



Evaluación en modelación en educación matemática: una revisión crítica de literatura

Assessment in Mathematical Modelling Education: A Critical Review of Literature

Avaliação em modelagem na educação matemática: uma revisão crítica da literatura

Jonathan Sánchez-Cardona*  Paula Andrea Rendón-Mesa** 

Tipo de artículo:

Informe de investigación y ensayos inéditos

Doi: [10.17533/udea.unipluri.344721](https://doi.org/10.17533/udea.unipluri.344721)

Cómo citar este artículo:

Sánchez-Cardona, J., & Rendón-Mesa, P. A. (2023). Evaluación en modelación en Educación Matemática: una revisión crítica de literatura. *Uni-Pluriversidad*, 23(1-2), 1-16.
<https://doi.org/10.17533/udea.unipluri.344721>



Recibido: 2023-05-15 / Aprobado: 2023-11-25

Resumen

Los desarrollos investigativos en evaluación y modelación matemática en el ámbito educativo constituyen un tema de interés en las últimas décadas. Existen estudios que se han preocupado por la evaluación de la competencia de modelación, los instrumentos y sus alcances, pero sigue vigente la necesidad de informar los conocimientos evaluados y su articulación con los intereses y desarrollo profesional de los estudiantes. Este artículo se propone identificar los propósitos, fases, estrategias e intereses de formación en los que se enfocan las investigaciones sobre evaluación en modelación matemática. Para ello, se realizó una revisión crítica de literatura, se establecieron procedimientos de búsqueda de los documentos y criterios de inclusión, exclusión y análisis. Se encontró un panorama amplio en cuanto a concepciones y focos de atención de la evaluación. La revisión evidenció que la evaluación en modelación matemática no solo centra la atención en los conocimientos y procesos matemáticos, sino en los elementos propios de la modelación. Esta revisión aporta dos consideraciones importantes, la primera de ellas en relación con los propósitos e instrumentos de evaluación y, la segunda, en coherencia con las fases y procesos de modelación que se evalúan.

Palabras clave:

evaluación educativa, campo profesional, modelación matemática.

* Institución Educativa Escuela Normal Superior Rafael María Giraldo, Marinilla y Universidad de Antioquia, Medellín
E-mail: jonathan.sanchez@udea.edu.co

** Institución Educativa Pedro Luis Álvarez Correa, Caldas Antioquia y Universidad de Antioquia, Medellín.
E-mail: paula.rendon@udea.edu.co



Keywords:

*assessment,
professional field,
mathematical
modelling.*

Palavras chave:

*avaliação, campo
profissional,
modelagem
matemática*

**Abstract**

International research in educational assessment and mathematical modelling have been theme of interest in last decades. There are studies that have been concerned with the evaluation of the modelling competence, instruments and assessment scope; but research on assessed knowledge and its relationship with professional development is required to identify the purposes, phases, strategies and training interests on which the research on evaluation in mathematical modelling is focused. Therefore, a critical review of literature was carried out through document search procedures and inclusion, exclusion and analysis criteria. A broad outlook was found regarding the conceptions and focus of the assessment. This review also showed that attention is not only focused on mathematical knowledge and processes, but on the elements of modelling, when assessing mathematical modelling. This review provides two important results, one in relation to the purposes and instruments of assessment and another in coherence with the phases and modelling processes that are assessed.

Resumo

O desenvolvimento da pesquisa em modelagem matemática e avaliação na educação tem sido um tema de interesse nas últimas décadas. Há estudos que se preocuparam com a avaliação da competência de modelagem, os instrumentos e seu escopo, mas a necessidade de informar o conhecimento avaliado e sua articulação com os interesses e o desenvolvimento profissional dos alunos ainda é válida. Este artigo tem como objetivo identificar os propósitos, as fases, as estratégias e os interesses de formação nos quais se concentram as pesquisas sobre avaliação em modelagem matemática. Para tanto, foi realizada uma revisão crítica da literatura e foram estabelecidos procedimentos para a busca de documentos e critérios de inclusão, exclusão e análise. Foi encontrada uma ampla visão geral em termos de concepções e foco da avaliação. A revisão mostrou que a avaliação da modelagem matemática se concentra não apenas no conhecimento e nos processos matemáticos, mas também nos elementos da própria modelagem. Essa revisão fornece duas considerações importantes, a primeira em relação aos objetivos e instrumentos de avaliação e a segunda em coerência com as fases e os processos de modelagem que são avaliados.

Introducción

En la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas, la evaluación ha sido un tema de interés y discusión internacional (Goos, 2020). Se han desarrollado investigaciones que apuntan a mejorar los procesos evaluativos, tanto en su naturaleza y comprensión conceptual como en las herramientas y los instrumentos que se usan para evaluar en matemáticas (Hošpesová, 2018; Iannone y Jones, 2017; Niss, 1993a, 1993b; Suurtamm et al., 2016; Sánchez-Cardona et al., 2021). Una de las apuestas en la evaluación de los aprendizajes es la evaluación formativa. Esta evaluación permite realizar retroalimentación constante de tal forma que, al mismo tiempo, se refuerza y promueve el aprendizaje (Brown y Pickford, 2013; Hamodi et al., 2015).

Para promover el aprendizaje de las matemáticas y de las ciencias, la producción científica internacional resalta las oportunidades que ofrece la modelación matemática (Bassanezi, 2002; Niss et al., 2007; Carmona-Mesa et al., 2020). Aunque no existe una única comprensión de la modelación matemática, a nivel general, es posible asumirla como un proceso que involucra la solución de problemas de la realidad a través del uso de la matemática (Villa-Ochoa et al., 2022). A través de este proceso, los estudiantes pueden comprender y producir significados de los objetos matemáticos articulados a los fenómenos reales que se estudian; también, posibilita el desarrollo de competencias y de visiones de las matemáticas dado que, al establecer relaciones entre esta área y la realidad, se promueven usos e imágenes de la matemática como una ciencia útil (Blum y Borromeo-Ferri, 2009) y el relaciones y conocimientos interdisciplinarios (Carmona-Mesa et al., 2020; Villa-Ochoa et al., 2022).

A pesar de que la modelación matemática ha sido introducida como un proceso útil en la mayoría de los currículos a nivel global,

la pregunta por los aportes que ofrece a la formación matemática de los estudiantes en los distintos grados de escolaridad continúa siendo motor para el desarrollo de investigaciones. Entre ellas, existe un interés por la evaluación de los aprendizajes y competencias que se logran a través de la modelación (Anchieta, 2017; Frejd, 2013; Sánchez-Cardona et al., 2021) y por los instrumentos que se pueden desarrollar para evaluar los aprendizajes que se promueven a través de la modelación. En este sentido, es necesario indagar por los desarrollos investigativos en relación con la evaluación en la modelación matemática.

