingeniero recién egresado sobre su formación científica y/o matemática en el sentido de no tener convicción sobre la real utilidad de ésta en el ejercicio de su profesión.

En este trabajo examinamos la ubicación y el rol de la matemática en las definiciones curriculares actualmente existentes en Chile para la formación de ingenieros, y argumentamos en favor del ciclo de modelación matemática como una herramienta idónea para armonizar la matemática con lo interdisciplinario.

DESARROLLO

La Interdisciplinariedad en el Curriculum de Ingeniería

Como ya se dijo lo interdisciplinario obliga el concurso colaborativo de, al menos, dos disciplinas. Por otro lado, en una malla curricular tradicional las disciplinas están representadas por una o varias asignaturas. Surge, por tanto, naturalmente la pregunta: ¿de qué manera el diseño curricular contribuye a la formación interdisciplinaria del estudiante de ingeniería?, o dicho de otra manera,

¿Qué oportunidades de formación interdisciplinaria otorgan al estudiante de ingeniería chileno las actuales mallas curriculares?.

En el ámbito de esta pregunta de investigación revisamos la línea matemática en particular. Un primer paso metodológico consiste en examinar las mallas curriculares actuales, y su estructura, e identificar la existencia de potenciales factores que podrían contribuir en otorgar oportunidades de formación interdisciplinaria al estudiante de ingeniería (Schmal et al., 2008). Esta revisión nos permite proponer que:

- i) Un primer factor de colaboración entre disciplinas podría ser la estructura de (pre)requisitos, esto es, cuando una asignatura debe estar aprobada para inscribir otra ubicada en un semestre posterior.
- ii) Un segundo factor podría ser cuando una asignatura incluye en su programa de curso, al menos, dos disciplinas (en cuanto a contenidos) con la intención declarada de colaboración entre ambas. Usualmente, este tipo de cursos se ubica en los últimos semestres de la malla.
- iii) Un tercer factor podrían ser las prácticas profesionales incluidas en la malla, las cuales son casi la única instancia formativa que ubica al futuro profesional en contextos totalmente realistas, y en donde, en particular, deberá interactuar con profesionales y personas con perfiles curriculares y humanos muy diversos.
- iv) Un cuarto factor, con algún grado de independencia de los tres anteriores, consiste en las metodologías de enseñanza y aprendizaje utilizadas al interior de cada asignatura. En efecto, resulta evidente que una metodología tal como el Aprendizaje Basado en Proyectos posee un mayor potencial interdisciplinario que una mera clase expositiva (la cual abunda en las aulas chilenas como lo han constatado diversos estudios).

El examen de diversas mallas nos permite conjeturar que la formación interdisciplinaria no fue considerada en su diseño original de manera explícita y consistente (Wineburg et al., 2000). Por otro lado, cuando se evalúa el perfil de egreso (declarado oficialmente y el observado) surgen diversas dudas sobre la capacidad del joven ingeniero de integrar exitosamente equipos interdisciplinarios. Estos aspectos también se constatan en las ciencias básicas, y en particular en los créditos asignados a la matemática. Por esta razón, en lo que sigue examinamos con mayor detalle la real, o potencial contribución de la matemática a la formación interdisciplinaria del futuro ingeniero.

La Matemática en el Curriculum de Ingeniería

En Chile, la formación base en matemática de todo ingeniero incluye al menos los siguientes cursos:

- i) Álgebra,
- ii) Álgebra Lineal,
- iii) Cálculo Diferencial e Integral (univariado y multivariado),
- iv) Ecuaciones Diferenciales (ordinarias, con mayor frecuencia),
- v) Métodos Numéricos y
- vi) Probabilidades y Estadística.

Algunas mallas incluyen adicionalmente uno o dos cursos en Investigación de Operaciones. Se constata un fuerte énfasis en la matemática propia de sistemas continuos, y una casi total ausencia de otros paradigmas, tales como, matemática discreta, lógica difusa, redes neuronales, etc...(Román et al., 2007). Lo mismo se observa en el caso de los cursos de estadística los cuales se focalizan casi exclusivamente en las distribuciones de probabilidad.

Respecto de su ubicación relativa en la malla curricular se observa usualmente una fórmula secuencial a lo largo de los cuatro o cinco primeros semestres. Diversos autores han constatado la falta de comunicación entre estos cursos, la falta de contexto ingenieril al interior de ellos, y por sobre todo la falta de una metodología integradora que le añada valor profesional a la formación matemática. Estas consideraciones nos motivan a formular la siguiente pregunta de investigación:

¿De qué manera está contribuyendo la matemática presente en las mallas curriculares a la formación interdisciplinaria del ingeniero?

