

Representaciones semióticas en el álgebra escolar: una revisión sistemática de la literatura entre 2013-2022

ISABELLA VÁSQUEZ-ALVIAL*
KEVIN FLORES-FRANCINO**
JUAN LUIS PRIETO-GONZÁLEZ***

Universidad Arturo Prat - Chile

Recibido el 27-01-24; primera evaluación el 05-08-24;
aceptado el 08-08-24

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue conocer el estado actual del uso de diferentes representaciones semióticas en investigaciones de los procesos de enseñanza-aprendizaje del álgebra escolar realizadas entre 2013 y 2022. Dada su naturaleza, los estudiantes pueden acceder a los objetos matemáticos solo mediante representaciones, haciendo uso de signos y símbolos. El carácter predominantemente simbólico que presenta el estado de la matemática moderna hace pertinente cuestionarse la forma en que los estudiantes se apropian del conocimiento matemático. Para conocer el estado actual del uso de representaciones semióticas en el álgebra escolar por parte de estudiantes de educación media, se llevó a cabo una revisión sistemática, bajo un enfoque Prisma, que implicó un análisis de las temáticas y las fundamentaciones teóricas expuestas en los artículos tratados. Con esto se dio respuesta a qué tan diversas son las representaciones y qué principios teóricos respaldan los artículos. Asimismo, la revisión sistemática realizada revela una escasa investigación entre 2013 y 2022, un bajo porcentaje de estudios en América Latina, una diversidad notable en registros semióticos en la categoría de diseño y una fuerte preferencia por teorías socioculturales.

* Licenciada en Educación y profesora de Matemática y Física por la Universidad Arturo Prat, Chile. Correo electrónico: ivasqueza@estudiantesunap.cl ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5558-6410>

** Licenciado en Educación y profesor de Matemática y Física por la Universidad Arturo Prat, Chile. Correo electrónico: kfloresf@estudiantesunap.cl ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0729-9310>

*** Doctor en Educación Matemática por la Universidad de Los Lagos, Chile. Máster en Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Educación por la Universidad Autónoma de Barcelona, España. Licenciado en Educación Mención Matemáticas y Física por la Universidad del Zulia, Venezuela. Académico-investigador de la Carrera de Pedagogía en Matemática y Física de la Universidad Arturo Prat. Coordinador general de la Asociación Aprender en Red, Venezuela. Correo electrónico: juprieto@unap.cl ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0798-5191>



Palabras clave: representaciones semióticas, registros semióticos, álgebra.

Semiotic Representations in School Algebra: A Systematic Review

ABSTRACT

The objective of this study was to assess the current state of research on the use of various semiotic representations in the teaching and learning of school algebra from 2013 to 2022. Given their nature, students can access mathematical objects only through representations that involve signs and symbols. The predominantly symbolic nature of modern mathematics raises important questions about how students acquire and internalize mathematical knowledge. To evaluate the use of semiotic representations in school algebra among secondary education students, a systematic review was conducted following the PRISMA guidelines. This review involved analyzing the themes and theoretical frameworks presented in the selected studies. The findings highlighted a diversity of representations and theoretical principles, yet also revealed a scarcity of research during the 2013-2022 period, a limited number of studies from Latin America, notable variety in the semiotic registers used in study designs, and a strong preference for sociocultural theories.

Keywords: semiotic representations, semiotic register, algebra

Representações Semióticas no Álgebra Escolar: Uma Revisão Sistemática

RESUMO

O objetivo deste estudo foi compreender o estado atual do uso de diferentes representações semióticas na pesquisa sobre os processos de ensino-aprendizagem de álgebra escolar. Por sua natureza, os objetos matemáticos só podem ser acessados por meio de sinais e símbolos. O caráter predominantemente simbólico da matemática moderna torna pertinente questionar como os estudantes adquirem o conhecimento matemático. Foi realizada uma revisão sistemática sobre o uso de representações semióticas na álgebra escolar para estudantes do ensino médio, seguida de uma análise dos temas e fundamentos teóricos apresentados nos artigos revisados. O estudo busca responder à diversidade das representações semióticas e aos princípios teóricos que fundamentam os artigos.

Palavras-chave: representações semióticas, registros semióticos, álgebra

1. INTRODUCCIÓN

En Chile, las Bases Curriculares de 7° básico a 2° medio (12-17 años) del Ministerio de Educación (Mineduc, 2015b) otorgan importancia al tránsito de los estudiantes entre distintos modos de representación de los conceptos matemáticos (concreto, pictórico y simbólico), como estrategia para favorecer el aprendizaje de dichos conceptos. Este énfasis en las representaciones se mantiene para los distintos ejes temáticos que conforman los programas de matemáticas de estos cuatro niveles. Por ejemplo, dentro del eje Álgebra y funciones de 1° medio, uno de los objetivos de aprendizaje (OA4) que se plantea es “resolver sistemas de ecuaciones lineales (2x2) relacionados con problemas de la vida diaria y de otras asignaturas, mediante representaciones gráficas y simbólicas, de manera manual y/o con *software* educativo” (Mineduc, 2016, p. 56). En la formulación del OA4 subyace la intención de lograr que los estudiantes comprendan y utilicen el lenguaje algebraico propio de los sistemas de ecuaciones, caracterizado por el uso de representaciones simbólicas sofisticadas, en relación con otras formas de representación del concepto, las cuales incluyen representaciones concretas y gráficas. En este trabajo, usamos el término “representación semiótica” para referirnos a cualquier modo de representación de los conceptos matemáticos, ya sea concreto, pictórico, simbólico, o de otra índole.

En el campo de la Educación Matemática, las representaciones semióticas han sido tratadas por los investigadores desde diferentes enfoques (Presmeg et al., 2016). Por ejemplo, desde un enfoque cognitivo, Duval (2004) considera a las representaciones semióticas como entidades dentro de sistemas de signos y símbolos que se usan para comunicar y construir conocimiento matemático, y que se expresan de distinta forma como “figuras, esquemas, gráficos, expresiones simbólicas, expresiones lingüísticas, etc.” (p. 35). Desde este enfoque, el aprender un concepto matemático implica desarrollar capacidades para lograr el uso coordinado de distintas representaciones semióticas del concepto durante la resolución de problemas; esto último a través de procesos de representación, tratamiento y conversión (Duval, 2006).

Por otro lado, desde un enfoque semiótico vygostskiano, Presmeg et al. (2018) consideran a las representaciones semióticas no como meras expresiones del pensamiento individual, sino como “entidades a través de las cuales el individuo orienta sus acciones y reflexiones y da forma a su experiencia del mundo” (p. 4). En este sentido, las representaciones semióticas son portadoras de modos de entender la realidad (cosmovisiones) en sus aspectos matemáticos, científicos, estéticos, legales y éticos (Radford, 2008). Sin embargo, una representación semiótica no puede revelar por sí sola el concepto matemático

que subyace en esta. Los conceptos matemáticos “solo pueden ser revelados a los estudiantes a través de la actividad basada en signos. Es a través de la actividad material y concreta basada en signos que los estudiantes aprenden matemáticas y que los profesores las enseñan” (Presmeg et al., 2018, p. 5).

