



## **La Modelación Matemática y su función articuladora entre saberes en la formación de un ingeniero**

Paula Andrea **Rendón-Mesa**

Universidad de Antioquia  
Colombia

[paula.rendon@udea.edu.co](mailto:paula.rendon@udea.edu.co)

Pedro Vicente **Esteban** Duarte

Universidad EAFIT  
Colombia

[pesteban@eafit.edu.co](mailto:pesteban@eafit.edu.co)

Jhony Alexander **Villa-Ochoa**

Universidad de Antioquia  
Colombia

[jhony.villa@udea.edu.co](mailto:jhony.villa@udea.edu.co)

### **Resumen**

Este artículo presenta avances de una investigación que estudia las maneras cómo la modelación matemática se articula a la formación de los futuros ingenieros de Diseño de Producto, en la Universidad EAFIT (Medellín, Colombia). Se analiza el uso que los estudiantes hacen de los modelos (matemáticos y no matemáticos) para dar cuenta de las relaciones entre los campos de conocimiento propios a su proceso formativo. Las producciones escritas evidencian que los estudiantes usan las matemáticas para la creación de objetos pero no para mejorar las condiciones de estos. En este sentido se propone la modelación matemática como una estrategia para reconocer las problemáticas del contexto y las necesidades de formación en su campo profesional, y articularlos con conocimientos matemáticos. Con esto se busca que la modelación matemática permita a los estudiantes de Ingeniería de Diseño de Producto reflexionar sobre los modelos y sus relaciones de representación.

*Palabras clave:* modelos, modelación matemática, ingeniería, geometrización.

### **Contextos y modelación en las matemáticas para la formación de ingenieros**

En la literatura internacional se plantea un amplio debate frente al papel que tienen las matemáticas en el aula de clase de los estudiantes de ingeniería. Algunos investigadores

reconocen esta área del saber cómo aspecto fundamental para desarrollar competencias que permitan a los estudiantes desempeñarse académica y laboralmente (Camarena, 2012; Córdoba, 2011; Mendible & Ortiz, 2003); otros han centrado la atención en cómo deben enseñarse en el nivel de formación profesional (Cardella, 2010) y otros tantos, han indagado por las visiones que los estudiantes poseen frente al rol que las matemáticas tienen en su proceso de aprendizaje (Craig, 2013).

El debate sobre los enfoques que deben permear la formación matemática, en la educación en ingeniería, continúa creciendo a medida que nuevas demandas siguen emergiendo para estos profesionales. Así por ejemplo, Sunthonkanokpong (2011) ha argumentado que los ingenieros del futuro han de ser aprendices a lo largo de la vida, poseer habilidades para delimitar y resolver problemas, tanto como para ponerlos en contextos socio-técnicos y operacionales. Este investigador también reconoce la necesidad de que tales profesionales posean altos estándares comunicativos, sean flexibles, dinámicos y lideren los procesos. Este tipo de necesidades de formación impone a la educación matemática desafíos en la enseñanza y el aprendizaje que permitan a los estudiantes desempeñarse en los diferentes contextos que le atribuye su futuro campo profesional. De esa manera, se espera que el futuro ingeniero pueda solucionar, diseñar y resolver problemas; y así ser productivo y creativo para modificar el entorno. En coherencia con los aspectos presentados, las matemáticas en ingeniería deben permitir establecer conexiones entre los aspectos propios del contenido disciplinar y la “realidad” inherente a su campo de acción profesional. Este tipo de conexiones exigen, de acuerdo con Reséndiz (2011), que los futuros profesionales integren sus saberes en diferentes contextos.