Al respecto, Frejd (2013) realizó una revisión crítica de literatura. En su estudio, adoptó una definición amplia de evaluación con un enfoque en el proceso y en el aprendizaje de los alumnos. Con esta definición se ocupó analizar los enfoques (procesos) utilizados o sugeridos para evaluar la competencia de modelación matemática de los estudiantes (resultado del aprendizaje de los estudiantes). El autor identificó que los principales productos y herramientas utilizadas en la evaluación de la competencia de modelación son pruebas, informes escritos, presentaciones orales y proyectos. También identificó la presencia de una visión atomística de la evaluación de la modelación matemática, es decir, la valoración no se realiza de forma holística sobre los diferentes subprocesos de la modelación. Antes bien, centra su atención en los aspectos puntuales de los procesos que realizan los estudiantes cuando modelan matemáticamente.

Como resultado de su revisión, Frejd (2013) ofreció una perspectiva amplia de los enfoques utilizados y sugeridos para evaluar competencias de los estudiantes sobre los modelos y la modelación matemática. Sin embargo, la pregunta por los procesos y estrategias situadas



en los contextos e intereses de los sujetos que participan en diferentes ambientes y tareas de modelación matemática sigue abierta. En otras palabras, en una perspectiva situada, se asume que los procesos educativos deben ajustarse a los intereses formativos (académicos, profesionales, etc.) de los estudiantes. En el caso de la modelación matemática, se reconoce un especial interés en los conocimientos y competencias profesionales (Rendón-Mesa, 2016; Romo-Vázquez, 2014; Romo-Vázquez et al., 2019; Rosa y Orey, 2019). En este sentido, la evaluación no solo se concentra en las competencias para modelar matemáticamente (evaluación de la modelación), sino también en los demás aprendizajes que se promueven a través de ella (evaluación en modelación).

La presente revisión de literatura se centra en la correspondencia antes descrita, es decir, en las visiones y las estrategias que se utilizan para la evaluación en la modelación matemática acorde con los intereses, propósitos y metas de formación de los sujetos involucrados. Por tanto, se propone responder la pregunta ¿Cuáles son los propósitos, fases, estrategias e intereses de formación que se consideran en las investigaciones sobre evaluación en modelación matemática? Con el fin de dar respuesta a esta pregunta se analizaron 19 documentos que resultaron de una búsqueda en diferentes bases de datos, así como de un proceso de selección acorde con la pregunta anterior. El siguiente apartado describe el método que se utilizó para la revisión de literatura.

Método

En el marco de la propuesta de Jesson y Lacey (2006), una revisión crítica de literatura implica analizar las diferentes investigaciones reportadas y cruzar datos para dar cuenta del estado investigativo en el que se encuentra determinado tema. Se trata de una revisión cualitativa de tipo documental que, de acuerdo con Grant y Booth (2009), analiza y evalúa críticamente la literatura, sus temas, su calidad y el grado de innovación conceptual. En este sentido, el presente documento reporta una revisión de este tipo que se preocupó por conocer cómo las investigaciones sobre evaluación en modelación matemática han tenido en cuenta los propósitos de formación profesional. En este estudio se cruza la información encontrada a partir de cuatro categorías de análisis con las cuales se sustentan los resultados y conclusiones.

El ICMI Study 14 (Blum et al., 2007) ofrece un estado del arte sobre los desarrollos en modelación matemática hasta el año 2007 e incluye la evaluación en modelación matemática (Houston, 2007; Lingefjärd, 2007). Por esta razón, en la presente revisión se decidió incluir artículos de revista, capítulos de libro y memorias de eventos en el periodo comprendido entre el año 2008 y marzo de 2018.

Dado el objetivo de este estudio, se incluyeron investigaciones que se desarrollaron sobre

este tema en el ámbito de la formación matemática en carreras profesionales, de tal forma que se reportan estrategias, herramientas y conclusiones relacionadas con la evaluación y la modelación matemática. Para la revisión, se realizó una búsqueda en las bases de datos ERIC, Scielo y Scopus en noviembre de 2019. Adicionalmente, se consideraron los hallazgos de Google Scholar y se tuvo en cuenta alertas de revistas especializadas en Evaluación y Educación Matemática, en español, inglés y portugués.

En este rastreo se utilizaron cinco ecuaciones de búsqueda (Tabla 1), las cuales fueron necesarias dado que es posible encontrar en la literatura internacional diferentes formas de escritura para referirse a la modelación. Así mismo, se incluyeron las palabras *assessment*, *evaluation* y *assessing*, con el fin de abarcar la mayor cantidad posible de investigaciones.

Particularmente, en la base de datos Scopus se delimitó la búsqueda con los filtros Engineering, Computer Science, Social Science, Mathematics, Medicine, Chemical Engineering, Economics, Econometrics y Finance. Estos filtros se utilizaron dado que la revisión de literatura centra la atención en la evaluación en los procesos de modelación matemática en correspondencia con los intereses y propósitos de la formación profesional.



Tabla 1. Ecuaciones de búsqueda utilizadas en el rastreo de los documentos

Ecuación de búsqueda	
I	“Mathematical Modelling” AND “Assessment” AND “education”
II	“Mathematical Modeling” AND “Assessment” AND “education”
III	“Mathematical Modelling” AND “evaluation” AND “education”
IV	“Mathematical Modeling” AND “evaluation” AND “education”
V	“Mathematical Modelling” AND “assessing” AND “education”

La búsqueda arrojó un total de 204 documentos entre capítulos de libros, artículos de revista especializados y memorias de eventos. La información básica de estos documentos (año, autores, título, palabras clave, abstract-resumen-introducción y revista-libro) se organizó en una hoja de cálculo. Posteriormente, se delimitaron los criterios de selección que se exponen en el siguiente apartado para constituir el conjunto de documentos a analizar.

Criterios de selección

A partir de la organización de los 204 documentos, se procedió a identificar en la información básica el título, abstract-resumen e introducción. Se eliminaron los documentos duplicados. Además, se revisó si cumplían con al menos uno de los siguientes criterios de selección:

1. En el documento se reporta alguna relación entre la evaluación y la modelación matemática.
2. El propósito del documento se centra en la evaluación en los procesos de modelación matemática.
3. El documento no solo presenta la aplicación de modelos matemáticos en otros contextos, como la ingeniería y las finanzas; sino que su propósito tiene relación con la formación profesional.