Las representaciones semióticas desempeñan un papel esencial en la educación matemática al brindar a los estudiantes diferentes formas de acceder y comprender los conceptos matemáticos. Estas representaciones, ya sean visuales, gráficas o verbales, permiten una comprensión más profunda, favorecen las conexiones entre los conceptos, facilitan la comunicación matemática y respaldan la resolución de problemas. Al utilizar estas representaciones, los estudiantes pueden desarrollar un pensamiento matemático sólido y disfrutar de un proceso de aprendizaje más enriquecedor. Con estas ideas iniciales, y antes de plantearnos las preguntas que orientan nuestro trabajo, presentamos algunas reflexiones acerca del contenido matemático escolar que es del interés en esta investigación.

1.1. Las representaciones semióticas en el álgebra escolar

Dentro del ámbito escolar, el álgebra es una de las áreas de las matemáticas más importantes, debido a la posibilidad que ofrece a los estudiantes de alcanzar mayores niveles de abstracción matemática por medio de la representación simbólica de ideas complejas y sofisticadas (Alonso et al., 1993). En este escenario, las representaciones simbólicas de ideas matemáticas (p. ej.,) son la expresión de procesos de abstracción, generalización, justificación y operación con símbolos, característicos del pensamiento algebraico (Wu, 2001). En este sentido, Erbilgin y Gningue (2023) afirman que el álgebra proporciona oportunidades para trabajar de manera fluida con diferentes representaciones semióticas (más allá de la notación simbólica clásica), siendo esta forma de “manipulación” un rasgo distintivo de las competencias en álgebra de los estudiantes. De allí que algunos autores consideren al álgebra no solo como un lenguaje matemático sofisticado, sino también como una “forma de pensamiento y raciocinio acerca de situaciones matemáticas” (Kieran, 2007, p. 5).

En el contexto escolar chileno, el estudio del álgebra se relaciona con la comprensión de las posibilidades que ofrece el lenguaje algebraico para expresar, justificar y comunicar ideas matemáticas. Al respecto, el Mineduc (2015b) establece que los estudiantes: “escriban, representen y usen expresiones algebraicas para designar números; que establezcan relaciones entre ellos mediante ecuaciones, inecuaciones o funciones [...]; y que identifiquen regularidades que les permitan construir modelos” (p. 99).

En cuanto a las posibilidades de expresión de las ideas matemáticas en álgebra, el Mineduc (2015a) otorga importancia al desarrollo de las capacidades de los estudiantes para representar conceptos y expresiones algebraicas de manera adecuada. Como habilidad matemática, el “representar” refiere a la capacidad de traducir problemas y situaciones reales a símbolos y ecuaciones matemáticas, permitiendo así el análisis y la resolución de estos de manera más estructurada y generalizada.

Dada la relevancia de las representaciones tanto en el currículum como en la investigación, vemos conveniente llevar a cabo una investigación de revisión (una revisión sistemática) que nos permita conocer el estado actual del uso de diferentes representaciones semióticas en la investigación de los procesos de enseñanza-aprendizaje del álgebra escolar. Durante esta revisión, el foco se mantendrá en el papel de las representaciones semióticas en el tratamiento de los contenidos del álgebra escolar.

En el eje de Álgebra y funciones, las representaciones semióticas cumplen diferentes roles. Por ejemplo, de 1° a 6° básico, estas tienen lugar en el estudio de patrones, al incentivar en los estudiantes el tránsito entre diferentes representaciones (concreta, pictórica y simbólica). En el caso de 7° básico a 2° medio, las representaciones (mayormente simbólicas) se comportan como números indicados, parámetros, variables, incógnitas, etc., lo cual permite establecer relaciones entre diferentes objetos matemáticos en distintos contextos (expresiones algebraicas, funciones, ecuaciones e inecuaciones). Finalmente, de 3° a 4° medio, las representaciones semióticas se mencionan de forma superficial en el cuarto objetivo de aprendizaje, donde los estudiantes deberán resolver problemas acerca de rectas y circunferencias en el plano, representándolas de forma analítica, transcurriendo de una representación a otra.

Sobre la base de lo anterior, la revisión sistemática que se describe en este trabajo está guiada por las siguientes preguntas:

1. ¿Cuán diversas son las representaciones semióticas a las que recurren los investigadores para describir y analizar la comprensión de los contenidos del álgebra escolar para estudiantes de educación media?
2. ¿Qué principios, constructos, nociones, ideas y/o teorías sustentan las investigaciones que describen y analizan la comprensión de contenidos del álgebra escolar para estudiantes de educación media?

En la siguiente sección, presentamos las decisiones metodológicas tomadas para encontrar respuestas a estas preguntas.

2. METODOLOGÍA

Para responder a las preguntas anteriores, decidimos realizar una revisión de la literatura del tipo revisión sistemática. La revisión sistemática es un proceso que sistematiza la búsqueda y selección de investigaciones originales, basado en distintas estrategias para reducir los sesgos y cuyas características esenciales son la calidad y la exhaustividad (Alexander, 2020).

La forma de llevar a cabo esta revisión se fundamenta en la declaración Prisma (Moher et al., 2009), usada en las revisiones sistemáticas de carácter científico y que funciona como una herramienta de análisis de los datos con el propósito de mejorar la transparencia, reducir la subjetividad y elevar la calidad de la revisión. Sobre la base de la declaración Prisma, hemos definido tres etapas de la revisión sistemática.

2.1. Etapa 1. Elección de las bases de datos

La primera etapa consistió en decidir las *bases de datos* desde donde obtener la información analizada en esta investigación. Estas fueron Scopus y Web of Science (WoS), dos bases de datos de carácter académico que concentran, entre otros trabajos, investigaciones empíricas de diferentes áreas de conocimiento. Estas bases de datos son actualmente las más importantes y de mayor relevancia en el ámbito científico internacional, debido a que estas “disponen de herramientas de análisis eficientes que permiten la detección de estudios de alto impacto” (Mula-Falcón & Caballero, 2022, p. 376). Es por ello que los artículos arrojados por estas bases de datos, además de haberse expuesto a un proceso riguroso de revisión por pares, representan un flujo importante de investigaciones empíricas, que son el insumo de esta revisión sistemática.