La vinculación de diversos contextos a los procesos educativos en matemáticas ha llamado la atención de algunos investigadores; en particular Masingila, Davidenko, & Prus-Wisniowska (1996) han puesto de relieve las características del aprendizaje de las matemáticas cuando se desarrolla en correspondencia con situaciones extraescolares y su diferencia cuando se hace al interior del aula de clase; por su parte, Greer (1997) ha llamado la atención frente al papel que tienen los contextos para reducir la brecha entre el conocimiento específico de un campo de formación y las matemáticas formales; de otro modo, Beswick (2011) ha puntualizado que a través de diferentes contextos se motiva e involucra a los estudiantes y se pone a prueba su capacidad para solucionar problemas reales. En relación con el estudio de contextos “reales” y las conexiones entre ellos y las matemáticas, la modelación matemática se convierte en una herramienta ampliamente defendida en la educación en ingeniería (Camarena, 2012; Cardella, 2010; Diefes-Dux, Zawojewski, Hjalmarson, & Cardella, 2012; Gainsburg, 2013).

En el campo de la ingeniería se ha reconocido como prácticas matemáticas, la modelación matemática y la capacidad de usar modelos (Cardella, 2008). De manera general, la modelación matemática puede entenderse como un proceso de obtención y validación de modelos con los cuales puede delimitarse un problema o fenómeno de la vida real, simplificarse o idealizarse; en ocasiones es posible llegar a matematizarlo o resolverlo interpretando datos para finalmente validarlo y confrontarlo con resultados de la realidad (Blum, Galbraith, Henn, & Niss, 2007; Villa-Ochoa, 2007). A pesar de ello, en la experiencia en Ingeniería de Diseño de Producto los estudiantes tienden a observar y analizar las formas presentes en la “realidad” dejando de lado las variables que generan otras fuentes de datos y otro tipo de modelos (Rendón-Mesa & Esteban, 2013; Rendón-Mesa, Esteban, & Villa-Ochoa, 2013).

Diferencias similares en la manera de construir modelos han sido reportadas por Gainsburg (2013), quien a partir de sus estudios con ingenieros de estructuras ha observado que los

estudiantes de este tipo de ingeniería raramente se involucran en la construcción de modelos a través de la generalización o ajuste de curvas debido, en algunos casos, a la imposibilidad de acceder a los datos de los cuales se construyen los modelos. En lugar de ello, el futuro campo de acción de este tipo de ingenieros exige que los principales desafíos para estos estudiantes implica una comprensión profunda de fenómenos estructurales para simplificarlos o idealizarlos a través de la matematización.

Al igual que la experiencia reportada por Gainsburg (2013), los estudiantes de Ingeniería de Diseño de Producto, *grosso modo*, deben partir de un problema o idea acerca de un producto que probablemente no existe, y con base en ello, construir diseños que permitan atender ciertas necesidades derivadas del mercado y de la sociedad. Este proceso de construcción de un diseño involucra modelos matemáticos y no matemáticos. Tales prácticas hacen que las interacciones y usos de las matemáticas en la construcción de diseños de producto sean fuente de interés para la investigación en Educación Matemática y Educación en Ingeniería.

En correspondencia con lo anterior se viene desarrollando una investigación que estudia las maneras mediante las cuales la modelación matemática se articula a la formación de los futuros ingenieros de Diseño de Producto. Derivado de esta investigación se presenta este artículo, cuyo propósito es analizar cómo los modelos (matemáticos y no matemáticos) y la relación de representación que los estudiantes consolidan, posibilita un uso más reflexivo de las matemáticas y su vinculación con el campo de formación. Dicho análisis se realiza a partir de un episodio en el marco de una asignatura denominada Modelación Matemática. En este curso se observa que la representación se da de forma rígida, lo que impide abordar las relaciones espontáneas que pueden surgir entre los modelos y el fenómeno estudiado.

