

LA ESTÉTICA MATEMÁTICA EN EL CURRÍCULO DE LAS MATEMÁTICAS ESCOLARES: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Begoña A. Bosque-Artaza, José Luis Lupiáñez e Isidoro Segovia

Esta revisión sistemática muestra las características de la producción científica sobre estética matemática y currículo de las matemáticas escolares utilizando la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) y examina cómo la investigación aborda la integración de la estética en la enseñanza de las matemáticas mediante el currículo. El análisis realizado evidencia que fomentar experiencias estéticas desde el currículo a través de indagación, narrativas, tecnología y materiales manipulativos, así como reconocer la diversidad de sensibilidades, mejora la apreciación de esta disciplina. Los resultados obtenidos ofrecen pautas para diseñar currículos que promuevan la dimensión estética de las matemáticas.

Términos clave: Currículo; Educación matemática; Estética; Experiencias estéticas

Mathematical aesthetics in the school mathematics curriculum: a systematic review

This systematic review presents the characteristics of scientific production in the field of mathematical aesthetics and the school mathematics curriculum using the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) methodology and examines how research addresses the integration of aesthetics into the teaching of mathematics through the curriculum. The analysis shows that fostering aesthetic experiences within the curriculum through inquiry, narratives, technology, and manipulative materials, as well as recognizing the diversity of sensibilities, enhances appreciation of this discipline. The results offer guidelines for designing curricula that promote the aesthetic dimension of mathematics.

Keywords: Aesthetics; Aesthetic experiences; Curriculum; Mathematics education

Estética matemática no currículo escolar de matemática: uma revisão sistemática

Esta revisão sistemática apresenta as características da produção científica na área da estética matemática e do currículo escolar de matemática, utilizando a metodologia PRISMA (Itens Preferenciais para o Relato de Revisões Sistemáticas e Meta-Análises) e examina como a investigação aborda a integração da estética no ensino da matemática através do currículo. A análise demonstra que promover experiências estéticas no currículo através da investigação, narrativas, tecnologia e materiais manipuláveis, bem como reconhecer a diversidade de sensibilidades, aumenta a valorização desta disciplina. Os resultados oferecem orientações para a elaboração de currículos que promovam a dimensão estética da matemática.

Termos-chave: Currículo; Educação matemática; Estética; Experiências estéticas

El currículo de matemáticas se considera sobrecargado (Kissane, 2021) y orientado a superar pruebas (Chesky y Wolfmeyer, 2020). Además, raramente atiende los aspectos estéticos de hacer y aprender matemáticas o las considera una experiencia estética (Gadanidis et al., 2022). Esta omisión es calificada de error (Dreyfus y Eisenberg, 1986), anomalía (Mack, 2006) y falta de énfasis en la estructura y la belleza de las matemáticas (Taylor, 2019). Para subsanarlo se propone desarrollar la sensibilidad hacia la belleza y elegancia de las Matemáticas (Betts y McNaughton, 2003; Gordon, 2019) mediante un currículo centrado en el aspecto estético (estructura, formas, relaciones, visualización, economía, simplicidad, elegancia y orden) y creativo (resolución de problemas, investigaciones, hacer patrones, originalidad, especulación, pensamiento, conceptos y estrategias) sobre el algorítmico (suma, resta, multiplicación, división, porcentajes, razones, Pitágoras, raíces cuadradas, interés simple, medias, fórmulas) (Whitcombe, 1988).

La apreciación estética puede darse mediante demostraciones matemáticas simples y elegantes, ideas y soluciones matemáticas admirables, historias matemáticas bien elaboradas o expresiones creativas y artísticas derivadas de visualizaciones matemáticas (Gadanidis y Cendros, 2023). Por un lado, añadir la dimensión estética al currículo permitiría al alumnado mejorar su conocimiento gracias a una comprensión más profunda y holística de los conceptos matemáticos en sí mismos y en conexión con otras áreas (Gadanidis, 2012; Higginson, 2010). Por otro lado, dicha dimensión estética curricular sería un elemento motivador (Brinkmann, 2009; King, 1981) ya que, si las experiencias matemáticas del alumnado son estéticas, favorecen la indagación matemática (Bossé, 2006; Dietiker, 2015) y la búsqueda de más experiencias de aprendizaje al anticipar los beneficios que producen (Brinkmann, 2009; Gadanidis et al., 2016). Por ello, desde la educación matemática, el currículo es relevante para mostrar la dimensión

estética de las matemáticas (Dreyfus y Eisenberg, 1986; Sinclair, 2001; Zimmerman, 2018) y proporcionar experiencias estéticas al alumnado (Dietiker, 2015; Taylor et al., 2018).