2.2. Etapa 2. Selección y elegibilidad de los artículos

La segunda etapa se encuentra centrada en la selección y elegibilidad de las investigaciones a revisar. En primer lugar, empleamos las bases de datos antes elegidas, usando una cadena de búsqueda que elaboramos a partir de las siguientes palabras clave (tokens): “semiótica”, “registro/representación semiótica”, “matemática”, “álgebra”, “educación media”. Estas palabras fueron traducidas al inglés y acompañadas por el comodín (*) en forma conveniente, para formar la siguiente cadena de búsqueda:

“semiotic*” OR “semiotic register” OR “semiotic representation”) AND
 (“math*” OR “algeb*”) AND (“secondary” OR “high school”)

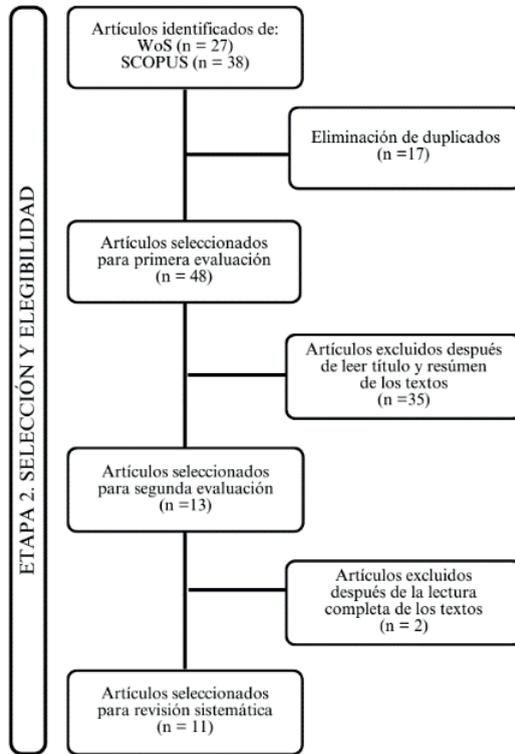
Junto con esta cadena de búsqueda, utilizamos los siguientes filtros (ofrecidos por las bases de datos) a modo de criterios de inclusión/exclusión: año (2013-2022), tipo de documento (artículo), idioma (inglés, español o portugués) y acceso (abierto). El empleo de la cadena de búsqueda, junto con los filtros mencionados, arrojó un total de 65 resultados, de los cuales 17 correspondían a artículos duplicados, dando como resultado 48 artículos para la primera evaluación. Esta evaluación consistió en la lectura del título y el resumen, con la finalidad de excluir aquellos artículos cuyo foco no estuviera en las representaciones semióticas, o cuya temática no tratara sobre álgebra escolar o bien que los sujetos no fueran estudiantes de educación media.

Luego de esta primera evaluación, se excluyeron 35 artículos, obteniendo así 13 artículos para la segunda evaluación. Esta segunda evaluación consistió en la lectura profunda de los 13 artículos para identificar “falsos positivos”, es decir, trabajos que, aunque han pasado los filtros anteriores, no cumplen con los criterios de inclusión que consideramos en esta revisión. En concreto, identificamos dos artículos como falsos positivos, uno cuya temática no trataba sobre el álgebra con estudiantes de educación media y otro en donde el instrumento creado en la investigación no fue aplicado en estudiantes de educación media. Al final de la segunda etapa, obtuvimos 11 artículos que analizamos posteriormente. La Figura 1 muestra un resumen de esta etapa de la revisión que llevamos a cabo.

2.3. Etapa 3. Análisis y síntesis de los resultados

Finalmente, en la tercera y última fase, se analizaron y sintetizaron los resultados. Esto se llevó a cabo en dos instancias, en la primera, se efectuó un análisis de las características principales de los estudios. Las características de estos artículos fueron resumidas en una hoja de Excel, en donde cada columna recopiló los siguientes datos: autores y año de publicación, procedencia de los estudios, temáticas principales, preguntas/objetivos de investigación, fundamentación teórica, métodos utilizados, participantes y el tipo de representación semiótica.

Figura 1. Diagrama de flujo de la etapa 2



El análisis de los tipos de representaciones semióticas se llevó a cabo considerando las categorías propuestas por Duval (2004) quien reconoce que los objetos matemáticos tienen diferentes registros de representación, tales como: registro verbal, tabular, gráfico, algebraico, simbólico y figural. En la segunda instancia, utilizamos un análisis temático y de fundamentación teórica para reconocer en los datos ciertas categorías de análisis emergentes (por ejemplo, conocimiento, diseño y dificultades, para el caso del análisis temático), acordadas por los tres investigadores, que proporcionan el máximo grado de consistencia a la investigación. Con fundamentación teórica nos referimos a aquellos principios, constructos, nociones, ideas y teorías usadas por los autores en las investigaciones revisadas en este artículo.

3. RESULTADOS

En esta sección presentamos los resultados del análisis de los 11 artículos incluidos en nuestra revisión sistemática (Tabla 1). En principio, entregamos una descripción de estos trabajos considerando la temporalidad, procedencia y temáticas de los artículos revisados. Posteriormente, entregamos resultados de un análisis temático en donde asociamos las temáticas tratadas con los tipos de representaciones empleadas en las investigaciones, considerando también las preguntas de investigación u objetivos según sea el caso. Finalmente, describimos los fundamentos teóricos que los sustentan.

Tabla 1. Artículos analizados en la etapa 3

Autores	Título	Revista	Año
Antonini, S., & Lisarelli, G.	Designing Tasks for Introducing Functions and Graphs within Dynamic Interactive Environments	<i>Mathematics</i>	2021
Bagossi, S., Swidan, O., & Arzarello, F.	Timeline tool for analyzing the relationship between students-teachers-artifacts interactions and meaning-making	<i>Journal on Mathematics Education</i>	2022
Campo-Meneses, K. G., Font, V., García-García, J., & Sánchez, A.	Mathematical Connections Activated in High School Students' Practice Solving Tasks on the Exponential and Logarithmic Functions	<i>Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education</i>	2021
Ferretti, F.	The Manipulation of Algebraic Expressions: Deepening of a Widespread Difficulties and New Characterizations	<i>International Electronic Journal of Mathematics Education</i>	2019
Florio, E.	A Synergy between History of Mathematics and Mathematics Education: A Possible Path from Geometry to Symbolic Algebra	<i>Educational Sciences</i>	2020
Hitt, F., & González-Martín, A. S.	Covariation between variables in a modelling process: The ACODESA (collaborative learning, scientific debate and self-reflection) method	<i>Educational Studies in Mathematics</i>	2015

