

MAGÍSTER EN MATEMÁTICAS APLICADAS (PROFESIONAL) DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TEMUCO: UN CASO DE FORMACIÓN CONTINUA INTERDISCIPLINARIA DE POSGRADO.

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 que consiste en determinar las características que debería reunir un programa de formación terciaria del tipo magister para dar continuidad a la formación interdisciplinaria de un ingeniero. La metodología utilizada es de tipo cualitativa, basada en un estudio de casos. Específicamente, se considera como único caso el programa de Magíster en Matemáticas Aplicadas (Profesional) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Temuco, el cual inició sus actividades docentes en marzo del año 2014, contando a la fecha con tres versiones, y graduado seis estudiantes, de los cuales tres son ingenieros, y tres profesores de matemática. Se constata que el marco conceptual en el cual está fundado este posgrado es el ciclo de modelación matemática, el cual por sí solo posee la idoneidad técnica para promover competencias profesionales avanzadas en relación al pregrado, además de requerir, por su propia definición el concurso cooperativo de dos o más disciplinas distintas de la ingeniería. Se concluye el ciclo de modelación matemática posee la virtud de contribuir a la formación disciplinaria del ingeniero tanto a nivel de pregrado como de posgrado, en donde el posgrado examinado es un caso relevante a nivel país.

PALABRAS CLAVES: magíster, interdisciplinario, matemática, ciclo de modelación matemática, formación continua.

INTRODUCCIÓN

La Comisión Nacional de Acreditación en CNA-Chile (2013) define que los programas de Magíster, en general, corresponden a “estudios de nivel avanzado que procuran el desarrollo de competencias analíticas, sintéticas, de abstracción y de aplicación práctica”, reconociendo, además, el carácter académico, de investigación, o profesional al que este puede optar. Específicamente, un magíster profesional, según CNA-Chile (2013), se caracteriza por “poseer una orientación hacia la profundización, especialización, aplicación o práctica en el área de estudios...”.

El Magíster en Matemáticas Aplicadas de la Universidad Católica de Temuco (en adelante MMA-UCT) es un posgrado de carácter profesional, según lo define CNA-Chile (2013). Por otro lado, como se sabe, no existe una definición universalmente aceptada sobre lo que se entiende por “Matemática(s) Aplicada(s)”. Sin embargo, podemos aseverar que el sentido de su uso por parte del MMA-UCT se corresponde con diversas fuentes internacionales, tales como Lin (1976), SIAM (2008), y Wilson (2009), por citar sólo algunos ejemplos. En particular, en una referencia ya clásica como Lin (1976) se asevera que la Matemática Aplicada es

“Una disciplina que se ubica entre las ciencias empíricas y la matemática pura, y que se caracteriza por una actitud y una forma de pensar propias”.

El objetivo del MMA-UCT es formar graduados de un alto nivel profesional que posean las competencias para aplicar la matemática al análisis cuantitativo de sistemas y procesos complejos en el ámbito de la mecánica de fluidos computacional.

En Chile, a la fecha según CNA-Chile (2016), existen 9 programas de magíster acreditados en matemática, y 2 en didáctica de la matemática. De estos 9 posgrados sólo 1 tiene objetivos declarados en el ámbito de la matemática aplicada (Región del Bio-Bio). Por lo tanto, el MMA-UCT nace con la vocación de satisfacer esta demanda formativa desde la Región de la Araucanía al sur de Chile.

En este trabajo se consideran las capacidades potenciales de formación interdisciplinaria del MMA-UCT.

DESARROLLO

En lo que sigue se describe el ciclo de modelación matemática y se argumenta en favor de su capacidad intrínseca de requerir el concurso colaborativo de otras disciplinas distintas de la matemática, esto es, se discute su carácter interdisciplinario. Luego se presenta la estructura curricular del Magister en Matemáticas Aplicadas de la Universidad Católica de Temuco la cual está fundamentada en el ciclo de modelación matemática. Finalmente, se relaciona esta oferta de posgrado con el curriculum de pregrado, esto en un contexto del continuo educativo.

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.