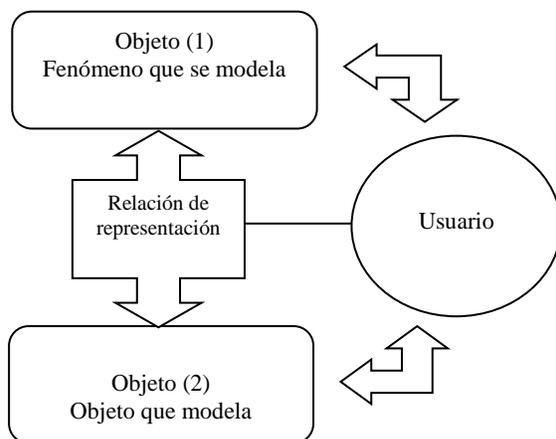
### **Modelos y modelación en educación matemática**

Conforme se ha mencionado anteriormente, la modelación matemática considera conexiones entre dos dominios, uno de ellos el matemático y el otro, generalmente denominado, “mundo real”. En ese sentido, cuando este tipo de procesos se lleva a la práctica en cursos de formación de estudiantes de ingeniería, es posible preguntarse por las interacciones entre las matemáticas y los conocimientos del campo de acción de un ingeniero. Esto sugiere que las matemáticas deben ser una herramienta para estudiar la “realidad” para que los futuros profesionales puedan estructurarla y matematizarla. Para lograr este propósito es necesario reconocer cuáles son las acciones que realizan los estudiantes, que se relacionan con los modelos que ellos construyen y el proceso de modelación matemática que da cuenta de la articulación entre los dos campos de conocimiento vinculados a la formación de un ingeniero, en este caso, de diseño de producto.

En general, cuando la matemática es aplicada a una situación extra-matemática, algún tipo de modelo matemático está involucrado explícita o implícitamente en ella (Blomhøj, 2004). Esta situación exige en el contexto educativo que los estudiantes reflexionen sobre los alcances y roles que tienen los modelos matemáticos frente a los fenómenos de los cuales emergen. A partir de la comprensión de Guerrero (2010) y Giere (1999), los modelos matemáticos pueden considerarse como estructuras, en ellos conviene reconocer los alcances, limitaciones y posibilidades que ofrecen frente a aquello que es modelado. Para ilustrar parte de estas relaciones se retoma un ejemplo (no matemático) de Giere (1999), en el que se ilustra la función representacional de un modelo. Este ejemplo también es presentado por Guerrero (2010, p. 176) en los siguientes términos:

- i. El mapa no es una entidad lingüística, es un objeto físico.
- ii. Usualmente los mapas no son pensados como instanciador (o proveedores de verdad) de una forma lingüística o ajustadores a una descripción.
- iii. La relación de representación es trídica: se utiliza (los usuarios) un objeto (el mapa) para representar otro objeto (la ciudad). En otras palabras, hay una relación de representación entre el objeto representado (la ciudad) y el objeto que representa (el mapa), establecida y utilizada por los usuarios. Es en este sentido que se acostumbra a decir que el mapa es un modelo de la ciudad.
- iv. El mapa representa a la ciudad en ciertos aspectos (no en todos) y con cierto grado (aproximación y no de igualdad).

Conforme se mencionó anteriormente, la noción de modelo en Giere (1999) no se agota en la construcción de una representación, sino que, más allá de ello, pone de relieve una relación trídica entre el usuario (sujeto), el objeto que se modela y al objeto que modela; se establece entre los dos objetos una relación de representación. En el siguiente diagrama (*Figura 1*) se presenta una interpretación de esta relación.



*Figura 1. Representación de la relación trídica en los modelos.*

Los elementos anteriormente expuestos pueden ser de utilidad, para el análisis de algunas tareas relacionadas con el uso de modelos matemáticos en el aula de clase, en el marco de un proceso de modelación. En este sentido, el estudio de modelos y de la modelación debe reconocer no sólo la producción de representaciones matemáticas, sino también los aspectos con los cuales se vincula con el fenómeno o situación de la cual emerge. A partir de ese reconocimiento, las matemáticas utilizadas en el aula de clase deben estar en “diálogo” con el campo de formación de un ingeniero; esto, a su vez, exige una manera de implementar la modelación matemática en la cual los intereses y necesidades de los estudiantes adquieran un papel protagónico (Aravena, Caamaño, & Giménez, 2008; Borba & Villarreal, 2006; Borba, Meneghetti, & Hermi, 1997).

### **El estudio**

En este apartado se presenta el lugar donde se ha llevado a cabo la investigación definido como el contexto; al mismo tiempo las fuentes que dieron origen a la discusión propuesta.