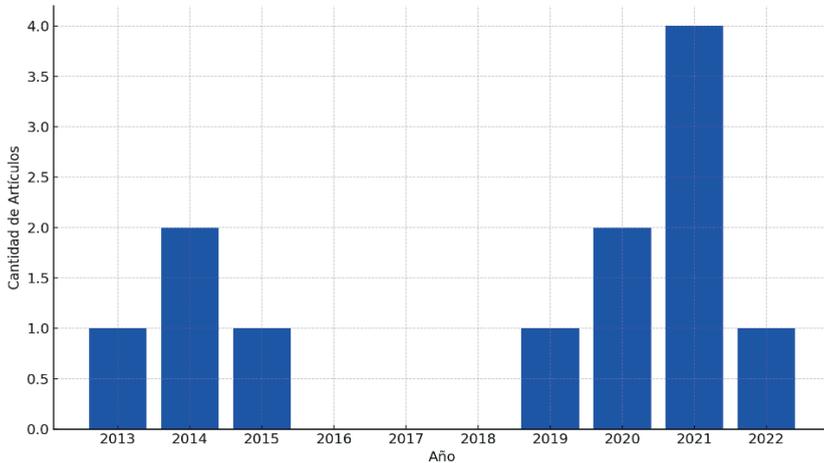
Autores	Título	Revista	Año
Monzon, L. W., & Gravina, M. A.	Uma Introdução às Funções de Variável Complexa no Ensino Médio: Uma possibilidade através do uso de animações interativas.	<i>Bolema: Boletim de Educação Matemática</i>	2013
Mutodi, P., & Mosimege, M.	Learning mathematical symbolization: Conceptual challenges and instructional strategies in secondary schools	<i>Bolema: Boletim de Educação Matemática</i>	2021
Ninow, V., & Kaiber, C.	Affine function: An analysis from the perspective of the epistemic and cognitive suitability of the ontosemiotic approach	<i>Acta Scientiae. Revista de Ensino de Ciências e Matemática</i>	2019
Osorio, V., Yáñez, P., Salazar, O., & Castro, J.	Conflictos semióticos y niveles de algebrización en aspirantes a Ingeniería	<i>Educación Matemática</i>	2021
Rojas, P. J.	Mathematical objects, semiotic representations and senses	<i>Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas</i>	2014

3.1. Características generales de los artículos

La mayoría de los artículos encontrados en nuestra revisión se publicaron entre los años 2019 y 2022, a pesar de que nuestra búsqueda incluía la última década (2013-2022). Específicamente, el 72.73 % de los artículos fueron publicados entre estos años. Además, el 27.27 % restante de artículos fueron publicados entre 2013-2014, lo cual evidencia la falta de publicaciones que reveló nuestra búsqueda entre 2015 y 2018. La distribución de los artículos se puede observar en la Figura 2.

En cuanto a la procedencia geográfica de los estudios, pudimos observar que las investigaciones revisadas se ubican mayoritariamente en Italia (tres), seguido de México y Brasil (dos c/u), para finalizar con Canadá, Colombia, Sudáfrica (una c/u) y un artículo de procedencia mixta que fue realizado en Italia e Israel (una). En estos resultados destaca que un 45.45 % de los artículos revisados proceden de América Latina.

Figura 2. Cantidad de artículos publicados por año

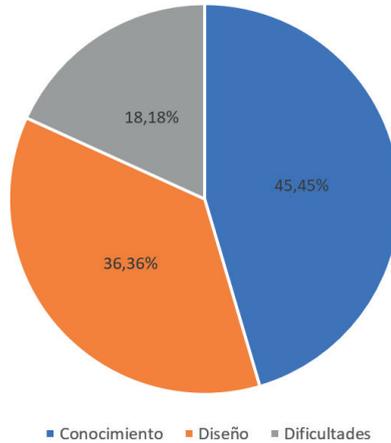


Respecto de la temática, se reconocen tres grandes categorías. La categoría de conocimientos es la predominante en esta revisión, correspondiente al 45.45 % de los artículos. Esta contiene a aquellas investigaciones cuyo foco se encuentra en la determinación del conocimiento en álgebra de los estudiantes, mediante el manejo y manipulación de representaciones semióticas. La segunda categoría, que constituye el 36.36 % de los artículos revisados, tiene que ver con el diseño de estrategias para que los estudiantes puedan lograr una mejor comprensión del álgebra a través de procesos de transformación entre representaciones semióticas. Estos artículos hacen referencia principalmente a estrategias que incluyen: secuencias didácticas, proyectos educativos y tareas matemáticas específicas. La tercera y última categoría, que representa el 18.18 % de la totalidad de los artículos, se encuentra centrada en la medición y descripción de las dificultades observadas en los estudiantes cuando se enfrentan a determinados contenidos del álgebra bajo una perspectiva de representaciones semióticas. La Figura 3 muestra la distribución de investigaciones en las categorías propuestas.

3.2. Análisis temático

Tras el análisis temático de los once artículos, fue posible relacionar las tres categorías temáticas con sus objetivos/preguntas de investigación y tipo de representaciones presentes. A continuación, describimos cada una de estas categorías.

Figura 3. Distribución de investigaciones en las categorías



3.2.1. Categoría 1: Conocimiento

En la categoría de conocimiento incluimos cinco artículos (45.45 %) cuyo enfoque es el análisis de los conocimientos algebraicos de estudiantes de educación media a través de las representaciones semióticas. Con respecto a lo anterior, realizamos el siguiente análisis.

Bagossi et al. (2022) examinan los aspectos semióticos inherentes a los procesos de enseñanza-aprendizaje, enfocándose especialmente en aspectos tecnológicos relacionados con el aprendizaje de la función exponencial en estudiantes de tercero medio de Italia e Israel, quienes tienen entre 16 y 17 años. Desde otra perspectiva, la investigación de Campo-Meneses et al. (2021) aborda la función exponencial, centrándose en las conexiones matemáticas activadas por estudiantes mexicanos de tercero medio (16-17 años) al enfrentarse a tareas vinculadas a funciones exponenciales y logarítmicas.

Otro enfoque es el de Hitt y González-Martín (2015), quienes exploran la metodología Acodesa¹ y su impacto en el desarrollo de representaciones funcionales a la adquisición de un sistema semiótico cultural, vinculadas a la covariación entre variables y sus resultados, entre estudiantes canadienses de primero medio (14-15 años). Por otro lado, Mutodi y Mosimege (2021) se enfocan en estudiantes sudafricanos de cuarto medio (17-18 años), identificando desa-

¹ Acodesa es un acrónimo que hace referencia a una metodología de enseñanza basada en la colaboración, el debate científico y la autorreflexión.

fios en la simbolización matemática y proponiendo prácticas pedagógicas para facilitar la transición hacia el registro simbólico formal. Finalmente, Osorio et al. (2021) investigan el nivel de desarrollo del conocimiento algebraico en aspirantes a carreras de ingeniería de México, quienes cursan entre segundo y cuarto medio (15-18 años), analizando los obstáculos que dificultan su progreso académico.