A pesar de reformas educativas recientes en distintos países, los aspectos estéticos de hacer y aprender matemáticas siguen ausentes en documentos curriculares oficiales. Por ejemplo, el currículo español (Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, 2020), el Plan de Estudio para la Educación Básica de México (Secretaría de Educación Pública [SEP], 2022), las Bases Curriculares de Chile (Ministerio de Educación de Chile, 2012) y los *Common Core State Standards* de EE. UU. (National Governors Association Center for Best Practices & Council of Chief State School Officers, 2010) carecen de referencias explícitas a la dimensión estética del conocimiento matemático, ni como objetivo ni como criterio pedagógico. En ellos predomina un enfoque funcional, orientado al desarrollo de competencias, sin considerar el valor formativo de la belleza matemática, la elegancia conceptual o la experiencia estética. Esta omisión refuerza la necesidad de explorar cómo integrar la estética al currículo desde una perspectiva más amplia y humanista.

Tomando en consideración lo anterior, esta investigación se justifica porque, pese al creciente interés hacia la estética matemática, existen pocos estudios que analicen sistemáticamente su integración en los currículos escolares. Para abordar este vacío, esta revisión busca identificar las características que debería tener un currículo que incorpore la dimensión estética de las matemáticas para enriquecer su enseñanza y aprendizaje.

Objetivos y pregunta de investigación

Por tanto, el objetivo general de este trabajo es recoger las características que la investigación especializada atribuye a un currículo escolar que considere la dimensión estética de las matemáticas como medio para mejorar su enseñanza y aprendizaje con el objeto de que dichas características puedan ser tenidas en cuenta al analizar la dimensión estética de currículos vigentes y al diseñar nuevos currículos de matemáticas.

Con este fin, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- ◆ Analizar evolución, tipos y características bibliométricas de los estudios publicados en esta línea.
- ◆ Explorar enfoques con los que se ha abordado la dimensión estética del conocimiento matemático.
- ◆ Sintetizar criterios y orientaciones curriculares que potencien experiencias matemáticas estéticas.

La pregunta que guía esta revisión es: ¿Qué características curriculares ha identificado la literatura científica sobre la dimensión estética de las matemáticas para su enseñanza y aprendizaje?

MARCO TEÓRICO. ESTÉTICA Y MATEMÁTICAS ESCOLARES

Este marco teórico cumple una doble función: por un lado, trazar el camino que vincula la estética con las matemáticas escolares; por otro, exponer enfoques estéticos —formal, narrativo, experiencial y crítico— que se utilizan en la discusión posterior para interpretar y caracterizar las categorías encontradas y analizar su potencial curricular. Dichas categorías no se emplean rígidamente, sino como organizadores que permiten comprender la diversidad y el alcance de los posicionamientos estéticos identificados en la literatura.

Estética

Según la Real Academia Española (s.f.), la estética es la ciencia de la belleza y la filosofía del arte. Pero su desarrollo como concepto y como área de estudio desborda la belleza (Menéndez, 1887/1988) y el arte (Scruton, 2009) extendiéndose a la percepción sensible, intuición y experiencia que junto a las dimensiones afectiva y cognitiva dan lugar al conocimiento (De Freitas y Sinclair, 2014; Sinclair, 2009).

Experiencia estética

Dewey (1934), desde la filosofía pragmatista, se centra en la experiencia estética. Las personas, guiadas por su naturaleza sintiente, interactúan con el medio. De los conflictos experimentados y de las medidas tomadas para resolverlos surge el conocimiento. La neurociencia muestra que, según las personas experimentan, lo que les rodea adquiere significado cargado de emoción (Betts y McNaughton, 2003; Dewey, 1934; Gerstberger, 2009). Cuando una situación indeterminada se resuelve de manera satisfactoria y plena, integrándose y unificándose lo previamente desorganizado, entonces, la experiencia involucrada es estética.

Estas experiencias combinan emoción, satisfacción y comprensión (Gutiérrez, 2017; Sinclair, 2009; Zimmerman, 2018) y son acumulativas, en el sentido de que cada nueva experiencia estética supone una reconstrucción y reintegración de experiencias previas. Además, se genera una anticipación de nuevas experiencias según el individuo encuentra nuevas situaciones en contextos diferentes, en parte debido a cada experiencia estética anterior (Gadanidis et al., 2016). El arte sería el proceso que lleva a la culminación y resolución de una experiencia (Kobayashi, 1960).