Al revisar la información básica, se definieron un total de diecinueve documentos que fueron utilizados en el proceso de lectura y análisis para la presente revisión de literatura.

Tabla 2 Categorías y preguntas orientadoras para el análisis

Categorías	Preguntas orientadoras
Objeto de la evaluación	¿Cuáles conceptos/procesos/contenidos se evalúan cuando se desarrolla modelación matemática? ¿Qué y para qué se evalúa en modelación Matemática?
Momentos de evaluación	¿En qué momentos/fases del proceso de modelación matemática se realiza la evaluación?
Instrumentos de evaluación	¿Cuáles instrumentos son utilizados en los procesos evaluativos de la modelación matemática?
Perfil profesional - evaluación	¿A quién se evalúa? ¿Qué relación hay entre el perfil profesional y la evaluación que se desarrolla?

A continuación, se organizaron categorías de análisis con el fin de realizar una aproximación a cómo se evalúa en procesos de modelación matemática que corresponden con los propósitos

y los intereses del área de formación de los estudiantes. Cada una de las categorías contó con, al menos, una pregunta orientadora que buscó dar cuenta de los diferentes procesos de



evaluación reportados en las investigaciones. Inicialmente, se contó con cinco categorías, sin embargo, a medida que avanzó la lectura y análisis de los documentos, dos de las categorías confluyeron, por lo que se obtuvieron solo cuatro categorías. En la Tabla 2 se enuncian con sus preguntas orientadoras respectivas.

Cada uno de los textos se codificó haciendo uso de herramientas de análisis de contenido mediante el software Atlas Ti (Licencia obtenida por el Grupo de Investigación). En este estudio, el análisis de contenido incluyó tres fases: preparación, organización e informe (Elo y Kyngäs, 2008). Así, el equipo de investigación definió las preguntas que usaría para el análisis de los documentos (Tabla 2). Se organizaron y leyeron los documentos con el fin de elegir los

fragmentos que contenían potencial información sobre la evaluación de aspectos profesionales en la modelación matemática. Cada investigador realizó una codificación preliminar de las relaciones entre los aspectos presentados en la Tabla 2. A continuación, el equipo de investigación se reunió para debatir los resultados y llegar a un consenso. Como resultado, se eligieron algunos extractos para analizarlos a fondo y definir las categorías principales. De forma posterior, se establecieron relaciones entre los fragmentos asociados a cada código en el interior del texto y con los respectivos códigos de los demás textos. Esto supuso tanto un proceso de lectura y relectura constante de los datos como de abstracción (Elo y Kyngäs, 2008). El siguiente apartado describe los resultados del análisis.

Resultados

Con el fin de dar respuesta a la pregunta que orientó este estudio, los resultados se organizaron a través de las categorías presentadas en la Tabla 2. A continuación, se desarrolla cada una de ellas.

Objeto de la evaluación

Tres de las diecinueve investigaciones centran su atención en evaluar conceptos y procedimientos matemáticos (Flores et al., 2016; Haines y Crouch, 2010; High y Maase, 2007). Siete investigaciones tienen como principal interés la evaluación de las capacidades, habilidades o competencias para la creación y uso de modelos matemáticos (Aydogan Yenmez et al., 2017; Diefes-Dux et al., 2012; Flores et al., 2016; Haines y Crouch, 2010; High y Maase, 2007; Hoskinson, 2010; Paolucci y Wessels, 2017). Los demás reportes no especifican puntualmente los contenidos o los procesos evaluados, pero informan aspectos propios de la modelación matemática, de la formación de profesionales o de la evaluación en general.

En relación con las investigaciones que se preocupan por evaluar conceptos y procedimientos matemáticos (Flores et al., 2016; Haines y Crouch, 2010; High y Maase, 2007), se resalta que incluyen en sus evaluaciones procesos propios de la modelación,

como la matematización, el uso de modelos y la simplificación. Si bien en las ideas que reportan los documentos se identifica una tendencia hacia los aspectos propios de las matemáticas, también son de su interés evaluativo otros aspectos como la comunicación o la divulgación.

Por otro lado, los estudios incluidos en esta revisión de literatura muestran tendencias respecto a los diferentes temas de interés en la evaluación en la modelación matemática. En su mayoría, se preocupan por evaluar los desarrollos de los estudiantes frente a procesos como la simplificación, el uso de modelos para el estudio de fenómenos, la matematización, la validación y, en particular, la forma como los estudiantes interpretan y comunican los resultados. En este sentido, la modelación matemática no solo es un medio para el estudio de las matemáticas, también es un fin, es decir, un contenido de aprendizaje y, por tanto, de evaluación. Este aspecto se encuentra en correspondencia con la comprensión de modelación de Julie y Mudaly (2007), para quienes la modelación puede comprenderse como un “vehículo para” o como “objeto o contenido”.

Conforme se mencionó antes, existen investigaciones que evalúan los subprocesos que componen la modelación matemática; esta



tarea no es un asunto elemental. Por un lado, en los reportes de Aydogan Yenmez et al. (2017) y Hoskinson (2010) es posible identificar que la evaluación centra su interés en el uso y la aplicación de los modelos construidos en el proceso y no precisamente en los procedimientos o en las maneras de construcción de los modelos matemáticos. Este hecho muestra que el proceso de evaluación se preocupa solo por algunos aspectos de la modelación. Como indica Frejd (2013), la evaluación en modelación matemática se da en ocasiones de manera atomística, pues su foco de atención se centra en partes y no de manera holística en todo el proceso. Por otro lado, Flores et al. (2016) identifican una evaluación que se interesa por los conceptos y los procedimientos matemáticos que se utilizan para llegar a una solución y validación de un problema. También, se interesan por la simplificación, la matematización y la construcción de modelos, aspectos que posibilitan una evaluación de todo

un proceso y no solo de una parte.

En general, se identifican investigaciones (Aydogan Yenmez et al., 2017; Diefes-Dux et al., 2012; Flores et al., 2016; Hoskinson, 2010; Paolucci y Wessels, 2017) en las que el trabajo en equipo cobra importancia cuando se desarrollan procesos de modelación matemática. Esto se fundamenta en que los estudiantes trabajan por un mismo propósito y las visiones de los integrantes frente a los fenómenos y los modelos ayudan a la solución y se potencia la comunicación. En particular, la mayoría de las investigaciones prestan atención a la forma en que los estudiantes comunican las soluciones y los resultados de los procesos de modelación. Estos hechos se evidencian en las investigaciones de Aydogan Yenmez et al. (2017), Diefes-Dux et al. (2012), Flores et al. (2016) y Hoskinson (2010).