### **El contexto**

En la Universidad EAFIT (Medellín, Colombia) se considera que en el proceso formativo de los estudiantes, propiamente de los de Ingeniería de Diseño de Producto, deben establecerse relaciones con situaciones cotidianas como una manera de construir y poner en práctica los conocimientos adquiridos en su proceso formativo. A partir del reconocimiento de las posibilidades que tiene la modelación matemática en el aula de clase, desde el 2006 se viene implementando una asignatura que busca “sensibilizar al estudiante mediante la observación y la construcción de objetos concretos, partiendo de la comprensión de conceptos matemáticos, para dotarlos de herramientas matemáticas básicas para que las integren a su entorno y las relacionen con elementos del diseño” (EAFIT, 2006). Entre los propósitos de la asignatura, se tiene el de permitir que el estudiante alcance una ampliación conceptual más allá de los desarrollos algorítmicos.

La asignatura mencionada propone acercar a los estudiantes al reconocimiento de las conceptualizaciones matemáticas que pueden existir en cualquier objeto creado a través de un proceso de modelación matemática. Dicho proceso incorpora tres fases: exploración, investigación guiada y proyecto final. La exploración permite a los estudiantes indagar sobre los conceptos matemáticos que surgen en diferentes escenarios de la “vida real”. En esta fase los estudiantes seleccionan imágenes y logran establecer asociaciones referidas a las formas y a las medidas. En la fase denominada investigación guiada, los estudiantes definen una propuesta creativa que vincula aspectos conceptuales de la matemática y el diseño con el ánimo de consolidar un modelo de su interés. En el proyecto final, los estudiantes construyen y validan el modelo con expertos en el tema.

En las fases descritas anteriormente se pretende reconocer cómo las producciones de los estudiantes vinculan componentes de Ingeniería de Diseño de Producto y de matemáticas, ellos generan diálogos y relaciones que posibilitan fortalecer el proceso de creación del diseño. Sin embargo, en algunas de las producciones de los estudiantes se percibe que los diseños tienen un componente geométrico, relacionado con los cursos de dibujo que se encuentran en su currículo, pero omiten relaciones matemáticas como las medidas, el costo, el tipo de materiales, que de alguna manera deben ser consideradas para lograr consolidar la propuesta definitiva de diseño. Esta situación permite reconocer que los conceptos matemáticos y el conocimiento propio del área de diseño, son involucrados resumidamente y de forma inconexa, lo que en ocasiones impide que los estudiantes alcancen a desarrollar la idea propuesta.

De la anterior situación, se reconoce que la modelación matemática puede ayudar a articular el conocimiento matemático con el propio del área de formación del Ingeniero de Diseño de Producto, que es una de las exigencias actuales en el sector educativo y social. En Rendón-Mesa y Esteban (2013) se plantea la necesidad de que un saber específico sea aplicado a un contexto, generando la reflexión en torno a los problemas “reales”, puesto que ellos ayudan a los estudiantes a hacer conexiones entre las matemáticas y “la realidad” usando los conceptos matemáticos cuándo y cómo es requerido.

### **Recolección y análisis de los datos**

Los datos se obtuvieron de las producciones escritas de un grupo de estudiantes desarrolladas durante las fases descritas anteriormente, que componen la asignatura. Dichas producciones se analizaron con el ánimo de reconocer las relaciones entre el estudiante (sujeto-usuario), el objeto que se modela (imágenes de objetos referentes) y al objeto que modela (diseño a escala y expresiones matemáticas). En un primer momento se indagó por el uso de las matemáticas en la situación de diseño y, en segunda instancia, se analizó la matematización del diseño creado. El análisis está en correspondencia con la noción de modelo de Giere (1999), que posibilitó determinar los alcances, limitaciones y demás relaciones encontradas en este proceso.