Experiencias estéticas y matemáticas: la indagación

Ciñéndonos al campo matemático, no existe una teoría general de la estética matemática, pero muchos matemáticos han tratado las matemáticas desde puntos de vista estéticos: Hardy, Russell, Poincaré, etc. (Sinclair et al., 2004).

Por un lado, para el constructivismo social, enmarcado en la teoría sociocultural del aprendizaje de Lev Vygotsky, las matemáticas no son extra experienciales; los humanos empezaron contando y midiendo, siendo la estructura

matemática producto del desarrollo histórico empírico, desde conceptos y relaciones concretas hasta conceptos y relaciones más sofisticados que se concretizan nuevamente en mayores grados de abstracción (Betts, 2005; Kissane, 2021). Aunque a diferencia de las bellas artes, las matemáticas se expresan manipulando signos y símbolos lejos de las fuentes de las sensaciones (Gerstberger, 2009), para Dewey (1934), las actividades intelectuales también son experiencias estéticas.

La relación entre actividades artísticas y matemáticas es la indagación, necesaria para enfrentar situaciones existenciales indeterminadas, desordenadas y sin relación aparente (Kobayashi, 1960). La indagación transforma una situación indeterminada en otra determinada cuyos elementos y relaciones forman un todo unificado; es decir, la transformación estética del material experiencial. La emoción es importante en la indagación (Kobayashi, 1960; Zimmerman, 2018), al ser la fuerza que selecciona y marca lo conveniente, dando unidad cualitativa a las partes de una experiencia (Dewey, 1934).

Como ejemplo, Dewey (1934) considera contar, trazar líneas, ángulos, vectores, etc., expresiones artísticas de las matemáticas, por ser medios satisfactorios de resolución de indagaciones surgidas de la necesidad de registrar fenómenos rítmicos y repetitivos de la naturaleza. Así, las matemáticas se relacionarían con la experiencia estética, caracterizada por su carácter consumado y satisfactorio, y por ser instrumento en indagaciones fuera y dentro de las matemáticas, ya que un sistema abstracto matemático puede aplicarse al estudio de las relaciones de otro sistema abstracto (Kobayashi, 1960).

Estética y enseñanza y aprendizaje de matemáticas

Por tanto, si la estética tiene un papel en la indagación matemática y las experiencias estéticas favorecen la comprensión de las matemáticas, tiene sentido el objetivo de estudiar la influencia de la estética en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas (Gadanidis y Cendros, 2023; Sinclair, 2001) y hacer del aprendizaje de las matemáticas una experiencia estética (Gutiérrez, 2017; Kissane, 2021; Zimmerman, 2018). A pesar del carácter simbólico y abstracto de las matemáticas, su capacidad de generar experiencias estéticas, entre otros motivos, las convierte en material educativo (Kobayashi, 1960).

La dimensión estética de las matemáticas escolares partiría de la relación de estas con la experiencia y la fisicalidad humana originada en lo espacial, lo geométrico, lo visceral y lo rítmico, que evolucionaría hacia lo numérico, lo lógico y lo simbólico (Higginson, 2010). Esta dimensión se manifiesta en cuatro enfoques principales:

- ◆ la estética formal, centrada en la belleza estructural de las matemáticas y en promover la apreciación de su elegancia interna (Dreyfus y Eisenberg, 1986; Taylor, 2019).
- ◆ la estética narrativa, que convierte las matemáticas en relatos significativos que integran emoción e imaginación (Dietiker, 2015; Sinclair, 2005).

- ♦ la estética experiencial y sensorial, que enfatiza lo perceptivo y corporal a través de materiales manipulativos y tecnologías visuales (Gadanidis et al., 2022; Zimmerman, 2018).
- ♦ la estética crítica, que examina quién tiene acceso a lo sensible y qué formas de percepción son reconocidas, abre preguntas sobre representación, exclusión y diversidad epistémica (de Freitas y Sinclair, 2014; Gutiérrez, 2017).

Además, investigaciones en educación matemática muestran que los y las estudiantes de matemáticas son capaces de valorar cualidades estéticas en la tarea de resolución de problemas (Bosque-Artaza et al., 2018; Brinkmann, 2009; DeGraaf, 2015). Igualmente, se ha comprobado que cuando se proporcionan oportunidades de indagar en ambientes ricos estéticamente, el alumnado usa valores estéticos para elegir problemas, generar conjeturas y evaluar soluciones (Sinclair, 2001, 2006).

