

El rol de la física experimental en el ciclo de modelación

The role of experimental physics in the modelling cycle

David Valenzuela Zúñiga^{1*} y Jaime Mena Lorca^{1,**}

¹Facultad de Ciencias básicas, Instituto de Matemáticas, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Blanco Viel 596, CP 2350026 Valparaíso, Región de Valparaíso. Chile.

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

E-mail: david.valenzuela.z@mail.pucv.cl

Resumen

La modelación es un campo consolidado en la didáctica de la matemática. La física en muchas de estas investigaciones aparece como un elemento auxiliar, una herramienta externa que permite enseñar un concepto matemático, pero su rol en el ciclo de modelación o en la enseñanza de la matemática ha sido poco problematizada. Este trabajo presenta una ampliación de este ciclo considerando no solo el carácter teórico, sino también experimental de la física.

Palabras clave: Modelación; Matematización; Relación Física-Matemática; Enseñanza de la física.

Abstract

The modelling is a consolidated field in the didactic of mathematics. In many of these investigations, physics education appears as an auxiliary element, an external tool that allows teaching a mathematical concept, but its role in the modelling cycle or in the mathematics teaching itself has rarely been problematized. This work presents an extension considering not only the theoretical but also the experimental character of Educational Physics.

Keywords: Modelling; Mathematization; Physics-Mathematics relationship; Physics teaching.

I. INTRODUCCIÓN

Desde el campo de la didáctica de la matemática, la modelación es una línea de investigación consolidada, una gran cantidad de investigaciones y publicaciones han logrado tener un impacto en la enseñanza de la matemática y a construcción curricular (Blomhøj, 2019; Kaiser y Brand, 2015; Cordero, 2004; Suárez y Cordero, 2005). Al respecto, Blum y Borromeo-Ferri (2009) mencionan que los modelos y la modelación están en todo nuestro alrededor, preparar a los futuros ciudadanos para que participen de manera responsable y activa, les exige ampliar la competencia de modelación, porque ayuda a los estudiantes a comprender mejor el mundo, es un apoyo en el aprendizaje, contribuye a desarrollar diversas competencias y a construir una imagen adecuada de las matemáticas.

La modelación matemática, desde las teorías didácticas cognitivas, se entiende como un proceso de traslación entre el mundo real, la matemática y viceversa permitiendo que se conecten (Blomhøj, 2019; Blum y Borromeo-Ferri, 2009; Rodríguez, 2010). Debido a nuestras limitaciones para acceder a esta realidad compleja se hacen simplificaciones e idealizaciones, es decir, se crean y construyen modelos. El ciclo de modelación iniciado por los trabajos de Blomhøj (2019) y Borromeo-Ferri (2006) es uno de los principales modelos que estructura la actividad envuelta en este proceso y en la resolución de problema (Uhdén y otros, 2012). Con el tiempo, además se han agregado otros como el de Rodríguez (2010) que plantea un esquema donde separa en cuatro partes el ciclo de modelación, el dominio real, el pseudo-concreto, el físico y el matemático. Este modelo se ha aplicado principalmente a la enseñanza de ecuaciones diferenciales usando circuitos de corriente continua (Rodríguez, 2010). La misma autora también ha investigado sobre el rol de la experimentación en la modelación matemática (Rodríguez y Quiroz, 2016) y sostiene que es fundamental para el desarrollo de esta habilidad, pues permite que los estudiantes doten de

*David Valenzuela orcid.org/0000-0003-2274-4716

**Jaime Mena orcid.org/0000-0003-2274-4716

nuevos significados las nociones matemáticas presentes en la actividad, como también las ya aprendidas.

Una postura diferente desde la teoría socioepistemológica se ha venido desarrollando, la cual introduce una aproximación socio cultural a la modelación (Cordero, 1999; Buendía y Cordero, 2005; Cordero, 2007; Farfán y Borromeo-Ferri, 2008). Arrieta y Díaz (2015) plantean que el modelo no existe separado de la actividad humana, por lo tanto, la modelación es una práctica de articulación donde interviene lo modelado y el modelo, constituyendo ambos una nueva unidad, a la que los autores llaman dipolo modélico; el cuales a su vez, una construcción teórica efectuada por los estudiantes para la realización de una tarea matemática en la que ponen en uso sus conocimientos.