Un primer esbozo de respuesta fundamentado en la experiencia y en diversos estudios internacionales nos permite conjeturar que:

Lo interdisciplinario no es un factor relevante considerado por la comunidad matemática docente cuando responde a las solicitudes curriculares de las escuelas de ingeniería.

En este sentido la implementación del ciclo de modelación matemática al interior de las aulas escolares y universitarias de matemática ha generado suficiente evidencia sobre su capacidad para resolver varios de los problemas mencionados anteriormente (Brito-Vallina et al., 2011). Por tal motivo, examinamos el ciclo de modelación matemática a la luz de las preguntas y falencias ya mencionadas.

El Ciclo de Modelación Matemática

El ciclo de modelación matemática (CMM en adelante) es la metodología usual a la que recurre el método científico cuando el objetivo de la investigación es obtener una representación o caracterización matemática de una realidad medible, siendo ampliamente utilizado en prácticamente todas las áreas del saber (Banerjee, 2014; Giordano et al., 2013). El CMM es esencialmente iterativo en el sentido de que su objetivo no es obtener el modelo matemático definitivo o final sino construir una primera aproximación, para luego evaluar caminos de mejora los cuales pueden referirse a aspectos no necesariamente matemáticos. El CMM está constituido por cuatro procesos base: formular, resolver, interpretar y validar, los cuales pueden no ser disjuntos (ver figura 1). En efecto,

- i) El primer proceso consiste en *formular* un modelo matemático a partir de la observación de una realidad medible, esto es, de una realidad desde la cual se puedan obtener datos experimentales. La formulación en sí misma requiere la participación de expertos de otras áreas distintas a la matemática, de tal modo que es aquí justamente en donde la matemática conversa de manera colaborativa con otras áreas del saber. Un término asociado a este proceso es la *matematización*, esto es, transformar el fenómeno a modelar en un objeto formulado con el lenguaje y protocolos técnicos propios de la matemática. Mecanismos usuales considerados en la obtención del modelo matemático: la detección de regularidades en los datos experimentales, la aplicación de las leyes clásicas de conservación, ajustar una expresión funcional determinística o aleatoria, etc...
- ii) Por *modelo matemático* nos referimos a cualquier objeto propio de la matemática en cuanto sea una representación de una realidad observable. Números, objetos geométricos, funciones, ecuaciones diferenciales, distribuciones de probabilidad, series de tiempo, redes neuronales, etc... son algunos ejemplos de modelos matemáticos.
- iii) Una vez formulado el modelo matemático el CMM se ubica en el ámbito de una idealidad matemática y por lo tanto comienzan a operar metodologías propias de la matemática, cuyo principal objetivo es *resolver* el modelo matemático, lo cual, por ejemplo, puede significar calcular, o aproximar una o varias incógnitas, estimar uno o varios parámetros presentes en una expresión funcional, etc...En la resolución de un modelo matemático se distinguen métodos analíticos, numéricos o cualitativos.
- iv) Una vez que el modelo matemático se ha resuelto en algún sentido, el siguiente proceso consiste en *validarlo* para lo cual se cuantifica su grado de representatividad comparando la solución matemática con los datos experimentales disponibles. Sólo una vez que el modelo matemático ha sido validado se puede utilizar para mejorar la comprensión del fenómeno que le dió origen, y eventualmente para fines predictivos.

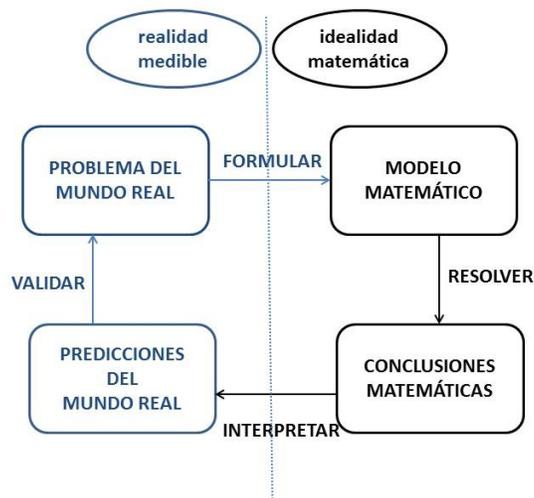


Figura 1. Ciclo de Modelación Matemática (Fuente: elaboración propia).