Los estudios interesados en llevar la estética al aula (Betts, 2005; Sinclair, 2001; Statement, 1989) mencionan la dificultad de mostrarla al alumnado en el ámbito de un currículo diseñado para dominar los aspectos técnicos y algorítmicos antes de participar en experiencias matemáticas estéticas (Betts y McNaughton, 2003; Taylor, 2019; Whitcombe, 1988). De ahí la importancia del desarrollo curricular con una fuerte dimensión estética (Higginson, 2002; Taylor, 2018) y la justificación de este trabajo.

METODOLOGÍA

La revisión se realizó según la propuesta de Higgins y Green (2008), la Declaración PRISMA (Moher et al., 2009) y el informe sobre revisiones sistemáticas de la literatura de Codina (2018).

Identificación de estudios

Entre 2020 y 2023 realizamos búsquedas en bases de datos: generalistas (*Web of Science*, *Scopus*, *Google Académico*), relacionadas con la educación (*ERIC ProQuest*) y la educación matemática (*MathEdu*), cerradas en 2020. La búsqueda incluyó publicaciones entre 1960 y 2023, con énfasis en el período más reciente, tanto en inglés como en español; si bien la mayoría de los estudios localizados y seleccionados estaban escritos en inglés. Este énfasis se justifica por la mayor densidad de trabajos en los años finales del rango (1960-2023), como se puede apreciar en la Figura 2.

La cadena de búsqueda utilizada fue “(aesthetics or beaut*) and “mathematics education” and curriculum*”. También examinamos documentos obtenidos a través de referencias y localizados en *Google Académico* citando a Dreyfus y Eisenberg (1986) y Whitcombe (1988), autores pioneros en el campo.

Siguiendo las recomendaciones de la declaración PRISMA, la Figura 1 muestra un diagrama de flujo del proceso aplicado.