En la mayoría de estas investigaciones los contenidos de física son considerados una herramienta auxiliar, un anexo que complementa el proceso de modelación, donde poco o nada se ha cuestionado el rol y naturaleza epistemológica de esta.

Este vínculo tan natural y estrecho entre física y matemática, ha permitido aplicar la modelación a la enseñanza de la física Greczylo y Debowska (2017); Hestenes (1996); Ornek (2008); Redish (2005), Camarena (2009; 2012) pero también ha sido al revés, es decir, se ha usado la modelación de fenómenos físicos para la enseñanza de la matemática.

Algunos intentos para describir los procesos de modelación en física distinguen entre los modelos físicos y los matemáticos, como la investigación de Greca y Moreira (2002). Ellos sostienen que el primero es un conjunto de declaraciones de una simplificación e idealización de la realidad, mientras que el matemático es simplemente un sistema axiomático que adquiere significado luego de ser interpretado a través del modelo físico. En la misma línea, el trabajo de Nilsen y otros (2013) contribuye desde el campo interdisciplinario, desarrollando un modelo basado en la teoría de las competencias que interrelaciona física y matemática, demostrando que la competencia matemática es la que más influye en el rendimiento en la clase de física.

Redish (2005) propone un modelo que describe cómo se usa la matemática en física, la cual está inspirada en el ciclo de modelación de Blomhøj (2019) y Borromeo-Ferri (2006). La heurística consiste primeramente en mapear la estructura física dentro de la matemática, creando un modelo matemático donde es necesario entender las estructuras matemáticas que hay disponible y los aspectos relevantes para caracterizar la física. En segundo lugar, se puede usar alguna tecnología con la estructura matemática para resolver alguna ecuación o derivar otras, para así transformar nuestra situación inicial. En tercer lugar, los resultados anteriores se interpretan en el mundo físico. En el cuarto lugar, evaluamos si los resultados son adecuados o si el modelo original necesita ser modificado.

El modelo propuesto por Uhden y otros (2012), que tomamos como base, considera el carácter estructurante y técnico de la matemática y lo inserta en el ciclo de modelación de Blum y Leiß (2005). A continuación, su detalle.

II. EL CICLO DE MODELACIÓN EN FÍSICA

Uhden y otros (2012) han considerado como base el ciclo de modelación (Blum y Leiß, 2005; Blum y Borromeo-Ferri; 2009) para aplicarlo al campo de la física. El recuadro referido al modelo físico (ver figura 1a) se encuentra entre el mundo real y las matemáticas, conectado por los procesos de simplificación, matematización, trabajo matemático, interpretación y validación del ciclo de modelación. La traslación desde el mundo real al campo de las matemáticas permite la conexión entre el mundo real, el modelo físico y las matemáticas (ver figura 1b).

La simplificación y validación conectan el modelo físico con el mundo real, la matematización e interpretación lo hacen con las matemáticas, mientras que el trabajo matemático se da en el campo de las matemáticas.

En este ciclo de modelación el autor considera el rol estructurador y técnico de la matemática, es decir, por un lado, el entrelazamiento de física y matemática, y por otro, la técnica matemática. La modelación física a su vez distingue distintos niveles de matematización donde los más elevados devuelven información precisa para el entendimiento del problema la que en un comienzo era poco evidente o no se consideraban (ver figura 2).

Este ciclo de modelación aplicado a la física, lo consideramos correcto, pertinente y adecuado; compartimos la posición ontológica donde física y matemática no pueden considerarse como dos saberes independientes que se complementan. También el modelo planteado (ver figura 2) establece, a nuestro juicio, una relación acertada de cómo los distintos niveles de matematización de un fenómeno físico-matemático tiene distintos matices, siendo el nivel más básico solo conceptual. A medida que el nivel es mayor, la matemática devuelve información valiosa para la comprensión, predicción y modelación del fenómeno.