Ciertos aspectos distintivos emergen al examinar los métodos empleados por los diversos autores. En el caso de Bagossi et al. (2022), realizan un análisis cualitativo de las experiencias del proyecto mediante videograbaciones del aula. Por otro lado, en el estudio de Campo-Meneses et al. (2021), la metodología adoptada se basó en entrevistas realizadas a partir de la resolución de tareas matemáticas, donde se destaca la simultaneidad del estudiante al enfrentar dos procesos: contestar las preguntas de las tareas mientras responde las preguntas del entrevistador. En el análisis realizado por Hitt y González-Martín (2015), se destaca el uso de la metodología Acodesa con el propósito de ayudar al estudiante a adquirir un sistema semiótico cultural, pero a su vez considerando las representaciones no institucionales como piezas fundamentales e inherentes de la adquisición de un nuevo aprendizaje. Por su parte, Mutodi y Mosimege (2021) llevaron a cabo su investigación a través de un cuestionario de preguntas cerradas y la realización de *focus groups* para preguntas abiertas, con el objetivo de tener una variedad de respuestas y que los estudiantes puedan expresarse de forma variada. Por último, en la investigación de Osorio et al. (2021), se implementó un diagnóstico escrito, de los cuales, tres de cinco ítems tuvieron relación con los conocimientos algebraicos de los estudiantes.

Los registros de representación semiótica utilizadas por los investigadores en estos cinco artículos mostraron una preferencia al registro figural (Bagossi et al. 2022; Campo-Meneses et al. 2021; Hitt & González-Martín 2015) y el registro verbal (Hitt & González-Martín 2015; Mutodi & Mosimege 2021; Osorio et al. 2021), ambos registros presentes en tres artículos. En segundo lugar, se encuentran entre las preferencias de los investigadores el registro algebraico (Campo-Meneses et al. 2021; Osorio et al. 2021), tabular (Bagossi et al. 2022; Campo-Meneses et al. 2021) y el gráfico (Hitt & González-Martín 2015; Osorio et al. 2021). Por último, el registro simbólico solo se encuentra presente en el trabajo de Mutodi y Mosimege (2021). En lo que respecta a la cantidad de registros de representación por cada investigación, podemos notar que existen tres trabajos con igual número de registros distintos, mientras que los dos trabajos restantes utilizan dos registros de representación semiótica.

3.2.2. Categoría 2: Diseño

En la categoría de diseño incluimos cuatro artículos (36,36 %) cuya propuesta para abordar las problemáticas expuestas se realiza mediante el diseño de estrategias y/o secuencias didácticas. Seguidamente, analizamos estos artículos.

Antonini y Lisarelli (2021) proponen una secuencia didáctica para introducir a los estudiantes italianos de segundo ciclo (14-18 años) al concepto de función como covariación de variables, a través de una investigación de diseño, cuyos principios, que orientan las decisiones instruccionales, descansan en la teoría de mediación semiótica. En este mismo contexto, Florio (2020) propone una secuencia didáctica que busca favorecer una transición apropiada de los estudiantes entre el álgebra retórica y el álgebra simbólica, bajo un contexto geométrico. Con esto, la autora trata de superar la discontinuidad entre el aprendizaje de la geometría y el álgebra propia de la enseñanza de segundo ciclo en Italia. Por su parte, Monzon y Gravina (2013) describen la construcción de un recurso educativo para estudiantes de enseñanza media nocturna en Brasil, basado en animaciones y centrado en los números complejos y funciones, cuya concepción tiene en cuenta el papel de las representaciones semióticas en el aprendizaje de estos conceptos. Finalmente, Ninow y Kaiber (2019) investigan la organización y el desarrollo de un proyecto educativo en matemáticas para estudiantes de primero medio (14-15 años) de una escuela secundaria particular en Brasil, centrado en el aprendizaje de la función afín desde la perspectiva del enfoque ontosemiótico.

Otras particularidades de estos artículos tienen que ver con los métodos empleados por los autores. En el caso de Antonini y Lisarelli (2021) y Florio (2020), los autores se enfocan en el diseño de una propuesta didáctica y no en su aplicación, por lo que no existen datos recabados en cuanto a la ejecución del instrumento en una población determinada. Sin embargo, en sus estudios se hace presente la población objetiva, estudiantes de secundaria. El método utilizado por Antonini y Lisarelli (2021) para la confección de su propuesta didáctica es la investigación de diseño, mientras que Florio (2020) utiliza un método de tipo documental, por medio del cual realiza un análisis de literatura histórica sobre el “Libro sobre álgebra y la ciencia de la reducción y cancelación” de Abu Kāmil. Siguiendo con este análisis, la investigación de Monzon y Gravina (2013) presenta como particularidad la no descripción del método utilizado para la construcción del recurso, aunque sí se indica que este fue aplicado a estudiantes de segundo ciclo de modalidad nocturna, convirtiéndose en el único caso de este tipo en toda la revisión. Ninow y Kaiber (2019), por su

parte, promueven un proyecto educativo basado en investigación de diseño, y este fue aplicado a estudiantes de primero medio.

En lo que respecta a la diversidad de registros de representación semiótica en cada uno de estos artículos de diseño, encontramos una preferencia de los autores por los registros de tipo algebraico (Florio, 2020; Monzon & Gravina, 2013; Ninow & Kaiber 2019) y verbal (Florio, 2020; Monzon & Gravina, 2013; Ninow & Kaiber, 2019), y en menor grado los registros figurales (Antonini & Lisarelli, 2019; Ninow & Kiaber, 2019) y gráficos (Florio, 2020; Monzon & Gravina, 2013). Finalmente, el registro con menos preferencia en esta categoría es el tabular, presente solo en el trabajo de Ninow y Kaiber (2019). De esta forma podemos notar que, exceptuando a Antonini y Lisarelli (2021), cuyo artículo trabaja solo un tipo de registro, todas las investigaciones presentan tres o cuatro tipos de registros simultáneamente.

3.2.3. Categoría 3: Dificultades

Solo dos artículos de la revisión (18.18 %), se centraron en la descripción y análisis de las dificultades que presentan los estudiantes al trabajar en álgebra. Comenzando con Ferretti (2019), la autora tiene como objetivo identificar y analizar las dificultades que enfrentan los estudiantes cuando trabajan con álgebra mediante un análisis masivo de respuestas de manipulación algebraica, mientras que Rojas (2014) describe y analiza la articulación de sentido asignado a ciertas representaciones semióticas obtenidas mediante transformaciones de tratamiento. El instrumento utilizado para ello fue el de entrevistas estructuradas basadas en tareas matemáticas.

Otro aspecto distintivo de estos artículos es que ambos aplican instrumentos en forma de tareas matemáticas a un grupo masivo de estudiantes de secundaria. Ferretti (2019) trabaja con pruebas nacionales que alcanzan los 545 000 estudiantes, mientras que Rojas (2014) aplica su instrumento en 240 estudiantes.

La fundamentación teórica también es compartida por los investigadores. Al respecto, Ferretti (2019) y Rojas (2014) sostienen que la teoría de registros de representaciones de Duval permite apreciar cuán capaces son los estudiantes de entender un objeto matemático, ya que para apropiarse de un objeto matemático el estudiante debe ser capaz de transformar una representación semiótica en otra, ya sea en el mismo sistema, lo que constituye un tratamiento, o en sistemas diferentes, lo que constituye una conversión. Las investigaciones de Ferretti (2019) y Rojas (2014) se centran en el tratamiento.