Tabla 3

Objetos de investigación en modelación matemática

Objeto de Evaluación	Investigaciones
Conceptos y procedimientos matemáticos	(Flores et al., 2016) (Haines y Crouch, 2010) (High y Maase, 2007)
Proceso de modelación matemática	(Aydogan Yenmez et al., 2017) (Diefes-Dux et al., 2012) (Hoskinson, 2010) (Flores et al., 2016) (Paolucci y Wessels, 2017) (Haines y Crouch, 2010) (High y Maase, 2007)

Con respecto al propósito de la evaluación, algunas investigaciones (Aydogan Yenmez et al., 2017; Diefes-Dux et al., 2012; Flores et al., 2016; Haines y Crouch, 2010; High y Maase, 2007; Hoskinson, 2010; Paolucci y Wessels, 2017) centran su atención en evaluar el proceso de modelación matemática, es decir, en determinar la capacidad de los estudiantes

para abstraer, simplificar o ejecutar un ciclo o proceso de modelación en el estudio de un fenómeno, problema o situación (evaluación de la modelación). Otras investigaciones (Flores et al., 2016; Haines y Crouch, 2010; High y Maase, 2007) se centran en los conceptos y procedimientos matemáticos sin dejar de lado aspectos del proceso de modelación, pero no tan



marcados. Las demás investigaciones (Borromeo Ferri, 2017; Brocklehurst et al., 2006; Cole et al., 2011; Haines y Crouch, 2010; Kaiser y Schwarz, 2010; Lebedev et al., 2016; Lingefjärd y Meier, 2010; Peng, 2014; Schütze et al., 2017; Urhan y Dost, 2018; Yongqiang, 2011) tienen por objetivo informar aspectos tales como el estudio de las habilidades matemáticas y de la modelación (Lebedev et al., 2016), la idea de desarrollar modelación matemática en la enseñanza de las matemáticas (Peng, 2014) o describir actividades de modelación matemática en contextos auténticos (Kaiser y Schwarz, 2010), entre otras. La Tabla 3 resume el objeto de evaluación e indica las investigaciones que enfocan su atención en los conceptos y los procedimientos matemáticos o en los procesos de modelación matemática.

Momentos de evaluación

Esta categoría de análisis determina los momentos, fases o etapas de modelación en los cuales se llevó a cabo el proceso de evaluación. Las investigaciones no definen de forma precisa los momentos en los que se desarrollan los procesos de evaluación; sin embargo, de los diecinueve documentos, cinco de ellos (Aydogan Yenmez et al., 2017; Flores et al., 2016; High y Maase, 2007; Hoskinson, 2010; Paolucci y Wessels, 2017) indican cómo se desarrolla el proceso evaluativo. A continuación, se resaltan los hallazgos.

Las investigaciones de Aydogan Yenmez et al. (2017), Hoskinson (2010) y High y Maase (2007) indican que la evaluación se desarrolló desde el momento en el que los estudiantes identificaron el problema hasta la comunicación y divulgación de los hallazgos. En este sentido, es posible interpretar que se realizó una evaluación holística, es decir, tuvo en cuenta todo el proceso de la modelación matemática.

La investigación de Hoskinson (2010) desarrolló evaluaciones formativas dentro de un curso para estudiantes de biología. Este hecho implica que la apuesta de la evaluación, para este autor, no radica en generar una calificación a los estudiantes, sino que se

configura como un instrumento que apoya el proceso aprendizaje; es decir, se apuesta por una mejora de la comprensión y de los procesos y procedimientos que los estudiantes desarrollan. Así mismo, se aplican evaluaciones constantes y procesos de retroalimentación que ayudan a avanzar a los estudiantes. Para ello, el autor informa que los estudiantes desarrollaron un proyecto final que presentaron a todo el grupo. Adicionalmente, se aplicó una lista de criterios para evaluar los trabajos, retroalimentación a los mismos y a las pruebas, de tal forma que se identificaron debilidades con el fin de mejorar y hacer consistente la propuesta formativa de la evaluación.

En relación con la formación de profesores de matemática de primaria, Paolucci y Wessels (2017) muestran que la evaluación se desarrolló de manera paulatina. Por tanto, su proceso giró en torno a la construcción de tareas de modelación y, a partir de marcos de referencia preestablecidos, se evaluó el avance en los procesos y sugirieron reformulaciones para la consolidación de las tareas. Por ejemplo, se aplicaron rúbricas de puntuación a las tareas creadas por los estudiantes (futuros profesores) con el fin de revisar la coherencia entre los aspectos metodológicos, teóricos y didácticos.

Finalmente, Flores et al. (2016) desarrollaron la evaluación a lo largo de todo el proceso de modelación matemática. En particular, utilizaron el ciclo de modelación planteado por Blum y Leiß (2007). Estos investigadores, a través de siete etapas, no lineales, evaluaron la comprensión inicial de los estudiantes frente al problema que presentaron, el proceso de simplificación que utilizaron, la matematización entre el modelo real y el modelo matemático, la interpretación de la solución, la verificación de los resultados y la presentación de la solución.

En general, las cinco investigaciones sustentan que las evaluaciones no se realizan al final o en un único momento y que se deben considerar todos los procesos que intervienen en la modelación matemática, como se indicó en la anterior categoría, unas centradas en aspectos matemáticos y otras en la modelación. Estos



aspectos pueden considerarse características de la evaluación formativa. En términos de Black y Wiliam (2009), en este tipo de evaluación la preocupación se centra en los procesos que desarrollan los estudiantes y en la retroalimentación que apuesta por una mejora continua. Esta noción en la evaluación en modelación matemática es una herramienta que permite el avance de los estudiantes, la autoevaluación y la retroalimentación en cada uno de los procesos.

A pesar de que las investigaciones enuncian el instrumento de evaluación, no especifican la aplicación o el desarrollo del mismo. En el siguiente apartado se plantean los hallazgos en relación con esta temática.

Instrumentos de evaluación

Esta categoría se preocupó por indagar los diferentes instrumentos de evaluación. La pregunta ¿Cuáles instrumentos son utilizados en los procesos evaluativos en la modelación matemática? orientó el análisis de los documentos.

Si bien las investigaciones incluidas en la revisión de la literatura tenían relación con la modelación y la evaluación, sus objetos de estudio no fueron necesariamente sobre los instrumentos. Por ello, no en todos los artículos se indicaron los instrumentos de evaluación. Sin embargo, los trabajos de Aydogan Yenmez et al. (2017), Diefes-Dux et al. (2012) y Paolucci y Wessels (2017) usaron rúbricas en sus procesos. Por su parte, Hoskinson (2010) utilizó la evaluación sumativa y Flores et al. (2016) una serie de tareas.