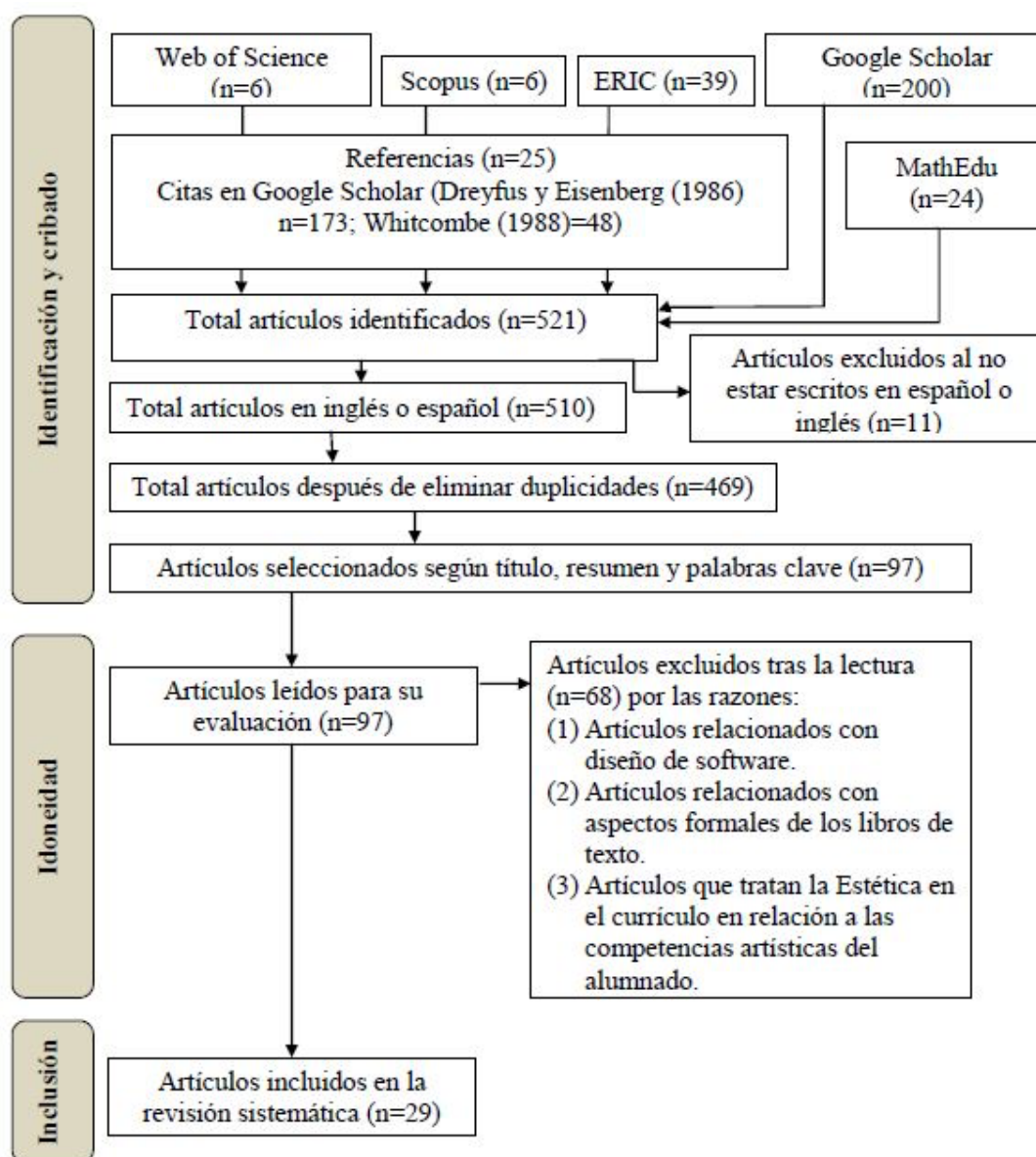


Figura 1. Diagrama de flujo de la búsqueda

Criterios de selección

Tras eliminar duplicados, utilizando un proceso de dos fases, determinamos la inclusión o exclusión de los estudios: (a) evaluación del título, palabras clave y resumen de cada artículo identificado y (b) para los estudios seleccionados en la primera fase, revisión del texto completo.

El criterio de inclusión básico fue que en el texto se tratara algún aspecto del currículo de matemáticas en referencia a la estética, bien para mostrar en el aula la

dimensión estética de las matemáticas o bien para usar la estética para mejorar la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas.

Procedimiento de recogida y análisis de datos

Siguiendo las recomendaciones de Codina (2018), recogimos los datos de los estudios elegidos utilizando una tabla de extracción desarrollada por los revisores, incluyendo autor, año, publicaciones, organizaciones, tipo de estudio, etapas educativas, etc. Junto a estos datos, de los textos seleccionados recogimos fragmentos referidos al currículo escolar, punto clave de interés de esta revisión.

La identificación de las categorías temáticas emergentes se llevó a cabo mediante un análisis cualitativo inductivo de contenido, sustentado en una perspectiva interpretativa. Una vez seleccionados los textos del corpus final, se realizó una lectura comprensiva de cada texto, prestando atención a las formas en que se articulaba la relación entre la dimensión estética y el currículo de matemáticas escolares.

A través de una codificación abierta (Strauss y Corbin, 2002), se extrajeron unidades significativas de análisis, como fragmentos sobre diseño curricular, experiencias de aula, uso de recursos, posicionamientos epistemológicos o referencias filosóficas que fueron agrupadas en categorías conceptuales.

Este proceso de codificación fue iterativo y reflexivo: se contrastaron las etiquetas emergentes entre los documentos y se reorganizaron tras varias rondas de refinamiento. Las categorías no fueron definidas a priori, sino construidas progresivamente a partir de regularidades y contrastes observados en el discurso de los autores.

Estas categorías no son excluyentes ni pretenden clasificar exhaustivamente los estudios, sino ofrecer una heurística analítica para comprender cómo se conceptualiza e implementa la dimensión estética en relación con el currículo escolar de matemáticas.

RESULTADOS

Número de artículos seleccionados y evolución de su producción

La Figura 2 muestra la evolución temporal de la publicación de documentos relacionados con el currículo dentro de la línea de investigación referida a la estética en la educación matemática.