### **Resultados**

En la *fase de exploración* uno de los grupos seleccionó, entre muchas otras imágenes, una lámpara. En el documento aportado por el equipo se describe la lámpara como “*un objeto constituido por una esfera central y una base cónica pero truncada*”. Esta descripción pone en evidencia el uso de algunos términos específicos de la geometría, pero, que en primera instancia, parecen atender más a los aspectos estéticos de la forma que al uso y la funcionalidad de los objetos. El énfasis en las formas geométricas es una primera aproximación que, en general, los estudiantes hacen para representar el objeto de diseño a través de un modelo matemático. Tal énfasis parece estar en coherencia con la naturaleza geométrica de los objetos de estudio de esta rama de la ingeniería.

Antes de consolidar el modelo a escala de la lámpara, el grupo realizó una descomposición geométrica del objeto a diseñar. En diseño, a esta descomposición se le denomina la *geometrización* (Velásquez, 2007) y se considera como el proceso de trasladar la propuesta a formas geométricas, en ese proceso se establecen relaciones entre los espacios y las figuras que componen el diseño, para definir un conjunto de ellas que consoliden el producto final. Los estudiantes realizaron este proceso (*Figura 2*) e indicaron cada una de las formas que componen el objeto, definieron sus medidas y dimensiones para calcular el área y el volumen respectivo.

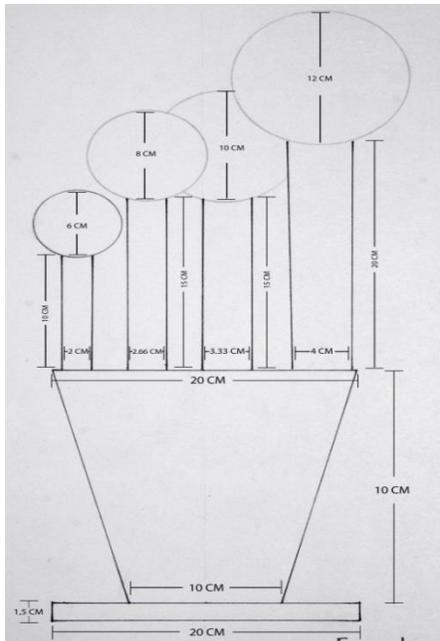


Figura 2. Geometrización del diseño elaborado por el grupo de estudiantes.

Para la *fase de investigación guiada*, el equipo de trabajo creó el prototipo de una lámpara y un nuevo diseño. Los estudiantes formularon su iniciativa de la siguiente forma: *generar un sistema de iluminación consolidado por esferas de diferentes tamaños y alturas que representen los planetas y el sol como nuestro sistema solar. La idea de las diferentes alturas es para que el consumidor pueda hacer uso de diferentes intensidades de luz, variando las alturas, por ejemplo si requiere luz fuerte en un punto específico, usará una esfera de altura baja, para iluminar espacios un poco más amplios la luz más alta y así sucesivamente. La base será en forma de cono y de color negro simulando un agujero negro.*

Particularmente en este diseño, los estudiantes reconocieron que la forma principal es la esfera, la cual se presenta en el diseño de diferentes tamaños, por tanto tiene radios distintos, obteniendo volúmenes diferentes. Involucran cilindros de diferentes diámetros y alturas para tener mayor funcionalidad y un cono, en este caso truncado; esa figura cumple el papel de contenedor y le permite estabilidad al objeto. Con la descripción dada por el grupo se reconocen modelos que se plasman en imágenes reconocibles; además, se observa que la matematización está asociada al reconocimiento de figuras geométricas, es decir, está relacionada con las formas que constituyen el objeto físico que responden a una imagen y no a una necesidad misma del objeto. Esta situación permite identificar que los estudiantes hacen uso de las figuras geométricas como objetos que representan las formas de los productos, sin que ello implique el reconocimiento del porqué de las formas asociadas con una necesidad o funcionalidad que el diseño construido debe satisfacer.

Para el *proyecto final*, los estudiantes consolidaron la idea formulada en un modelo físico (Figura 3) y, a partir de herramientas propias del diseño y la matemática definieron el producto. Para reconocer que las formas son proporcionales entre sí, los estudiantes calcularon el volumen de los cuerpos (Tabla 1) y establecieron que al aumentar la base debería aumentar el volumen del cono truncado y, del mismo modo, al aumentar las alturas de cada cilindro aumentaría el volumen de las esferas.