Por su propia construcción el CMM requiere para su ejecución exitosa de la cooperación de dos o más disciplinas, es decir, el CMM es una metodología esencialmente interdisciplinaria. En efecto,

- i) La comprensión del problema del mundo real requiere de al menos una disciplina no matemática. Una comprensión profunda del fenómeno a modelar es esencial para lograr un buen modelo matemático. En esta etapa la matemática debe recibir información relevante desde otras disciplinas. La formulación del modelo matemático es, quizás, la etapa más interdisciplinaria del CMM.
- ii) La matemática es otra disciplina involucrada. Desde la perspectiva del ingeniero la matemática es una disciplina de apoyo, lo cual podría requerir de él la capacidad de interactuar con licenciados, profesores o ingenieros matemáticos. En general, la formación en ciencias básicas presentes en la malla curricular, deberían también desarrollar en el ingeniero la capacidad de colaborar profesionalmente con físicos, químicos, biólogos, y matemáticos.
- iii) La resolución del modelo matemático requiere usualmente de herramientas computacionales e informáticas. Este es otro ámbito de cooperación con otras disciplinas, especialmente, informáticas y computacionales.
- iv) La validación del modelo matemático no sólo pasa por aspectos científicos, sino que también resulta relevante el impacto de la implementación del modelo sobre el contexto que le dió origen, tal como podría ser el impacto social de una eventual solución.
- v) Finalmente, la implementación del modelo matemático ya validado requiere por sí sola la colaboración interdisciplinaria.

El ingeniero no sólo debería ser capaz de construir un modelo matemático idóneo, como uno de sus recursos cuantitativos, para resolver un problema, sino que también debería ser capaz de evaluar el impacto, por ejemplo social, de las decisiones que se basarán en esta herramienta. Vemos, por tanto, que aquí también se abre una puerta de colaboración con las humanidades, y otras áreas del saber social.

En síntesis, la experiencia de aprendizaje creada por la ejecución de al menos una iteración del CMM en ambientes realistas de ingeniería posee el enorme potencial de contribuir a que el futuro ingeniero adquiera la competencia de identificar y apoyarse colaborativamente en los saberes propios de otras disciplinas.

RESULTADOS

- i) La práctica docente actualmente imperante en la mayoría de las aulas chilenas de ingeniería no permite aseverar que las asignaturas de matemática contribuyen significativamente a su formación interdisciplinaria.
- ii) El ciclo de modelación matemática es una metodología de enseñanza y aprendizaje que por su propia estructura y diseño posee el potencial de contribuir significativamente a la formación interdisciplinaria del ingeniero.

CONCLUSIONES

En este estudio se ha considerado el problema de evaluar la ubicación y rol de la matemática en las mallas curriculares de ingeniería en Chile en relación a su contribución a la formación interdisciplinaria del ingeniero. Se constata que los cursos tradicionales de matemática no consideran lo interdisciplinario como un factor relevante. En este sentido se propone la incorporación del ciclo de modelado matemático a las asignaturas de matemática como una estrategia de enseñanza y aprendizaje eficaz que obliga a una colaboración real con otras disciplinas distintas de la matemática.

Como continuación de este trabajo se proyecta la construcción de rúbricas que permitan evaluar *en aula* de manera objetiva la contribución del ciclo de modelación matemática a la formación interdisciplinaria del ingeniero.

AGRADECIMIENTOS

EC agradece al Departamento de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad Católica de Temuco por el apoyo parcial dado a este estudio.

REFERENCIAS

S.Banerjee, Mathematical modeling: Models, Analysis and Applications, Chapman and Hall, 1st Edition, 2014.

M.Brito-Vallina, I.Alemán-Romero, E.Fraga-Guerra, J.Para-García, R.Arias-de Tapia, Papel de la modelación matemática en la formación de los ingenieros, Ingeniería Mecánica, 14(2), 2011.

R.Frodeman, J.Klein, R.Pacheco, The Oxford Handbook of Interdisciplinary (Oxford Handbooks), Oxford University Press, 2nd Edition, 2017.

F.Giordano, W.Fox, S.Horton, A First Course in Mathematical Modeling, Cengage Learning, 5th Edition, 2013.

H.Román, H.Torres-Silva, Matemática e ingeniería: nuevas conexiones, Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, 15(2), pp.216-217, 2007.

R.Schmal, A.Ruiz-Tagle, Una metodología para el diseño de un currículo orientado a las competencias, Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 16(1), pp.147-158, 2008.

S.Wineburg, P.Grossman, Interdisciplinary curriculum: Challenges to Implementation, Teachers College Press, 1st Edition, 2000.