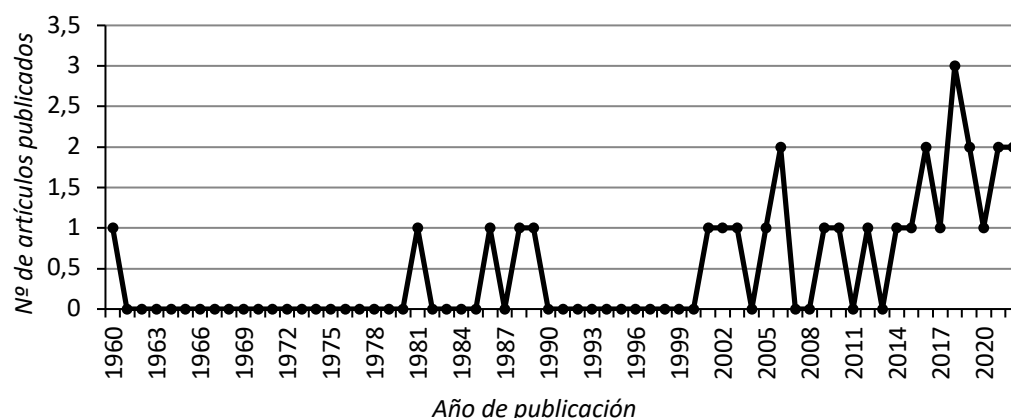


Figura 2. Evolución de la producción de artículos sobre estética y educación matemática que tratan el desarrollo del currículo

El primer texto es la tesis “*Some Implications of Dewey's Esthetic Theory for Mathematics Education*” de Kovayashy (1960) hallada en Google Académico. Primer trabajo que, tomando como marco teórico la filosofía de Dewey, trata la dimensión estética de las matemáticas y de la educación matemática y su repercusión en el currículo. Se han localizado cuatro publicaciones más a finales del siglo XX, pero la mayor parte se da en el siglo XXI.

Documentos publicados, revistas y congresos más prolíficos

Las búsquedas proporcionaron diferentes tipos de documentos (Tabla 1).

Tabla 1

Tipos de documentos sobre estética y educación matemática que tratan del currículo

Tipo	Nº de documentos	Porcentaje
Artículos de revistas académicas	18	62,07%
Capítulos de libros	7	24,13%
Artículos en actas de congresos	1	3,45%
Artículos en Internet	1	3,45%
Normativa educativa	1	3,45%
Tesis	1	3,45%
TOTAL	29	100%

Un total de 13 revistas académicas publicaron 18 artículos referidos a la estética y la educación matemática que trataban algún aspecto del currículo. De estas 13 revistas, cuatro tienen líneas editoriales diversas sobre el currículo, nuevas

tecnologías, políticas educativas, etc., y cuentan con un solo artículo publicado en cada una de ellas.

Por otro lado, nueve revistas con líneas editoriales sobre educación matemática cuentan con 14 artículos publicados: *International Journal for Mathematics Teaching and Learning* y *For the Learning of Mathematics* con tres artículos cada una; *Philosophy of Mathematics Education Journal* con dos, y seis revistas con un solo artículo.

Respecto a las actas de congresos, se contabiliza únicamente un artículo del *International Group for the Psychology of Mathematics Education* (Gutiérrez, 2017). También hemos incluido en nuestra revisión un manuscrito localizado en internet, aunque no publicado en revistas académicas o actas de congresos, y una tesis doctoral.

Autorías y grados de colaboración

La Tabla 2 muestra los datos correspondientes al número de publicaciones por autor.

Tabla 2

Nº de artículos por autor/a sobre estética y educación matemática que tratan del currículo

Clasificación	Nº de autores/as	Porcentaje
Autor/a con un trabajo	23	74%
Autor/a con dos trabajos	5	16%
Autor/a con tres o más trabajos	3	10%
TOTAL	31	100%

En cuanto al grado de colaboración, 31 autores para un total de 28 artículos (sin el documento referido a normativa educativa) supone un índice de colaboración de 1,11, valor inferior a las dos autorías por artículo que establecen Bordons y Gómez (1997) para las ciencias sociales. A ello contribuye que el número de artículos firmados por una única autoría supone un 66% (Tabla 3).

Tabla 3

Nº de autores/as por artículo publicado sobre estética y educación matemática que trata del currículo

Clasificación	Nº de artículos	Porcentaje
Un autor/a	19	66%
Dos autores/as	6	21%
Cuatro autores/as	3	10%
TOTAL	29	100%

Se puede afirmar que escasean los grandes productores de artículos en la rama de investigación de la educación matemática sobre la estética que hayan tratado el papel del currículo para su transmisión al alumnado. Solamente Gadanidis, Sinclair y Taylor cuentan con al menos tres artículos. No podemos hablar de equipos de trabajo, sino de colaboraciones puntuales, ya que no se repiten trabajos con el mismo grupo colaborador.

Internacionalización de los trabajos

Aunque se incluyeron en la búsqueda artículos en inglés y español, predominan los países anglosajones en las investigaciones de educación matemática sobre estética, en general, y que tratan el currículo, en particular. El 48% de las publicaciones corresponden a Canadá y el 41% a Estados Unidos. Solo figuran fuera de este ámbito Brasil e Israel con un artículo publicado cada uno.