Figura 3. Modelo de la fase del proyecto final.

Tabla 1

Cálculos realizados por los estudiantes

VOLUMEN DE LAS ESFERAS	VOLUMEN DE LOS CILINDROS	VOLUMEN DEL CONO TRUNCADO
$V = \frac{4}{3} \pi r^3$	$V = \pi * r^2 * h$	$V = \frac{4}{3} \pi * h(R^2 + r^2 + Rr)$
$V_1 = \frac{4}{3} \pi(6)^3$	$V_{base} = \pi * (10)^2 * 1,5$	$V = \frac{4}{3} \pi * 10(10^2 + 5^2 + 10 * 5)$
$V_1 = 904,778 \text{ cm}^3$	$V_{base} = 471,238 \text{ cm}^3$	$V = \frac{4}{3} \pi * 10(175)$
$V_2 = \frac{4}{3} \pi(5)^3$	$V_1 = \pi * (2)^2 * 20$	$V = 7.330,382 \text{ cm}^3$
$V_2 = 523,598 \text{ cm}^3$	$V_1 = 251,32 \text{ cm}^3$	
$V_3 = \frac{4}{3} \pi(4)^3$	$V_2 = \pi * (1,665)^2 * 15$	
$V_3 = 268,082 \text{ cm}^3$	$V_2 = 130,638 \text{ cm}^3$	
$V_4 = \frac{4}{3} \pi(3)^3$	$V_3 = \pi * (1,33)^2 * 15$	
$V_4 = 113,097 \text{ cm}^3$	$V_3 = 83,357 \text{ cm}^3$	
	$V_4 = \pi * (1)^2 * 10$	
	$V_4 = 31,415 \text{ cm}^3$	

Al analizar los procesos realizados por los estudiantes se puede reconocer la manera en que las matemáticas son utilizadas por ellos y la comprensión lograda sobre los conceptos implicados en el proceso. Esto se ve reflejado en la forma en que describen el diseño, ya que utilizan algunos conceptos matemáticos y no matemáticos para consolidar el modelo y procedimientos asociados a la *geometrización*. Estos elementos conceptuales permiten al estudiante describir el objeto creado, puesto reconocen las proporciones entre las formas, los patrones de crecimiento y otras relaciones involucradas en el objeto terminado. A pesar de ello, la manera en que se presenta la información da cuenta de que los estudiantes utilizan las matemáticas para la descripción del objeto creado, pero no para establecer relaciones sobre cómo ellas afectan o posibilitan mejoras en el diseño del artefacto, en este caso una lámpara.

### Discusión y conclusiones

Conforme se mencionó anteriormente, los modelos (entre ellos los matemáticos)

involucran un sujeto y dos objetos (el que se modela y el que modela), los cuales a su vez están vinculados por una relación de representación. Explícitamente en el proceso formativo del Ingeniero de Diseño de Producto, el sujeto se reconoce como un estudiante, un objeto está asociado con aquello que se pretende diseñar y el otro con las formas usadas para representar el diseño (modelo a escala y modelos matemáticos).

La relación de representación está mediada por las maneras en que el usuario pone en diálogo estos dos objetos. Sin embargo, los datos presentados anteriormente, ponen en evidencia que la relación de representación no es lo suficientemente clara para dar cuenta de las necesidades que se pretenden atender a partir del objeto representado. En particular, los datos muestran que aunque las formas geométricas hacen explícita la materialización del diseño, las relaciones de representación no están en correspondencia con otras variables como: el costo, el uso de materiales, la luminosidad, el peso, entre otros. Tal situación implica que los estudiantes deben generar reflexiones frente al modelo y sus posibles usos.