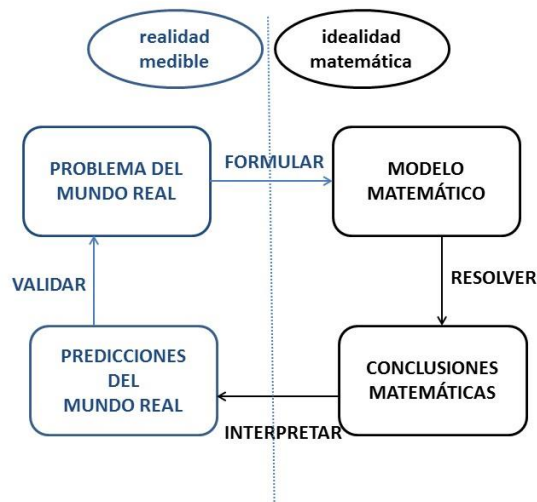


Figura 1. Ciclo de Modelación Matemática (Fuente: elaboración propia).

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.

En la siguiente sección se presenta un caso de implementación del CMM en la estructura curricular de un magíster profesional idóneo para ingenieros de distintas especialidades.

Estructura Curricular

El MMA-UCT traduce su objetivo declarado al ámbito curricular utilizando el CMM como parte del método científico, cuando éste es aplicado al estudio cuantitativo de fenómenos continuos. Aceptando el axioma de que cualquier área de la matemática posee aplicaciones conocidas, o aún no conocidas, el MMA-UCT ha optado por las ecuaciones diferenciales (ordinarias y parciales) como principal modelo matemático en el contexto del CMM. Esta decisión explica las cuatro líneas de especialización del MMA-UCT: Ecuaciones Diferenciales (Línea 1), Análisis Numérico (Línea 2), Fenómenos de Transporte (Línea 3), y Simulación Computacional (Línea 4), las cuales se traducen en la malla curricular descrita en la Tabla 1, en donde se especifica el número de créditos SCT (Sistema de Créditos Transferibles). La Línea 4 (Simulación Computacional) no posee una expresión explícita en los cursos, pues está incorporada al interior de cada curso de manera transversal. Por otro lado, la Actividad Formativa Equivalente corresponde a la nomenclatura actualmente en uso al interior de la Universidad Católica de Temuco para denotar la actividad final de graduación, que para la CNA-Chile (2013) puede ser un “proyecto, tesina, informe o artículo de estudio o experiencia aplicada”. El MMA-UCT considera *grosso modo* un Informe Técnico como actividad de graduación, culminando con un Examen de Grado público. El MMA-UCT posee 60 SCT según lo prescribe CNA-Chile (2013). Finalmente, mencionar que para el Optativo y el Seminario mencionados en Tabla 1 se ofrecen 4 opciones según las 4 líneas definidas previamente.

Tabla 1: Malla Curricular MMA-UCT con número de créditos SCT (Sistema de Créditos Transferibles).

SEMESTRE 1	SEMESTRE 2	SEMESTRE 3
Ecuaciones Diferenciales 1 [6SCT]	Ecuaciones Diferenciales 2 [6SCT]	Actividad Formativa Equivalente [20 SCT]
Análisis Numérico 1 [4SCT]	Análisis Numérico 2 [4SCT]	Seminario [4SCT]
Fenómenos de Transporte 1 [4SCT]	Fenómenos de Transporte 2 [4SCT]	
Cálculo Avanzado [4SCT]	Optativo [4SCT]	TOTAL SCT: 60.

Continuo Educativo

Una visita a los sitios web de las carreras de ingeniería de las principales universidades de Chile permite examinar las respectivas mallas curriculares, y constatar que en todas ellas existe un conjunto de asignaturas en el área del Cálculo con diferentes nombres y distribución de contenidos. Por otro lado, y con menor frecuencia, se observa un curso en las áreas de Ecuaciones Diferenciales Ordinarias y/o Métodos Numéricos. Por lo tanto, resulta evidente que una propuesta de posgrado del tipo MMA-UCT aporta al continuo educativo del ingeniero en los siguientes aspectos:

- (i) complementa la formación disciplinaria en el ámbito del Cálculo y sus aplicaciones, incluyendo un tratamiento avanzado de las soluciones analíticas de las ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales,
- (ii) complementa la formación disciplinaria en el ámbito de los métodos numéricos, con énfasis en la solución numérica de ecuaciones diferenciales parciales,
- (iii) complementa la formación en física aplicada, en el ámbito de los fenómenos de transporte,
- (iv) complementa la formación en cuanto a habilidades del uso de recursos computacionales avanzados,
- (v) integra los saberes mencionados en los puntos anteriores en una actividad de graduación final centrada en el CMM,
- (vi) amplía capacidades de trabajo interdisciplinario del pregrado.