Tipos de estudios publicados y sus diseños

La Tabla 4 sintetiza la información de los textos seleccionados referida a los tipos de estudio y diseños utilizados, siendo la mayoría, 89,67%, de tipo teórico.

Tabla 4

Tipos de estudios y diseños en la investigación sobre estética y educación matemática que tratan del currículo

Tipo de estudio	Diseño	N	Porcentaje	
Trabajo teórico	Desarrollo de marco teórico	17	65,38%	58,62%
	Crítica y consejo	2	7,69%	6,9%
	Experiencia didáctica	2	7,69%	6,9%
	Descripción de propuesta didáctica	1	3,85%	3,45%
	Revisión literaria sobre estética y educación matemática	1	3,85%	3,45%
	Estado de la cuestión y propuesta de investigación	1	3,85%	3,45%
	Análisis filosófico	1	3,85%	3,45%
	Normativa	1	3,85%	3,45%
	TOTAL	26	100%	89,67%
Trabajo empírico	Estudio de casos (colectivo)	1	33,3%	3,45%
	Estudio de casos	1	33,3%	3,45%
	Análisis literario	1	33,3%	3,45%
	TOTAL	3	100%	10,33%
Total		29	100%	

Etapas educativas en las que se investiga

Muchos trabajos están dirigidos a más de una etapa educativa y hay casos (9 de 29) en los que no se menciona la etapa y solo se habla de matemática escolar. La mayoría se dirige a secundaria (19 de 29) en exclusiva o, en algunos casos, incluyendo primaria (10 de 29) o bachillerato (4 de 29).

Enfoques de los textos analizados

Respecto al segundo objetivo específico, referido a la exploración de los enfoques con los que se ha abordado la dimensión estética del conocimiento matemático, a partir del análisis temático se identificaron diversas categorías transversales en los textos revisados. Las más frecuentes, como se puede observar en la Figura 3, son:

- ◆ Estética e indagación matemática: trabajos que destacan la experiencia estética como motivadora del pensamiento matemático creativo.
- ◆ Narrativas y currículo: propuestas que conciben el currículo como una historia que genera sentido.
- ◆ Dimensión emocional y sensorial: inclusión de elementos perceptivos, visuales o manipulativos para favorecer la apreciación estética.
- ◆ Tecnologías digitales: uso de programación, geometría dinámica u otros entornos visuales como medios para vivenciar la belleza matemática.
- ◆ Diversidad de capacidades: reconocimiento de múltiples formas de percepción y conocimiento en el diseño curricular.

Estas categorías, reorganizadas, serán retomadas en la discusión para interpretar su impacto y potencial en el diseño de currículos escolares sensibles a lo estético.

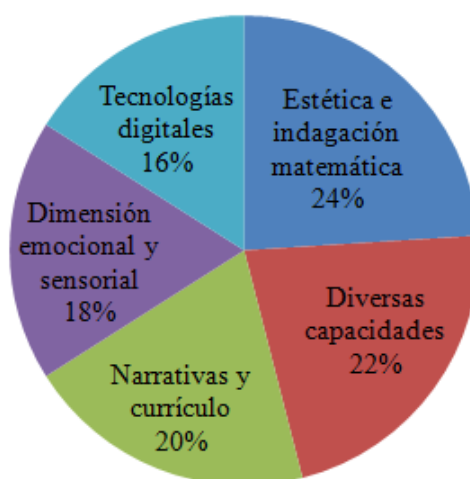


Figura 3. Categorías temáticas emergentes sobre estética y currículo

DISCUSIÓN

Tradicionalmente, el absolutismo ha dominado el currículo escolar de matemáticas (Betts y McNaughton, 2003; Chesky y Wolfmeyer, 2020; Higginson, 2002). Éste describe las matemáticas independientes, verdad objetiva infalible y conocimiento a priori, revelado mediante la razón y sin contexto social; se descubren, se observan, pero no se inventan. Estas creencias, junto con la de que las matemáticas disciplinaban la mente enseñando a razonar, motivaban el aprendizaje tradicional de esta materia como un sistema lógico completo, de forma abstrusa y memorística, produciendo rechazo en el alumnado. Además, definían un currículo dominado por el aprendizaje de procedimientos algorítmicos (Gordon, 2019) que no se reexaminaba (Kobayashi, 1960).