Para finalizar el análisis temático, la Tabla 2 muestra los tipos de registros semióticos presentes en las categorías.

Tabla 2. *Tipo de registros presentes en las categorías temáticas*

Categorías	Tipo de registro	Cantidad
Conocimiento	Figural	3
	Verbal	3
	Algebraico	2
	Tabular	2
	Gráfico	2
	Simbólico	1
Diseño	Algebraico	3
	Verbal	3
	Figural	2
	Gráfico	2
	Tabular	1
Dificultades	Algebraico	2

3.3. Fundamentación teórica

Una vez analizadas las fundamentaciones teóricas que sustentan las investigaciones de esta revisión, logramos notar dos grupos (no disjuntos) con suficientes contrastes para diferenciarse entre sí. El primer grupo relaciona las teorías enfocadas en el objeto matemático, al ser este un sector más ligado a las teorías matemáticas. Por otro lado, el segundo grupo se compone de un conjunto de enfoques y teorías que se centran en los aspectos socioculturales de la dinámica de la clase.

3.3.1. Objetos matemáticos

En el primer grupo de fundamentaciones teóricas, identificamos seis artículos (54.54 %) en los cuales las teorías que las cimentan están fuertemente centradas en el objeto matemático y las relaciones que este posee con las ideas de símbolo y el proceso de simbolización y adquisición de significado. En este grupo, resalta una teoría en particular por sobre las otras; nos referimos a la teoría de registros de representación semiótica de Duval.

Las teorías que pudimos categorizar en este grupo son: la teoría de mediación semiótica (Antonini & Lisarelli, 2021), el enfoque fenomenológico sobre la creación del significado (Bagossi et al., 2022), la teoría de registros de representaciones semióticas de Duval (Ferretti, 2019; Monzon & Gravina, 2013; Rojas, 2014), la teoría APOS de Dubinsky y la teoría del proceso (Mutodi & Mosimege, 2021).

El artículo de Antonini y Lisarelli (2021) se refiere a la teoría de la mediación semiótica como aquella donde las actividades con un artefacto tienen como objetivo el promover la evolución de signos que expresan la relación artefacto-tareas hacia signos que muestran la relación artefacto-conocimiento. Podemos relacionar los principios de esta teoría con el enfoque fenomenológico sobre la creación del significado, tratado en el artículo de Bagossi et al. (2022), en el cual se menciona que esta teoría es concebida como la revelación progresiva de las ideas matemáticas en juego, en donde una situación podría evocar diferentes contextos y así producir una creación de sentido diferente, de acuerdo con la edad y el trasfondo de los estudiantes. Sumado a lo anterior, los trabajos de Ferretti (2019), Monzon y Gravina (2013) y Rojas (2014) tratan sobre la teoría de registros de representaciones semióticas de Duval, haciendo énfasis en el tránsito y desarrollo de las representaciones semióticas como procesos fundamentales para lograr el dominio de un conocimiento u objeto matemático. Estos tres fundamentos teóricos tienen como factor común la idea de que el entendimiento y aprehensión de un nuevo conocimiento matemático en los estudiantes se desarrolla de forma óptima cuando el proceso didáctico se lleva a cabo sobre la progresión de los conceptos que se relacionan para conformar un objeto matemático, y que, a su vez, los estudiantes puedan transitar libremente sobre las etapas de un objeto matemático que representan verdades parciales de este.

Por otra parte, la teoría de registros de representaciones semióticas de Duval menciona la identificación del pensamiento y el aprendizaje matemático con la coordinación de sistemas semióticos. Comparando lo anterior con la teoría APOS de Dubinsky, mencionada por Mutodi y Mosimege (2021), observamos que esta también referencia la identificación de estructuras por su apariencia y características claves, como por ejemplo al obtener percepciones relacionadas al álgebra. Ambas teorías destacan la importancia de la identificación y construcción del pensamiento algebraico a modo de una estrategia metodológica para la aplicación a la hora de enseñar álgebra.

Además, la teoría del proceso mencionada por Mutodi y Mosimege (2021) destaca la capacidad de manipular, leer expresiones simbólicas y comprender que los símbolos pueden desempeñar roles diferentes dependiendo

del contexto. Estos contextos diversos se podrán ver presentes sobre la base de las mismas experiencias de los estudiantes, tal como lo menciona la teoría de la mediación semiótica.

Para concluir el análisis de las fundamentaciones teóricas del primer grupo, podemos notar que estas perspectivas teóricas comparten un foco importante sobre el objeto matemático y las relaciones que este establece con los procesos de simbolización y adquisición de significado. Destacan la teoría de registros de representación semiótica de Duval, la teoría de mediación semiótica, el enfoque fenomenológico sobre la creación del significado, la teoría APOS de Dubinsky y la teoría del proceso; estas corrientes teóricas convergen en la importancia de la evolución del conocimiento matemático mediante la coordinación de sistemas semióticos y la identificación de estructuras clave. Asimismo, resaltan la capacidad de los estudiantes para manipular, leer y entender expresiones simbólicas en diversos contextos, subrayando la relevancia de experiencias variadas en el proceso de aprendizaje matemático. En conjunto, estas perspectivas ofrecen un enfoque integral para comprender y enseñar matemáticas, destacando la interacción dinámica entre objetos matemáticos, símbolos y procesos cognitivos.

3.3.2. Aspectos socioculturales

El segundo grupo, compuesto por nueve artículos (81.81 %), considera teorías que asocian el aprendizaje del estudiante al contexto y su cultura. En algunos casos también se encuentra presente el carácter histórico del conocimiento impartido, específicamente la historia de la matemática o el álgebra.

Las teorías que pudimos categorizar en este grupo son: el modelo de conexiones matemáticas expandidas (Campo-Meneses et al., 2021), el enfoque multimodal del aprendizaje (Bagossi et al., 2022), el enfoque histórico de las matemáticas (Florio, 2020), la perspectiva sociocultural (Florio, 2020; Antonini & Lisarelli, 2021), el sistema semiótico cultural de Radford (Hitt & Gonzalez-Martin, 2015), el enfoque ontosemiótico (Campo-Meneses et al., 2021; Ninow & Kaiber, 2019; Osorio et al., 2021; Rojas, 2014) y la teoría de la objetivación de Radford (Ferretti, 2019). Un punto de convergencia entre estas teorías es la consideración de las conexiones matemáticas como fundamentales para el aprendizaje que construye el estudiante. Tanto el modelo de conexiones matemáticas expandidas como el enfoque multimodal mencionados por Campo-Meneses et al. (2021) y Bagossi et al. (2022) destacan la importancia de las relaciones establecidas por los estudiantes entre diferentes ideas matemáticas, utilizando diversas formas de expresión.