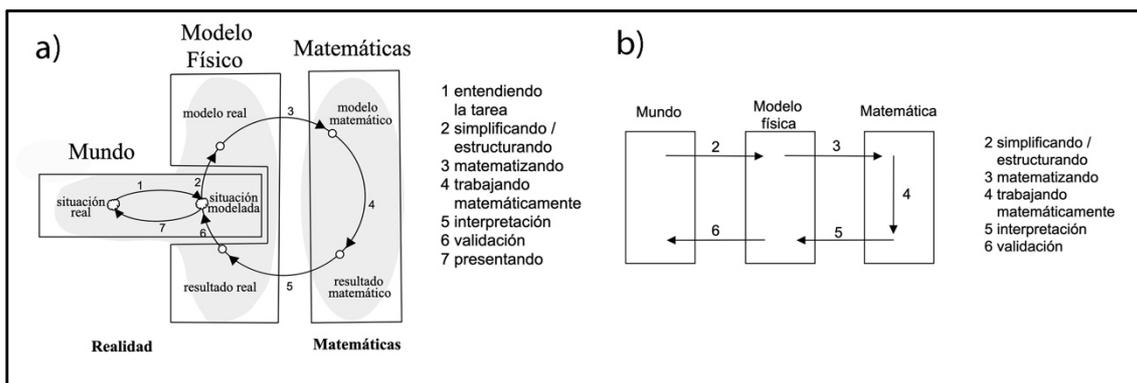


FIGURA 1. a) Traducción propia del ciclo de modelación para la física extraído de Uhdén y otros (2012); b) transferencia entre el mundo, el modelo físico y las matemáticas.

A pesar de estos aciertos, los que valoramos enormemente, este modelo no deja claro el carácter experimental de la física, su relación con la matemática y el mundo real, como tampoco su rol en el modelo anteriormente descrito. A continuación, se postula una ampliación del modelo, pero considerando estos aspectos mencionados.

III. SOBRE LA NATURALEZA EXPERIMENTAL DE LA FÍSICA

Existe una relación histórica, epistemológica y ontológica entre la naturaleza experimental y teórica de la física. Hay ocasiones donde lo primero da información valiosa acerca del modelo y cómo debe comportar, transformando y condicionando la construcción teórica. En otras, el saber teórico lidera, conduce y condiciona el experimento. Para el primer caso la teoría se construye desde lo experimental, en el segundo, lo experimental se construye desde la teoría; siendo ambas formas válidas y necesarias para el desarrollo del saber físico.

A lo largo de la historia hay distintos episodios donde una u otra ha sido protagonista. Esta característica esencial debe quedar explícita en el modelo, también debe distinguir entre el carácter técnico y estructurante de la matemática en la experimentación y por último, la no separación de estos saberes.

El uso de la matemática en la experimentación tiene algunas diferencias con respecto al rol en el tratamiento teórico, la cual no permite la incorporación directa del proceso de matematización en el modelo físico matemático (figura 2). A continuación, el detalle:

- Las operaciones relacionadas con la técnica matemática son diferentes para un mismo concepto o fenómeno a modelar, ya sea si se hace desde lo experimental o desde el campo teórico.
- No solo existen operaciones que hacen alusión a la técnica matemática, sino también a la computación, la manipulación y montaje del experimento.

En la enseñanza a nivel escolar de la física, por lo general, la experimentación queda reducida en el plano de la demostración, como una actividad “lúdica” que motiva a los estudiantes adentrarse en un tema determinado. Habitualmente se hace mediante el uso de una animación o *software* que permite modificar algunas variables y los estudiantes observan de manera pasiva el fenómeno. En ambos casos el nivel de matematización es mínima, y no hay devolución de información por parte de ella.

A nivel universitario, la experimentación en física se ha usado principalmente para la comprobación de las relaciones entre las variables de un fenómeno. O en un nivel más elevado para la deducción de una ley física mediante la linealización, ajustes y graficación de variables, a través de una interfaz con sensores que registran datos. A pesar de estas características, la experimentación sigue cumpliendo en la mayoría de los casos un rol secundario, muchas veces hasta desvinculado de las asignaturas teóricas, es apenas un complemento, un conjunto de experimentos preestablecidos que deben cumplirse.