Para un Ingeniero de Diseño de Producto las formas y las dimensiones son componentes fundamentales que se integran al conjunto de conocimientos geométricos. Según Velásquez (2007), el proceso de geometrización se considera como una herramienta de diseño que permite el control de la forma del producto para obtener una composición proporcionada. Este proceso establece las dimensiones, los contornos y ajusta el modelo no matemático para dar coherencia formal por medio de patrones de regularidad. Sin embargo, las producciones analizadas en este documento, ponen en evidencia que existen estudiantes que cuando inician su proceso de formación como Ingenieros de Diseño de Producto parecen centrarse en el componente estético del diseño y dejan de lado aspectos de tipo analítico en relación con el reconocimiento de variables, cantidades y otras herramientas matemáticas que podrían enriquecer la formulación del mismo.

Como se ha puesto en evidencia, la articulación entre los conocimientos matemáticos y específicos de la Ingeniería de Diseño de Producto no es automática, ni se deriva de manera directa del estudio de fenómenos elegidos por los estudiantes. Este tipo de situaciones sugieren que cuando se implementa la modelación matemática se debe propiciar un ambiente en el que se invite a la reflexión y se problematice acerca de la utilidad de las formas y los objetos matemáticos con relación a los objetos a diseñar. El análisis del episodio da cuenta de cómo los estudiantes, aunque se relacionan con un objeto “real” no establecen relaciones de representación que articulen la matemática y el diseño.

De acuerdo con la idea de modelo expuesta en la *Figura 1*, se puede plantear que no hay una relación explícita entre el objeto matemático y el objeto modelado que permita reconocer las posibilidades que la matemática ofrece en el estudio de fenómenos o situaciones. En ese sentido, se abre la necesidad de investigar, en un ambiente de modelación matemática, la relación de representación creada por el sujeto (grupo de estudiantes), siendo considerada de manera interdependiente de las demás relaciones existentes entre el sujeto, el objeto matemático y el fenómeno estudiado.

Indagar por la modelación matemática como un ambiente en el que se articulan los conocimientos propios del campo de formación de un ingeniero (y quizás de otros profesionales) y las matemáticas, así como una herramienta que armoniza con las necesidades de formación de este cierto tipo de profesionales, implica no agotar la modelación a la producción de representaciones matemáticas, sino que exige el reconocimiento de los aspectos que los sujetos

determinan como fundante para la consolidación del modelo lo cual, a su vez, implica observar las dinámicas que se presentan entre los objetos y los sujetos descritos en la Figura 1. De otro modo, se hace necesario continuar indagando por las relaciones que se establecen entre los diferentes modelos (matemáticos y no matemáticos) que emergen en la situación pero que son interdependientes como se describe en este documento.

Lo anterior abre caminos de investigación, tanto para la Educación Matemática como para la Educación en Ingeniería, puesto que permitiría entender las relaciones de representación a partir de la modelación matemática. Dichas relaciones ayudarían a los estudiantes a comprender que este proceso no es estable sino que surge de la reflexión del sujeto al vincularse con los objetos reales y sus relaciones matemáticas.

### Referencias y bibliografía

- Aravena, M., Caamaño, C., & Giménez, J. (2008). Modelos matemáticos a través de proyectos. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa-Relime*, 11(1), 49–92.
- Beswick, K. (2011). Putting context in context: an examination of the evidence for the benefits of “contextualised” tasks. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9(2), 367–390.
- Blomhøj, M. (2004). Mathematical modelling—a theory for practice. *International Perspectives on Learning and Teaching Mathematics*, 145–160.
- Blum, W., Galbraith, P., Henn, H., & Niss, M. (Eds.). (2007). *Modelling and Applications in Mathematics Education - The 14th ICMI Study* (Vol. 10). New York: Springer. Revisado <http://www.springer.com/education+%26+language/mathematics+education/book/978-0-387-29820-7>
- Borba, M. C., & Villarreal, M. E. (2006). *Humans-with-Media and the Reorganization of Mathematical Thinking: Information and Communication Technologies, Modeling, Visualization and Experimentation*. New York: Springer.
- Borba, M., Meneghetti, R., & Hermeni, H. (1997). Modelagem, calculadora gráfica e interdisciplinariedade na sala de aula de um curso de ciências biológicas. *Educação Matemática Da SBEM-SP*, 17(3), 63–70.
- Camarena, P. (2012). La modelación matemática en la formación del ingeniero. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência E Tecnologia*, 5(3), 1–10.
- Cardella, M. (2008). Which mathematics should we teach engineering students? An empirically grounded case for a broad notion of mathematical thinking. *Teaching Mathematics and Its Applications*, 27(3), 150–159.
- Cardella, M. (2010). Mathematical Modeling in Engineering Design Projects. In P. L. Galbraith, C. R. Haines, & A. Hurford (Eds.), *Modeling Students' Mathematical Modeling Competencies* (pp. 87–98). Springer US.
- Córdoba, F. (2011). *La modelación en Matemática Educativa: una práctica para el trabajo de aula en ingeniería* (Tesis de maestría no publicada). Centro de Investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada IPN, México. Revisado de <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/11708>
- Craig, T. (2013). Conceptions of mathematics and student identity: implications for engineering education. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 44(7), 1020–1029.