Asimismo, la perspectiva sociocultural, compartida por Antonini y Lisarelli (2021) y Florio (2020), subraya la colaboración entre individuos como un medio para alcanzar objetivos comunes en el aprendizaje. Esta idea se conecta con el sistema semiótico cultural de Radford mencionado en el artículo de Hitt y Gonzalez-Martín (2015), que enfatiza la correspondencia entre signos, significado y reglas culturales en la actividad matemática.

El enfoque histórico de las matemáticas, expuesto en la investigación de Florio (2020), añade una dimensión temporal al considerar la relevancia de la historia de la matemática en la construcción del conocimiento. Esta perspectiva encuentra resonancias en el enfoque ontosemiótico presente en los artículos de Campo-Meneses et al. (2021), Ninow y Kaiber (2019), Osorio et al. (2020) y Rojas (2014), el cual, al describir la actividad matemática desde una perspectiva institucional y personal, involucra la consideración de objetos y relaciones semióticas en un contexto histórico.

La teoría de la objetivación de Radford, utilizada por Ferretti (2019), destaca el proceso social de construcción del significado, lo cual evidencia la interconexión entre individuos en la actividad matemática. Esta idea se alinea con la perspectiva sociocultural inmersa en los artículos de Antonini y Lisarelli (2021) y Florio (2020), en donde se refuerza la noción de que el aprendizaje matemático es un esfuerzo colectivo. Además, este planteamiento se ve reforzado en el sistema semiótico cultural de Radford, compartido por Hitt & González-Martín (2015), en donde se entiende que los registros de representaciones clásicos e institucionalizados limitan y marginan las producciones no institucionales elaboradas por los estudiantes. En este marco teórico se sostiene que la producción y evolución de signos y significados no institucionales de los estudiantes deben ser incorporados y formalizados dentro del proceso de aprendizaje.

En conjunto, estas teorías proporcionan un marco teórico integral que destaca la importancia de las conexiones matemáticas, la colaboración entre individuos, la dimensión histórica del estudiante y del objeto en cuestión, y el proceso social y cultural en la construcción del conocimiento matemático.

4. CONCLUSIONES

La revisión sistemática llevada a cabo tuvo como objetivo obtener una comprensión actualizada sobre el uso de diversas representaciones semióticas para analizar y describir la comprensión del álgebra escolar en estudiantes de educación media, y de las fundamentaciones teóricas que sustentan las investigaciones revisadas. Para ello, se analizaron 11 artículos, lo que nos permitió

profundizar en las principales características de las investigaciones subyacentes, realizar un análisis de las temáticas y relacionarlas con los objetivos o preguntas de investigación dependiendo del caso.

Dentro de lo más destacable del análisis de los artículos revisados, podemos mencionar varios factores críticos: (i) la evidente falta de investigaciones en la materia entre los años 2015 y 2018; (ii) la escasez de trabajos en América Latina; (iii) la categoría de diseño presenta una diversidad notable de registros de representaciones semióticas en comparación con otras categorías, y (iv) el auge de las fundamentaciones teóricas desde una perspectiva sociocultural. En cuanto a los factores (i) y (ii), es esencial aclarar que la aparente falta de investigaciones durante el período y en la región geográfica mencionados no implica necesariamente la ausencia de estudios relevantes. Esto se debe a que la búsqueda se llevó a cabo únicamente en dos bases de datos. La inclusión de otras bases de datos importantes, como ERIC o SciELO, podría haber afectado significativamente estos hallazgos, proporcionando una visión más completa y precisa del panorama investigativo en dichos contextos.

En primer lugar, dentro de los primeros datos encontrados en los resultados de la revisión, se destaca la escasa investigación sobre representaciones semióticas en el álgebra escolar durante los años 2013-2022, periodo considerado en esta investigación. Esto puede deberse a una variedad de factores. Entre ellos, podemos señalar que, durante este periodo de tiempo, la investigación en educación matemática pudo haber estado centrada en otros tópicos emergentes dentro de la matemática escolar como, por ejemplo, el pensamiento computacional (Adell et al., 2019). Tal como se evidenció en las características generales de los resultados, luego de 2018 existió un alza de investigaciones en el tema, lo cual resulta positivo para el avance de la semiótica dentro del álgebra escolar. Otro factor podría deberse a la posibilidad de que existan artículos sobre la temática que se encuentren escritos en otros idiomas, ya que, por ejemplo, no se encontraron artículos procedentes de Asia u Oceanía. Finalmente, consideramos que la cadena de búsqueda o las bases de datos consultadas también podrían haber influido.

En segundo lugar, de los 11 artículos solo cinco (45.45 %) corresponden a trabajos situados en América Latina. De estos artículos, solo tres (27.27 %) específicamente corresponden a Sudamérica, lo cual es preocupante para la investigación de educación matemática en la región. En esta revisión no queda claro el motivo de esta situación; sin embargo, queda abierta la posibilidad para una investigación que dé cuenta de esta situación desde una perspectiva epistemológica.

En tercer lugar, la revisión resultó muy eficiente en poder dilucidar qué registros de representación semiótica fueron utilizados por los investigadores y cuánta diversidad de estos se encuentra presente en los artículos. De acuerdo con las tres grandes categorías establecidas en el análisis temático, pudimos notar que la categoría de diseño es la que presenta la mayor diversidad de registros semióticos, entre tres a cuatro por artículo. La segunda categoría en términos de diversidad de registros es la de conocimiento, en la cual los investigadores utilizaron de dos a tres diferentes registros por artículo. Finalmente, la categoría con menos diversidad de registros semióticos es la que se propone dar cuenta de las dificultades presentes en los estudiantes, en donde los dos artículos presentes utilizaron el mismo registro, correspondiente al algebraico, el cual fue aplicado a transformaciones del tipo de tratamiento según la fundamentación teórica compartida.