A pesar de que las investigaciones no detallan los instrumentos de evaluación, es posible comparar estos hallazgos con los de Frejd (2013). Este autor encontró que los instrumentos que más utilizan los investigadores al momento de evaluar la modelación son: pruebas escritas, pruebas prácticas, proyectos, portafolios y concursos. En las investigaciones revisadas por Frejd se identifican diferentes instrumentos de evaluación; para el autor, este aspecto abre

nuevos cuestionamientos sobre las posibilidades que estos ofrecen.

Por una parte, dentro del trabajo con rúbricas se diferencian algunos aspectos en relación con el foco de atención que se detallan a continuación. La rúbrica que utilizó Aydogan Yenmez et al. (2017) contiene una serie de criterios e indicadores para evaluar los elementos que componen la modelación matemática como son la simplificación, el uso y la construcción de modelos y la divulgación. Es decir, se preocuparon por el planteamiento de preguntas al inicio de la interpretación de un fenómeno, la forma como simplifican la información y la capacidad de comunicar el proceso a sus compañeros y profesores. Diefes-Dux et al. (2012) construyeron una rúbrica (MEA-rubric) que se basó en la caracterización de cuatro dimensiones (modelo matemático, reutilización, modificabilidad y capacidad de compartir), con el fin de identificar patrones que posibilitaban la retroalimentación en el proceso. Paolucci y Wessels (2017) utilizaron en su trabajo varias rúbricas construidas a partir de los criterios planteados por Galbraith (2007), los cuales se organizaron para evaluar la creación y la coherencia de acuerdo con las exigencias curriculares de problemas de modelación matemática para estudiantes de los primeros años de escolaridad.

Por otra parte, Flores et al. (2016) se centraron en una serie de tareas enmarcadas en los aspectos que componen el ciclo de modelación matemática planteado por Blum y Leiß (2007). En esta lógica, el ciclo de modelación matemática les permitió evaluar el desempeño de los estudiantes no solo en los aspectos matemáticos, sino también en los conocimientos del proceso de modelación mismo.

Con respecto a esta categoría se resalta que los instrumentos de evaluación que se identifican en los reportes de investigación tienen particularidades que se sustentan en los propósitos y objetivos de los autores. En algunos estudios sobre la evaluación en modelación matemática se utilizan rúbricas que puntualizan y plantean criterios u orientaciones que dan cuenta de la intención de la evaluación.



Se resalta también que los instrumentos se sustentan teórica y metodológicamente, dado que en su mayoría acuden a investigaciones que posibilitan claridad y rigor en la evaluación. Adicionalmente, la categoría reporta cinco de los diecinueve documentos, dado que no todas las investigaciones indicaron los instrumentos o las herramientas que utilizaron en sus procesos de evaluación.

Perfil profesional – evaluación

En la mayoría de los reportes de investigación no se explicita de forma clara la manera en que se incluyó y evaluó el componente profesional. Sin embargo, en algunos se puede observar una reorganización de la modelación y de la evaluación acorde con el tipo de profesional que se espera formar.

Por un lado, la investigación reportada por Paolucci y Wessels (2017) vincula el proceso de evaluación con el perfil y el campo profesional de los estudiantes (futuros profesores); los criterios organizados en rúbricas están en estrecha relación con el futuro desempeño profesional que para este caso es la docencia. El profesor en su quehacer se enfrenta a la creación de estrategias para el aula, como los problemas de modelación matemática, y es en estos en los que se centra la evaluación que desarrolló Paolucci y Wessels (2017). Estos autores examinaron la capacidad que tenían los profesores en formación inicial para crear problemas de modelación matemática alineados con el currículo y plan de estudio de niños de primero a tercer grado de escolaridad. Este estudio es un ejemplo de que es posible integrar necesidades profesionales y exigencias

propias de la práctica o del desarrollo profesional en la evaluación.

Por otro lado, las investigaciones de Aydogan Yenmez et al. (2017), Diefes-Dux et al. (2012), High y Maase (2007) y Hoskinson (2010) relacionan la evaluación y la modelación matemática con campos profesionales. Si bien no se explicita la relación entre la evaluación y el futuro desempeño de los estudiantes, se resaltan aspectos que para la presente categoría son relevantes. Por ejemplo, Diefes-Dux et al. (2012) centraron su atención en mejorar los procesos de retroalimentación que se desarrollaron con estudiantes de primer año de ingeniería. Aydogan Yenmez et al. (2017) se preocuparon por que los futuros profesores desarrollaran criterios de evaluación en relación con la modelación matemática. High y Maase (2007) relacionaron modelos matemáticos con la ingeniería química, aunque no es clara la forma en que vinculan la evaluación en su trabajo. El estudio de Hoskinson (2010) atendió al desarrollo de modelos matemáticos aplicados a fenómenos biológicos, determinando el dominio que tenían los estudiantes al momento de elegir un tipo de modelo al considerar las características de la población; de manera que se prestó atención a la efectividad y a la validez de los modelos que se utilizaron.

En este sentido, se observa una exigua relación entre el perfil profesional de los estudiantes y las estrategias evaluativas que se implementaron en los documentos que hacen parte de esta revisión. Se reconoce que los sujetos que se evalúan son nombrados en la categoría general de estudiantes, sin embargo, no se reporta una alusión explícita a la evaluación de aspectos clave de su futuro desempeño profesional.

Discusión

En esta revisión se encontró que la mayoría de los diecinueve documentos que se seleccionaron para la revisión de literatura se preocuparon por evaluar procesos o contenidos matemáticos y componentes de la modelación. También se encontró que, en su mayoría, expresaban que la evaluación se desarrollaba en todo el proceso de modelación. En relación con las estrategias o instrumentos de evaluación, solo fue posible reconocerlas en cinco documentos.

También se observó una relación entre el perfil profesional y la evaluación en cinco documentos. Esta relación se hizo evidente en la evaluación de la capacidad de profesores para el diseño de tareas de modelación; en los demás documentos se usó la modelación para ilustrar conexiones entre la matemática y la respectiva profesión. Estos hallazgos llaman la atención en cuanto a determinar con mayor precisión los vínculos que construyen entre la evaluación y el



desempeño en el futuro campo profesional.