Ahora, dentro del campo del desarrollo de la física como disciplina, la experimentación tiene un rol fundamental. Por ejemplo, la construcción del Gran Colisionador de Hadrones LHC, tuvo como propósito inicial comprobar la validez y límites del modelo estándar de partículas. De su construcción y funcionamiento han surgido problemas técnicos, de gestión y administración que van más allá de la matemática, o de la propia física, son problemas propios de las ciencias de la ingeniería, la computación y las ciencias sociales.

En una actividad experimental de la envergadura del LHC hay varias comunidades presentes que hacen posibles su desarrollo, como también la superposición y surgimiento de campos disciplinares nuevos. Extrapolando estas características a la enseñanza de la física a todos los niveles, los aspectos referidos a la computación, montaje y diseño de experimentos son fundamentales para el desarrollo de habilidades y competencias en las estudiantes, las que a su vez son altamente valoradas en la sociedad laboral. Estos en comparación con los tratados por la comunidad de físicos, obviamente tiene una menor complejidad y envergadura; de la misma forma, exige que estudiante y profesor conozcan el montaje del experimento, sus limitaciones, ventajas, y el *software* necesarios para la enseñanza y modelación, además exige al profesor tener un alto dominio de cómo se usa la matemática en los procesos de modelación y el rol que juega con fines educativos la matematización en la experimentación, la computación e ingeniería.

IV. AMPLIACIÓN DEL CICLO DE MODELACIÓN EN FÍSICA

En el ciclo de modelación presentado en la figura 1, se observa que física y matemática aparecen de manera separada, se interpreta como si los procesos de matematización se hicieran independiente de la física. Uhden y otros (2012) presentan un modelo (figura 2), donde estos aparecen superpuestos y en los cuales hay distintos niveles de matematización, e incluso, existen algunos problemas que son sacados del ámbito de la física y son tratados por la comunidad de matemáticos de manera independiente, es lo que corresponde a "Pure Mathematic".

Los primeros niveles de matematización (a), son solo una aplicación de conceptos, la resolución de problemas es elemental, la interpretación es mínimo y la técnica matemática también. Ahora, un mayor nivel, devuelve interpretaciones más profundas y complejas, lo mismo sucederá con las técnicas matemáticas usadas. Finalmente, las etapas (d) y (e) corresponden a los procesos de simplificación y validación, los cuales están determinados por el conocimiento, vivencias y relaciones entre saberes que el sujeto o la comunidad posee.

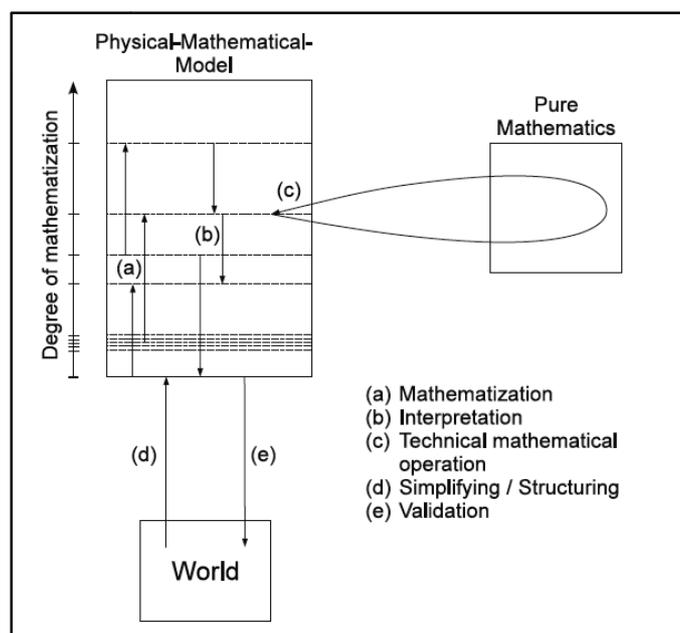


FIGURA 2. Nuevo modelo del ciclo de modelación en física presentado por Uhden y otros(2012), donde se aprecia los distintos niveles de matematización y la no separación entre física y matemática.