Por último, en lo relativo a las fundamentaciones teóricas analizadas y categorizadas, podemos notar una evidente preferencia de los investigadores por teorías ligadas a una perspectiva sociocultural del estudiante y su aprendizaje en las matemáticas. Estas teorías buscan valorar y promover el aprendizaje de los estudiantes no solo desde el objeto matemático y su entendimiento, sino comprendiendo el objeto y el contexto sociocultural e histórico. Esto permite, a su vez, analizar el proceso de aprendizaje, desde el objeto matemático pasando por el estudiante hasta el contexto inmediato del aula y la relación estudiante-docente. Es preciso notar que estas teorías, en la mayoría de los casos, fueron complementadas con otras cuyo foco sí se encuentra colocado en el entendimiento del objeto matemático mediante la manipulación de su variedad de representaciones, en donde todas acuerdan que una revelación progresiva de los conceptos que conforman un objeto matemático resulta clave para el aprendizaje de un nuevo conocimiento matemático. Sin embargo, la teoría de registros de representaciones de Duval sigue destacándose fuertemente por sobre las demás, al ser la más citada y referenciada en los artículos revisados, quizás debido a su especificidad, es decir, el hecho de que los signos se consideren la única forma de acceder a los objetos matemáticos (Morey, 2020).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adell, J. S., Llopis, M. A. N., Esteve, M. F. M., & Valdeolivas, N. M. G. (2019). El debate sobre el pensamiento computacional en educación. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 22(1), 171-186. <https://doi.org/10.5944/ried.22.1.22303>

- Alexander, P. (2020). Methodological Guidance Paper: The Art and Science of Quality Systematic Reviews. *Review of Educational Research* 90(1), 6-23. <https://doi.org/10.3102/0034654319854352>
- Alonso, F., Barbero, C., Fuentes, I., Azcárate, A., Dozagarat, J., Gutiérrez, S., et al. (1993). *Ideas y Actividades para enseñar álgebra*. Síntesis.
- Antonini, S., & Lisarelli, G. (2021). Designing Tasks for Introducing Functions and Graphs within Dynamic Interactive Environments. *Mathematics*, 9(5), 572. <https://doi.org/10.3390/math9050572>
- Bagossi, S., Swidan, O., & Arzarello, F. (2022). Timeline tool for analyzing the relationship between students-teachers-artifacts interactions and meaning-making. *Journal on Mathematics Education*, 13(2), 357-382. <http://doi.org/10.22342/jme.v13i2.pp357-382>
- Campo-Meneses, K. G., Font, V., García-García, J., & Sánchez, A. (2021). Mathematical Connections Activated in High School Students' Practice Solving Tasks on the Exponential and Logarithmic Functions. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(9). <https://doi.org/10.29333/ejmste/11126>
- Duval, R. (2004). *Semiosis y pensamiento humano. Registros semióticos y aprendizajes intelectuales*. Grupo de Educación Matemática.
- Duval, R. (2006). Un tema crucial en la educación matemática: La habilidad para cambiar el registro de representación. *La Gaceta de la Real Sociedad Matemática Española*, 9(1), 143-168.
- Erbilgin, E., & Gningue, S.M. (2023). Using the onto-semiotic approach to analyze novice algebra learners' meaning-making processes with different representations. *Educational Studies in Mathematics*, 114(2), 337-357. <https://doi.org/10.1007/s10649-023-10247-8>
- Ferretti, F. (2019). The Manipulation of Algebraic Expressions: Deepening of a Widespread Difficulties and New Characterizations. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 15(1). <https://doi.org/10.29333/iejme/5884>
- Florio, E. (2020). A Synergy between History of Mathematics and Mathematics Education: A Possible Path from Geometry to Symbolic Algebra. *Educational Sciences*, 10(9), 243. <https://doi.org/10.3390/educsci10090243>
- Hitt, F., & González-Martín, A.S. (2015). Covariation between variables in a modelling process: The ACODESA (collaborative learning, scientific debate and self-reflection) method. *Educational Studies in Mathematics*, 88, 201-219. <https://doi.org/10.1007/s10649-014-9578-7>

- Kieran, C. (2007). Developing algebraic reasoning: The role of sequenced tasks and teacher question from the primary to the early secondary school levels. *Quadrante*, 16(1), 5-26. <https://doi.org/10.48489/quadrante.22814>
- Ministerio de Educación de Chile. (2015a). *Bases Curriculares de Primero Básico a Sexto Básico*. MINEDUC.
- Ministerio de Educación de Chile. (2015b). *Bases Curriculares de Séptimo Básico a Segundo Medio*. MINEDUC.
- Ministerio de Educación de Chile. (2016). *Programa de Estudio Matemática 1° Medio*. MINEDUC.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, 6(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Morey, B. (2020). Abordagem semiótica na teoria da objetivação. En S. T. Gobara & L. Radford (Eds.), *Teoria da objetivação: Fundamentos e Aplicações para o Ensino e Aprendizagem de Ciências e Matemática* (pp.43-68). Livraria da Física.
- Monzon, L. W., & Gravina, M. A. (2013). Uma Introdução às Funções de Variável Complexa no Ensino Médio: Uma possibilidade através do uso de animações interativas. *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, 27(46), 645-661. <https://doi.org/10.1590/S0103-636X2013000300020>
- Mula-Falcón, J., & Caballero, K. (2022). Neoliberalism and its impact on academics: A qualitative review. *Research in Post-Compulsory Education*, 27(3), 373-390. <https://doi.org/10.1080/13596748.2022.2076053>
- Mutodi, P., & Mosimege, M. (2021). Learning mathematical symbolization: Conceptual challenges and instructional strategies in secondary schools. *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, 35(70), 1180-1199. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v35n70a29>
- Ninow, V., & Kaiber, C. (2019). Affine function: An analysis from the perspective of the epistemic and cognitive suitability of the onto-semiotic approach. *Acta Scientiae. Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 21(6), 130-149. <https://doi.org/10.17648/acta.scientiae.5506>
- Osorio, V., Yáñez, P., Salazar, O., & Castro, J. (2021). Conflictos semióticos y niveles de algebrización en aspirantes a Ingeniería. *Educación Matemática*, 33(3), 263-289. <https://doi.org/10.24844/em3303.10>
- Presmeg, N., Radford, L., Roth, W.-M., & Kadunz, G. (2016). *Semiotics in Mathematics Education*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-31370-2>
- Presmeg, N., Radford, L., Roth, W.-M., & Kadunz, G. (Eds.). (2018). *Signs of signification. Semiotics in Mathematics Education Research*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-70287-2>

- Radford, L. (2008). The ethics of being and knowing: Towards a cultural theory of learning. En L. Radford, G. Schubring, & F. Seeger (Eds.), *Semiotics in Mathematics Education: Epistemology, history, classroom, and culture* (pp. 215-234). Sense Publishers.
- Rojas, P. J. (2014). Mathematical objects, semiotic representations and senses. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 33(1), 151-165. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1479>
- Wu, H. (2001). How to prepare students for algebra. *American Educator*, 25(2), 10-17.

Roles de autor: Vásquez-Alvial, I.: Conceptualización, Metodología, Análisis formal, Escritura – Borrador original, Visualización. Flores-Francino, K.: Conceptualización, Metodología, Análisis formal, Escritura – Borrador original, Visualización. Prieto-González, J. L.: Conceptualización, Metodología, Escritura – Revisión y edición, Supervisión.

Cómo citar este artículo: Vásquez-Alvial, I., Francino, K., & González, J. L. (2024). Representaciones semióticas en el álgebra escolar: una revisión sistemática de la literatura entre 2013-2022. *Educación*, XXXIII(65), 81-104. <https://doi.org/10.18800/educacion.202402.A004>

Primera publicación: 26 de agosto de 2024.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0), que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.