En la literatura sobre la modelación matemática se ha abogado por enfoques situados de la enseñanza, esto es, la enseñanza no se centra solo en los contenidos y procesos matemáticos, sino que también debe dar cuenta de su utilidad, articulación y uso en otros aprendizajes de tipo profesional. En coherencia con esta perspectiva, se espera que la evaluación aporte a la formación y valoración de esta variedad de articulaciones. Este tipo de resultados es coherente con la propuesta de Villa-Ochoa et al. (2021), quienes utilizaron instrumentos propios de la formación profesional de los profesores (lesson plans) para promover y valorar el aprendizaje de los futuros profesores sobre la enseñanza de la modelación. Este es un llamado a indagar por la relación que debería tener el proceso de evaluación en modelación matemática con los intereses profesionales del sujeto que se evalúa.

Los resultados de esta revisión sugieren el desarrollo de más investigaciones en las cuales se construyan otros vínculos entre la modelación y la formación profesional y, en coherencia, que la evaluación no solo se concentre en el aprendizaje matemático, sino también en los otros aprendizajes inherentes a la profesión, el contexto e interés de los estudiantes. En la literatura, se observa que estas relaciones son posibles, por ejemplo, Rendón-Mesa et al. (2016) usaron la modelación como una herramienta para integrar la práctica de diseño y las matemáticas. Estas prácticas integradas fueron evaluadas tanto por los profesores de matemática como de ingeniería, a través de la realización de proyectos conjuntos.

En la misma dirección, Romo-Vázquez et al. (2019) diseñaron e implementaron Unidades de Aprendizaje online y a distancia para profesores de matemáticas. En este estudio, sus diseños se organizaron con el fin de abordar los obstáculos institucionales que plantea la enseñanza de la modelación matemática en relación con conocimientos preestablecidos. En coherencia con el desarrollo profesional de profesores de matemática, se buscó que, además de desarrollar la modelación, también reconocieran la importancia de la modelación y las maneras de integrarla en los contextos escolares.

En esta revisión no fue posible identificar en todas las investigaciones el propósito evaluativo, los momentos de evaluación, los instrumentos de evaluación y la relación entre el perfil profesional y la evaluación. Estos resultados se pueden interpretar, por un lado, como un vacío en la investigación frente al tema; pero, por otro lado, como un aspecto que aun cuando haya sido implementado en los procesos formativos no se ha reportado en los informes de investigación. En cada una de las categorías se mostraron desarrollos teóricos y prácticos en relación con la evaluación en modelación matemática, las particularidades y generalidades que se hallaron.

En general, las investigaciones que detallan todo el proceso de evaluación también muestran la necesidad de evaluar de manera holística todo el proceso de modelación. Esto incluye la identificación de la situación, la simplificación de variables, la creación de modelos, la validación y su comunicación o divulgación; en otras palabras, se puede interpretarse como una evaluación de la modelación. A diferencia de los resultados de Frejd (2013), es estos estudios se observa un esfuerzo por desarrollar una evaluación holística. Este aspecto exige que la evaluación de la modelación matemática involucre de forma constante el acompañamiento de los profesores, de forma que se oriente el proceso y se apueste por mejoras constantes.

La literatura internacional informa sobre las oportunidades que ofrece la modelación como objeto y vehículo en el aprendizaje de los estudiantes. Frente a ello, existen investigaciones que se han ocupado de la modelación y sus relaciones con los procesos de evaluación. La revisión de literatura desarrollada por Frejd (2013) es un estudio previo que se preocupó por esta relación, adoptando una comprensión de la modelación como competencia y de la evaluación como proceso que aporta a la formación de los estudiantes. Sin embargo, como se argumentó en el primer apartado de este artículo, los estudios sobre la relación entre modelación y la evaluación que incluyan metas e intereses de formación de los estudiantes es una necesidad de investigación.

Al respecto, este estudio aporta dos resultados importantes. El primero informa sobre los objetos e instrumentos de la evaluación. En relación con



los objetos se encuentra que las investigaciones centran su atención en los conceptos y en los procedimientos matemáticos o en evaluar el proceso de modelación como tal. Así mismo, en esta revisión se informa que los proyectos, las rúbricas y las evaluaciones sumativas son los instrumentos de evaluación que más utilizan los investigadores, y que la evaluación formativa posibilita desarrollar una evaluación estructurada que se aplica a lo largo del proceso de modelación. No se observaron críticas a los diseños ni a la implementación de rúbricas y este hecho llama la atención, ya que investigaciones recientes (Villa-Ochoa et al., 2021) han notado que, si bien las rúbricas ofrecen oportunidades para anticipar cuáles serían las pruebas de aprendizaje sobre la modelación, es decir, clarificación sobre las intenciones de aprendizaje (Black y William, 1998, 2009), también pueden condicionar la emergencia de otros conocimientos profesionales importantes. Si bien los autores indican que se debe evaluar todo el proceso o que en su estudio así se hizo, no siempre este aspecto es ejemplificado o particularizado. La investigación de Frejd (2013) indica que los proyectos y las rúbricas son los instrumentos más utilizados en la evaluación de la modelación matemática y esto también se evidenció en la presente revisión de literatura. Sin embargo, no se logró determinar, por ejemplo, la participación de los estudiantes en dichos instrumentos, ni se encontró evidencia sobre el uso o desarrollo que se le dio a cada uno de los instrumentos.

El segundo resultado radica en la cantidad de estudios y los aportes que hacen a una formación de los estudiantes más allá de sus conocimientos y habilidades matemáticas. Al respecto, una

perspectiva situada de la modelación matemática (Rendón-Mesa, 2016) concibe los conocimientos propios del campo profesional, cotidiano o escolar de los estudiantes como un principio en el diseño de los ambientes de aprendizaje y como una meta en su formación. Por tanto, la evaluación también debe ocuparse de valorar y promover los aprendizajes en esas dimensiones. Sobre este tema, esta revisión encontró que son pocos los estudios que se ocupan de este asunto.

De los 19 documentos que se analizaron, solo el estudio de Paolucci y Wessels (2017) resalta la importancia de la relación de la evaluación con el futuro desempeño profesional de los profesores de matemática en la escuela primaria. Según las autoras, dado que en su quehacer profesional deberán diseñar tareas de modelación matemática, estos estudiantes no solo estudian sobre qué es modelación matemática, sino que su tarea también es crear problemas de modelación matemática para niños.

En este sentido Lingefjärd (2016), en sus desarrollos investigativos, resalta la importancia que tiene la formación del profesor, dado que orientar procesos de modelación no es trivial, pues exige conocimientos y competencias tanto matemáticas como de la modelación misma. En particular, Cetinkaya et al. (2016) indican una serie de conocimientos que debe dominar el futuro profesor de matemáticas que integra la modelación en sus clases. Así mismo, en relación con la ingeniería, diferentes investigadores han aportado en su formación profesional, por ejemplo, en la Ingeniería de Diseño de Producto. Al respecto, Rendón-Mesa (2016) apostó por una articulación entre el saber matemático y el campo de acción de dicha ingeniería.