Con base en lo detallado, se ha propuesto el modelo de la figura 3. En él se observa que el ciclo de modelación en física está compuesto tanto por el carácter teórico como experimental. El primero de ellos, se ha detallado en la investigación de Uhden y otros (2012). El segundo, es el que se presenta en este escrito, el cual *dialoga* con el primero, se complementa y valida. El experimento dice cómo debe ser la teoría y muchas veces predice de antemano el resultado, en otras es al revés. Por ello la relación simbiótica bidireccional representada por las flechas segmentadas en el modelo. También se ha considerado la doble validación que tiene el saber físico, por un lado, la experimental y la otra en el mundo real. La primera es una simplificación del mundo donde ciertas variables son controladas para estudiar otras. La segunda, corresponde a la prueba en contexto real de lo que dicen la teoría y la experimentación.

Estos dos recuadros podrían estar uno más arriba que otro, para representar quien *comanda* o en qué nivel lo hace en el proceso de modelación. La matematización en el modelo tiene niveles, el más elemental considera solo la experimentación desde un punto de vista cualitativa, aquella que principalmente se da en el ámbito escolar. Un mayor nivel en los procesos de matematización, ya sea experimental, teórico o ambas, devuelve información valiosa a quien modela y del propio modelo, permitiendo una interpretación profunda del fenómeno, conocer la validez, limitaciones, relaciones entre las variables, porcentaje de error, dispersión de los datos, medias, tendencias y finalmente si un montaje es o no correcto. Se suma el conocimiento matemático puesto en uso en todas las fases mencionadas.

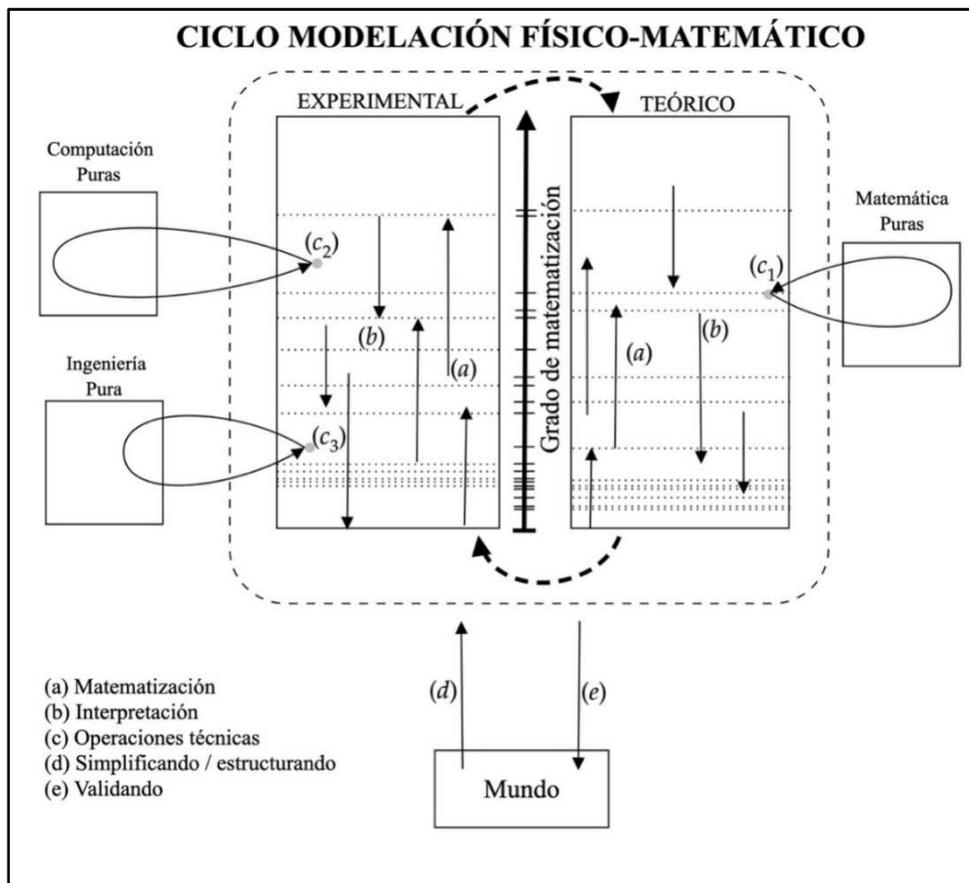


FIGURA 3. Ciclo de modelación físico matemático propuesto considerando el carácter teórico y experimental de la física.