- Diefes-Dux, H. A., Zawojewski, J. S., Hjalmarson, M. A., & Cardella, M. E. (2012). A Framework for Analyzing Feedback in a Formative Assessment System for Mathematical Modeling Problems. *Journal of Engineering Education*, 101(2), 375–406.
- EAFIT, U. (2006). Programa de Modelación Matemática. Revisado de <http://www.eafit.edu.co/programas-academicos/pregrados/ingenieria-diseno-producto/acerca-programa/Paginas/que-es-idp.aspx#.U5m5IPmSx2A>
- Gainsburg, J. (2013). Learning to model in engineering. *Mathematical Thinking and Learning*, 15(4), 259–290.
- Giere, R. N. (1999). Using Models to Represent Reality. In L. Magnani, N. J. Nersessian, & P. Thagard (Eds.), *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 41–57). New York: Springer US. Revisado de [http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-4813-3\\_3](http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-4813-3_3)
- Greer, B. (1997). Modelling reality in mathematics classrooms: The case of word problems. *Learning and Instruction*, 7(4), 293–307. doi:10.1016/S0959-4752(97)00006-6
- Guerrero, G. (2010). La noción de modelo en el enfoque semántico de las teorías. *Praxis Filosófica*, (31), 169–185.
- Masingila, J. O., Davidenko, S., & Prus-Wisniowska, E. (1996). Mathematics learning and practice in and out of school: A framework for connecting these experiences. *Educational Studies in Mathematics*, 31(1-2), 175–200. doi:10.1007/BF00143931
- Mendible, A., & Ortiz, J. (2003). Modelización Matemática en la Formación de Ingenieros. La Importancia del Contexto. *Enseñanza de La Matemática*, 12-16, 133–150.
- Rendón-Mesa, P., & Esteban, P. (2013). La modelación matemática en la Ingeniería de diseño. In Y. Morales & A. Ramirez (Eds.), *Memorias del I Congreso de Educación Matemática de América Central y El Caribe*. República Dominicana: REDUMATE-PUCMM. Revisado de <http://www.centroedumatematica.com/memorias-icemacyc/387-483-1-DR.pdf>
- Rendón-Mesa, P., Esteban, P., & Villa-Ochoa, J. (2013). La modelación matemática en la ingeniería. *Revista Científica, Especial* (Educación Matemática). Revisado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/article/view/4673>
- Reséndiz, D. (2011). *El rompecabezas de la ingeniería: Porqué y cómo se transforma el mundo*. Fondo de Cultura Económica.
- Sunthonkanokpong, W. (2011). Future global visions of engineering education. *Procedia Engineering*, 8, 160–164.
- Velásquez, A. (2007). Geometrización. Memorias del curso Proyecto VI. Colombia: Universidad EAFIT.
- Villa-Ochoa, J. (2007). La modelación como proceso en el aula de matemáticas. Un marco de referencia y un ejemplo. *Tecno Lógicas*, 19, 63–85.