Conclusiones

Esta revisión muestra que la evaluación en/ de la modelación matemática ha ganado terreno en el ámbito de la educación matemática. Sin embargo, una parte considerable de los trabajos se ha concentrado en la evaluación del/para el conocimiento de la matemática y de la modelación misma, y pocos se han ocupado de valorar y promover los aprendizajes en otras dimensiones de la formación matemática, por ejemplo, las conexiones y vínculos con la formación profesional.

Por tanto, esta revisión sugiere mayores estudios sobre los diseños y desarrollos de ambientes de modelación que atiendan a las necesidades y a los intereses de formación de los estudiantes. En coherencia, sugiere que se desarrollen procesos de evaluación que informen y promuevan el aprendizaje no solo de la matemática, sino también de las habilidades, los conocimientos y los procesos extra-matemáticos que se involucran en este tipo de ambientes de modelación.



Una limitación de esta revisión es que el alcance puede limitarse a los documentos encontrados en las bases declaradas. Si bien las bases mencionadas son de alta relevancia en el desarrollo de la ciencia, estas dejan por fuera algunas publicaciones regionales. La inclusión de documentos en idiomas diferentes al inglés también es una limitación de estas bases. Dado que nuestros resultados se limitan al grupo de

estudiantes universitarios, se requiere más investigaciones para explorar los desarrollos de la evaluación (en varias de sus tipologías) en la modelación matemática y otros niveles escolares. Siguiendo la línea temática de este estudio, esto implica enfocarse en los intereses particulares de las poblaciones en las que se usa la modelación, lo que depende de las apuestas curriculares de cada institución.

Referencias

- Anchieta, R. J. F. (2017). *Avaliação Formativa de Aprendizagem em Modelagem Matemática* [Tesis doctoral, Universidade Federal de Mato Grosso].
- Aydogan Yenmez, A., Erbas, A. K., Cakiroglu, E., Alacaci, C. y Cetinkaya, B. (2017). Developing teachers' models for assessing students' competence in mathematical modelling through lesson study. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 48(6), 895–912. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2017.1298854>
- Bassanezi, R. C. (2002). *Ensino-aprendizagem com modelagem matemática*. Editora Contexto.
- Black, P. y Wiliam, D. (1998). Assessment and Classroom Learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 5(1), 7–74. <https://doi.org/10.1080/0969595980050102>
- Black, P., & Wiliam, D. (2009). Developing the theory of formative assessment. *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 21(1), 5–31. <https://doi.org/10.1007/s11092-008-9068-5>
- 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.
- Blum, W., Galbraith, P. L., Henn, H.-W. y Niss, M. (2007). *Modelling and Applications in Mathematics Education* (Vol. 10). Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-29822-1>
- Blum, W. y Leiß, D. (2007). How do Students and Teachers Deal with Modelling Problems? En C. Haines, P. Galbraith, W. Blum y S. Khan (Eds.), *Mathematical Modelling* (pp. 222–231). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857099419.5.221>
- Borromeo Ferri, R. (2017). *Learning How to Teach Mathematical Modeling in School and Teacher Education*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68072-9>
- Brocklehurst, D., Bouchlaghem, D., Pitfield, D., Green, M. y Still, K. (2006). A new approach for modelling circulation in secondary schools. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, 159(1), 3–12. <https://doi.org/10.1680/stbu.2006.159.1.3>
- Brown, S. y Pickford, R. (2013). *Evaluación de habilidades y competencias en Educación Superior*. Narcea Ediciones.
- Carmona-Mesa, J. A., Cardona Zapata, M. E. y Castrillón-Yepes, A. (2020). Estudio de fenómenos físicos en la formación inicial de profesores de Matemáticas. Una experiencia con enfoque STEM. *Uni-Pluriversidad*, 20(1), e2020101. <https://doi.org/10.17533/udea.unipluri.20.1.02>
- Cetinkaya, B., Kertil, M., Erbas, A. K., Korkmaz, H., Alacaci, C. y Cakiroglu, E. (2016). Pre-service Teachers' Developing Conceptions about the Nature and Pedagogy of Mathematical Modeling in the Context of a Mathematical Modeling Course. *Mathematical Thinking and Learning*, 18(4), 287–314. <https://doi.org/10.1080/10986065.2016.1219932>



- Cole, J. L., Linsenmeier, R. A., Molina, E., Glucksberg, M. R. y McKenna, A. F. (2011). *Assessing engineering students' abilities at generating and using mathematical models in capstone design*. ASEE Annual Conference and Exposition, (Fall 2010). <http://www.asee.org/public/conferences/1/papers/662/download>
- Diefes-Dux, H. A., Zawojewski, J. S., Hjalmarson, M. A. y 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. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2012.tb00054.x>
- Elo, S. y Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing*, 62(1), 107–115. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x>
- Flores, E. G. R., Montoya, M. S. R. y Mena, J. (2016). Challenge-based gamification and its impact in teaching mathematical modeling. En F. J. García-Peñalvo (Ed.), *Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality* (pp. 771–776). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3012430.3012605>
- Frejd, P. (2013). Modes of modelling assessment—a literature review. *Educational Studies in Mathematics*, 84(3), 413–438. <https://doi.org/10.1007/s10649-013-9491-5>
- Grant, M. J. y Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Goos, M. (2020). Mathematics Classroom Assessment. En Lerman, S. (Eds.), *Encyclopedia of Mathematics Education*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15789-0_104
- Haines, C. y Crouch, R. (2010). Mathematical Modelling and Applications: Ability and Competence Frameworks. En R. Lesh, P. Galbraith, C. Haines y A. Hurford (Eds.), *Modeling Students' Mathematical Modeling Competencies* (pp. 417–424). https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0561-1_12
- Hamodi, C., Pastor, V. M. L. y Pastor, A. T. L. (2015). Medios, técnicas e instrumentos de evaluación formativa y compartida del aprendizaje en educación superior. *Perfiles Educativos*, 37(147), 146–161. <https://doi.org/10.1016/j.pe.2015.10.004>
- High, K. y Maase, E. (2007). Active Problem Solving in a Graduate Course on Modeling and Numerical Methods. *2007 Annual Conference & Exposition* (pp. 12.173.1 - 12.173.15). American Society for Engineering Education. <https://doi.org/10.18260/1-2—2271>
- Hoskinson, A.-M. (2010). How to Build a Course in Mathematical–Biological Modeling: Content and Processes for Knowledge and Skill. *CBE—Life Sciences Education*, 9(3), 333–341. <https://doi.org/10.1187/cbe.10-03-0041>
- Hošpesová, A. (2018). Formative Assessment in Inquiry-Based Elementary Mathematics. En G. Kaiser, H. Forgasz, M. Graven, A. Kuzniak, E. Simmt y B. Xu (Eds.), *Invited Lectures from the 13th International Congress on Mathematical Education, ICME-13 Monographs* (pp. 249–268). https://doi.org/10.1007/978-3-319-72170-5_15
- Houston, K. (2007). Assessing the “phases” of mathematical modelling. En *Modelling and applications in mathematics education* (pp. 249–256). Springer.
- Julie, C. y Mudaly, V. (2007). Mathematical Modelling of Social Issues in School Mathematics in South Africa. En W. Blum, P. L. Galbraith, H.-W. Henn y M. Niss (Eds.), *Modelling and Applications in Mathematics Education* (Vol. 10, Issue February, pp. 503–510). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-29822-1_58
- Kaiser, G. y Schwarz, B. (2010). Authentic Modelling Problems in Mathematics Education—Examples and Experiences. *Journal Für Mathematik-Didaktik*, 31(1), 52–76.
- Lebedev, A., Krupa, T. y Rezakov, M. (2016). Structures of mathematical modeling of metathematic and metacognitive skills and abilities' typology. *International Journal of Environmental and Science Education*, 11(15), 7880–7887.