El punto (c₁) es parte del modelo de Uhden y otros (2012), y hace referencia a la técnica matemática que tiene un origen en el campo de la física, como la convergencia de las series de Fourier. Después estas matemáticas y técnicas son tratadas por la comunidad de matemáticos, tomando todo el rigor y estructura del cuerpo matemático. También corresponde al dominio instrumental, algorítmico propio de la matemática, este proceso y técnicas carecen de toda referencia y significación física, no son matematización, modelación, es matemática pura y formal.

Los puntos (c₂) y (c₃) representan respectivamente, lo referente a la técnica de computación pura y las técnicas de ingeniería. Las técnicas de computación pura corresponden al conocimiento propio de quienes programan y construyen *software*, considerando las características del cliente, en este caso los profesores de física, las necesidades del sistema escolar o universitario, la edad de los estudiantes de ciencia, etc. Ejemplo de aquello son *Phet* y *Lab4u*, los cuales son de bajo costo y de fácil manipulación; estos tienen como finalidad la activa participación de los estudiantes, graficando, analizando, construyendo modelos explicativos y aproximando a los modelos teóricos de un determinado fenómeno.

Con respecto a lo referido a la técnica de ingeniería, dice relación con la capacidad de montar el experimento y los problemas técnicos que surgen de aquello, pudiendo ser por ejemplo de espacio, de energía, de diseño por nombrar algunos. El objetivo de esta comunidad es la construcción de interfaces, diseño de sensores que permitan detectar la información y tener un adecuado vínculo con el *software*, sean fáciles de transportar, resistentes, de bajo costo y factibilidad de llevar a cabo con los materiales e infraestructura disponible en colegios o universidades.

Las técnicas matemáticas, la computación e ingeniería, representada por las letras (c_1), (c_2) y (c_3) pueden considerarse herramientas externas al proceso de modelación, pero que contribuyen a su desarrollo. De hecho, muchos problemas surgen del propio proceso de hacer ciencia con los estudiantes o del mundo científico, pero estos no son tratados por profesores ni físicos, sino por los expertos de estas comunidades.

Finalmente, las letras (d) y (e) corresponden respectivamente a la simplificación que se hace primeramente antes del proceso de modelación y finalmente la validación, la que puede ser desde lo experimental, teórico o desde ambas en el mundo.

V. CONCLUSIONES

Si bien es un primer avance complementario desde la naturaleza experimental el modelo presentado por Uhdén y otros (2012), consideramos que es esencial validar con estudiantes y someter a discusión entre expertos para perfeccionar, por ello el objetivo de presentarlo en este congreso. También concluimos que es necesario estudiar en mayor profundidad el rol experimental en la modelación física, como sostienen Rodríguez y Quiroz (2016).

A nivel universitario, este modelo podría esclarecer y aportar a la concientización de la relación entre la naturaleza teórica, experimental y matemática de la física, poner en evidencia en qué aspecto está el foco de la enseñanza y si este es pertinente para desarrollar las competencias que el profesional futuro necesita. En la mayoría de las veces se enseñan y consideran estos tópicos en la construcción curricular, pero de manera aislada y no se entiende su conexión con el desarrollo del perfil de egreso de los estudiantes.

Si bien el modelo tiene distintos grados de matematización en los aspectos teóricos y experimentales, cabe preguntarse si los escolares pueden salir del nivel más básico de matematización, ¿cuál es el nivel adecuado de matematización para ese nivel?, ¿cómo debe enseñarse matemática a nivel escolar? Se espera que futuras investigaciones puedan aportar a responder y esclarecer estas preguntas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Investigaciones y Ciencia de Chile por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo y participación en este congreso mediante el otorgamiento de la beca n° 75190075.

REFERENCIAS

Arrieta, J. y Díaz, L. (2015). Una perspectiva de la modelación desde la Socioepistemología. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática (RELIME)*, 18(1), 19-48.

Blomhøj, M. (2019). Towards Integration of Modelling in Secondary Mathematics Teaching. En Gloria Ann Stillman y Jill P. Brown (Eds), *Lines of Inquiry in Mathematical Modelling Research in Education*. Cham: Springer International Publishing.