El ingeniero graduado del MMA-UCT amplía significativamente su campo laboral toda vez que ha adquirido, entre otras, las competencias necesarias para ejercer docencia de pregrado en carreras científico-tecnológicas, tales como ingenierías civiles de distintas especialidades, pudiendo dictar cursos de ecuaciones diferenciales y/o métodos numéricos para los cuales existen pocos especialistas desde la Región de la Araucanía al sur.

RESULTADOS

El MMA-UCT cuenta con tres versiones a la fecha. La primera versión (2014-2015) matriculó a 8 estudiantes (6 profesores de matemática y 2 ingenieros), la segunda versión (2015-2016) matriculó a 9 estudiantes (4 profesores de matemática y 5 ingenieros), la tercera versión (2017-2018) matriculó a 10 estudiantes (5 profesores de matemática, 4 ingenieros, y 1 licenciado en matemática). Durante el año 2017 el MMA-UCT se encuentra en proceso de autoevaluación con el propósito de obtener la acreditación por parte de CNA-Chile.

El cuerpo académico está compuesto por 11 académicos investigadores activos a tiempo completo, de los cuales 6 pertenecen al Departamento de Ciencias Matemáticas y Físicas, 3 a la Escuela de Ingeniería Informática, y 2 a la Escuela de Ingeniería de Procesos Industriales. Todos pertenecientes a la Facultad de Ingeniería. Evidentemente el cuerpo docente es interdisciplinario.

A la fecha el MMA-UCT ha graduado 6 profesionales de los cuales 3 son ingenieros (1 mecánico y 2 industriales). Evidentemente, los 3 ingenieros graduados han ampliado sus capacidades de trabajo interdisciplinario, lo cual se puede fundamentar con el perfil de egreso definido en base a los procesos que definen el CMM.

El CMM posee la capacidad de contribuir a la formación interdisciplinaria del ingeniero, tanto a nivel de pregrado, como de posgrado.

CONCLUSIONES

En este trabajo se han revisado los fundamentos conceptuales del Magíster en Matemáticas Aplicadas de la Universidad Católica de Temuco, en relación a la formación continua del ingeniero egresado de las universidades chilenas. Esta revisión teórica, se basa en la experiencia acumulada en tres versiones, y en el proceso de autoevaluación ejecutado durante el periodo 2016-2017.

Proyectamos este informe con la construcción de instrumentos validados que nos permitan observar cómo evolucionan en el tiempo distintas habilidades de pre y posgrado en un conjunto de estudiantes a los cuales se pueda seguir desde el ingreso a la universidad hasta su graduación del posgrado.

Finalmente, consideramos que este reporte contribuye a evaluar en qué medida la actual oferta de posgrado en Chile, a nivel de magíster, está contribuyendo efectivamente al continuo educativo del ingeniero. En particular, en el ámbito interdisciplinario. En este sentido el MMA-UCT amplía la tradicional oferta de posgrado en matemática pura hacia la matemática aplicada, y con carácter profesional.

REFERENCIAS

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

Comisión Nacional de Acreditación CNA-Chile (2013). Aprueba criterios para la acreditación de programas de posgrados, Resolución exenta DJ N° 006-4.

Comisión Nacional de Acreditación CNA-Chile (2016), Recuperado de <https://www.cnachile.cl/>

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

Lin, C.C. (1976). On the role of applied mathematics. *Advances in Mathematics*, 19, 267-288.

Society for Industrial and Applied Mathematics SIAM (2008). Careers in applied mathematics...alternatives to academia for STEM mayors. Recuperado de <http://www.siam.org/>

Kaiser, G., & Sriraman, B. (2006). A global survey of international perspectives on modelling in mathematical education, *ZDM Mathematics Education*, 38(3), 302-310.

Wilson, D.P. (2009). Mathematics is applied by everyone except by applied mathematicians.