- Lingefjärd, T. (2007). Mathematical modelling in teacher education—Necessity or unnecessarily. En *Modelling and Applications in Mathematics Education* (pp. 333–340). Springer.
- Lingefjärd, T. (2016). Learning mathematical modelling. *Far East Journal of Mathematical Education*, 16(2), 149–167. <https://doi.org/10.17654/ME016020149>
- Lingefjärd, T. y Meier, S. (2010). Teachers as managers of the modelling process. *Mathematics Education Research Journal*, 22(2), 92–107. <https://doi.org/10.1007/BF03217568>
- Niss, M. (1993a). Cases of Assessment in Mathematics Education. An ICMI Study. En M. Niss (Ed.), *New ICMI Study Series*. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-0980-4>
- Niss, M. (Ed) (1993b). *Investigations into assessment in Mathematics Education*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-1974-2>
- Niss, M., Blum, W. y Galbraith, P. (2007). Introduction. En W. Blum, P. Galbraith, W. Henn y M. Niss (Eds.), *Modelling and Applications in Mathematics Education* (pp. 3–32). https://doi.org/10.1007/978-0-387-29822-1_1
- Paolucci, C. y Wessels, H. (2017). An Examination of Preservice Teachers' Capacity to Create Mathematical Modeling Problems for Children. *Journal of Teacher Education*, 68(3), 330–344. <https://doi.org/10.1177/0022487117697636>
- Peng, S. G. (2014). Research of Bringing Higher Mathematics Education in Mathematical Modeling Idea. *Applied Mechanics and Materials*, 556–562, 6548–6550. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.556-562.6548>
- Rendón-Mesa, P. A. (2016). *Articulación entre la matemática y el campo de acción de la ingeniería de diseño de producto: aportes de la modelación matemática* [Tesis Doctoral no publicada, Universidad de Antioquia].
- Rendón-Mesa, P. A., Duarte, P. V. E. y Villa-Ochoa, J. A. (2016). Articulación entre la matemática y el campo de acción de la ingeniería de diseño de producto: componentes de un proceso de modelación matemática. *Revista de La Facultad de Ingeniería U.C.V.*, 31(2), 21–36.
- Romo-Vázquez, A. (2014). La modelización matemática en la formación de ingenieros. *Educación Matemática, especial* (25 años), 314–338.
- Romo-Vázquez, A., Barquero, B. y Bosch, M. (2019). El desarrollo profesional online de profesores de matemáticas en activo: una unidad de aprendizaje sobre la enseñanza de la modelización matemática. *Uni-Pluriversidad*, 19(2), 161–183. <https://doi.org/10.17533/udea.unipluri.19.2.09>
- Rosa, M. y Orey, D. C. (2019). Mathematical modelling as a virtual learning environment for teacher education programs. *Uni-Pluriversidad*, 19(2), 80–102. <https://doi.org/10.17533/udea.unipluri.19.2.04>
- Sánchez-Cardona, J., Rendón-Mesa, P. A. y Villa-Ochoa, J. A. (2021). Proyectos de modelación matemática como estrategia de evaluación formativa en un curso para futuros profesores de matemáticas. *Revista Meta: Avaliação*, 13(40), 543–570. <https://doi.org/10.22347/2175-2753v13i40.3243>
- Schütze, B., Rakoczy, K., Klieme, E., Besser, M. y Leiss, D. (2017). Training effects on teachers' feedback practice: the mediating function of feedback knowledge and the moderating role of self-efficacy. *ZDM - Mathematics Education*, 49(3), 475–489. <https://doi.org/10.1007/s11858-017-0855-7>
- Suurtamm, C., Thompson, D. R., Kim, R. Y., Moreno, L. D., Sayac, N., Schukajlow, S., ... Vos, P. (2016). Assessment in Mathematics Education. Large-Scale Assessment and Classroom Assessment. En *The Proceedings of the 12th International Congress on Mathematical Education*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32394-7>
- Urhan, S. y Dost, Ş. (2018). Analysis of Ninth Grade Mathematics Course Book Activities Based on Model-Eli-



citing Principles. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(5), 985–1002. <https://doi.org/10.1007/s10763-017-9808-4>

Villa-Ochoa, J. A., Sánchez-Cardona, J. y Rendón-Mesa, P. A. (2021). Formative Assessment of Pre-Service Teachers' Knowledge on Mathematical Modeling. *Mathematics*, 9(8), 851. <https://doi.org/10.3390/math9080851>

Villa-Ochoa, J. A., Sánchez-Cardona, J. y Parra-Zapata, M. M. (2022). Modelación matemática en la perspectiva de la educación matemática. En M. Rodríguez, M. Pochulu y F. Espinoza (Eds.), *Educación matemática. Aportes a la formación docente desde distintos enfoques teóricos* (pp. 67–89). Ediciones Universidad Nacional de General Sarmiento.

Yongqiang, H. (2011). Study on Students' Comprehensive Evaluation Model. En *Communications in Computer and Information Science* (Vol. 233 CCIS, pp. 413–419). https://doi.org/10.1007/978-3-642-24010-2_56.