Blum, W. y Leiß, D. (2005). "Filling up" the problem of independence-preserving teacher interventions in lessons with demanding modelling tasks. *V Congress of the European Society for Research in mathematics education (CERME). Working group 13: Applications and modelling*, 17-21 de febrero, Sant Feliu de Guixols, España.

Blum, W. y Borromeo-Ferri, R. (2009). Mathematical modelling: Can it be taught and learnt? *Journal of Mathematical Modelling and Application*, 1(1), 45-58.

Borromeo-Ferri, R. (2006). Theoretical and empirical differentiations of phases in the modelling process. *ZDM-International Journal on Mathematics Education*, 38(2), 86-95.

Buendía, G. y Cordero, F. (2005). Prediction and the Periodical Aspect as Generators of Knowledge in a Social Practice Framework: A Socio-epistemological Study. *Educational Studies in Mathematics*, 58(3), 229-333.

Camarena, P. (2009). La matemática en el contexto de las ciencias. *Innovación Educativa*, 9(6), 15-25.

- Camarena, P. (2012). La modelación matemática en la formación del ingeniero. *Revista brasileira de ensino de ciência e tecnologia*, 5(3),1-10.
- Cordero, F. (1999). La matemática educativa en una aproximación sociocultural a la mente. *Memorias del VII Simposio Internacional en Educación Matemática Elfriede Wenzelburger*,27-29 de abril, Ciudad de México, México.
- Cordero, F. (2004). La modelación y la enseñanza de las matemáticas. *Innovación Educativa 21 IPN*, 21(1),1-20.
- Cordero, F.y Flores, R. (2007). El uso de las gráficas en el discurso del cálculo escolar. Una visión socioepistemológica en el nivel básico a través de los libros de texto. *Revista Latinoamericana de Investigación en Educación Matemática (RELIME)*, 10(1), 7-38.
- Farfán R. y Ferri M. (2008). Un estudio socioepistemológico de lo logarítmico: La construcción de una red de modelos. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa (RELIME)*, 11(3),309-354.
- Greca, I. y Moreira, M. (2002). Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science Education*, 86(1), 106-121.
- Debowska, E. y Greczylo, T. (2017). Role of Key Competences in Physic Teaching and Learning. En T. Greczylo y E. Debowska (Eds), *Key Competences in Physics Teaching a Learning. Selected Contributions from the International Conference GIREP EPEC 2015, Wroclaw Poland, 6–10 July 2015*. Cham: Springer International Publishing.
- Hestenes, D. (1996). Modeling methodology for physics teachers. *International Conference on Undergraduate Physics Education*, 31 de Julio – 3 de Agosto, Maryland, USA.
- Kaiser, G. y Brand, S. (2015). Modelling competencies: Past development and further perspectives. En Stillman, G. y otros (Eds), *Mathematical modelling in education research and practice*. Cham: Springer International Publishing.
- Nilsen, T., Angell, C., y Gronmo, L. (2013). Mathematical competencies and the role of mathematics in physics education: A trend analysis of TIMSS Advanced 1995 and 2008. *Acta Didactica Norge*,7(1),1-6.
- Ornek, F. (2008). Models in Science Education: Applications of Models in Learning and Teaching Science. *International Journal of Environmental and Science Education*, 3(2),35-45.
- Redish, E. (2005). Changing student ways of knowing: What should our students learn in a physics class? *World View on Physics Education 2005: Focusing on Change*, 21-26 de Agosto, New Delhi, India.
- Rodríguez, R. (2010). Aprendizaje y enseñanza de la modelación: el caso de las ecuaciones diferenciales. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa (RELIME)*, 13(4-1),191-210.
- Rodríguez, R. y Quiroz, S. (2016). El rol de la experimentación en la modelación matemática. *Educación matemática*, 28(3),91-110.
- Suárez, L. y Cordero, F. (2005). Modelación en Matemática Educativa. *XVIII Reunión Latinoamericana de Matemática Educativa, 27-29 Julio, Tuxtla Gutiérrez, México*.
- Uhden, O., Karam, R., Pietrocola, M., yPospiech, G. (2012). Modelling mathematical reasoning in physics education. *Science & Education*, 4(21), 485-506.