La reacción al absolutismo tradicional y las consecuencias psicológicas de sus métodos pedagógicos justificaron el posterior papel social de las matemáticas en el currículo. Se favorecía su aprendizaje por sus aplicaciones mediante simulación de situaciones de la vida cotidiana (Bossé, 2006), abandonando el aprendizaje memorístico (Kobayashi, 1960). Esta visión utilitaria también ha sido criticada (Gutiérrez, 2017; King, 1981; Kissane, 2021) por ignorar los aspectos estructurales de las matemáticas, constitutivos de su estética, en favor de su aplicabilidad (Kobayashi, 1960; Whitcombe, 1988).

Por otro lado, una secuenciación curricular basada en la estructura matemática formal y la temporalidad fragmenta las matemáticas escolares jerárquicamente (Betts, 2005; Chesky y Wolfmeyer, 2020; Mack, 2006), provocando una descomposición de la indagación en categorías aisladas (Kobayashi, 1960), en contra del auténtico proceso de investigación matemática. Igualmente, Mack (2006) señala la diferencia entre el proceso de investigación y el orden formal de comunicación y cuestiona que el aprendizaje de las matemáticas deba seguir la lógica de la estructura curricular tradicional, dado que muchos matemáticos declaran que sus motivaciones investigadoras son estéticas.

En los siguientes apartados, referidos a las temáticas y enfoques surgidos de los resultados de la revisión sistemática, exponemos cómo los documentos consultados postulan un currículo que incluya la dimensión estética de la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas.

Currículo, proyectos y experiencias estéticas

Este apartado se vincula con el enfoque estético experiencial y sensorial, en el que la percepción, la interacción corporal y el uso de entornos ricos estimulan experiencias matemáticas significativas.

Kobayashi (1960), desde un punto de vista pedagógico, considera que es matemática cualquier actividad que implique abstracción, generalización y simbolización de la experiencia para que relaciones relevantes puedan descubrirse, examinarse y comprenderse. Siguiendo las teorías estéticas de Dewey (1934), a

través de tal comprensión cargada de emoción, estas actividades pueden convertirse en experiencias de aprendizaje significativas y, por ende, estéticas.

Para experimentar estéticamente las matemáticas, el alumnado debe investigar implicándose en la creación y reconstrucción de estas (Betts, 2005; Betts y McNaughton, 2003; Kobayashi, 1960). Dicho proceso supone desarrollar material simbólico y sus relaciones, manteniendo el equilibrio entre órdenes superiores de abstracción y sus aplicaciones específicas (Kobayashi, 1960).

Para promover las experiencias estéticas matemáticas, Higginson (2010) habla de tareas ricas de aprendizaje; Taylor (2018), del currículo basado en proyectos; y Sinclair (2001), de ambientes de aprendizaje estéticamente ricos. Todos estarían diseñados en torno a la indagación. El educador seleccionaría materiales potencialmente estéticos (Kissane, 2021; Statement, 1989) y organizaría actividades sobre ellos (Bossé, 2006; Taylor, 2019) con las siguientes características:

- ♦ actividades de suelo bajo y techo alto (Gadanidis, 2012), partiendo de diferentes grados de habilidad (Brinkmann, 2009), permiten alcanzar el máximo aprendizaje a todo el alumnado.
- ♦ claras estructuralmente (Taylor, 2018, 2019): facilitando que surjan conceptos curriculares significativos y ordenando algún aspecto de la experiencia. La percepción de la relación entre las matemáticas (Bossé, 2006) conduce a la comprensión de ideas fundamentales en profundidad (Gadanidis, 2012; Higginson, 2010).
- ♦ abiertas, permitiendo al alumnado plantear cuestiones (Gutiérrez, 2017; Sinclair, 2009), notar, imaginar alternativas, apreciar contingencias; legitimando sus expresiones innatas e impresiones subjetivas; favoreciendo trabajar con tales percepciones sin excluirlas o negarlas (Sinclair, 2001); y animándolos a tratar fórmulas de forma flexible, libre y creativa (Gerstberger, 2009).
- ♦ ricas, potenciando intereses del alumnado, según Dewey (1910), como comunicarse, descubrir, expresarse artísticamente y experimentar placer y orgullo, es decir, que requieran hacer estrategias, conexiones, argumentos y explicar el pensamiento (Taylor, 2018; Dietiker y Richman, 2021).

En resumen, materiales potencialmente estéticos serían conceptos e ideas con ramificaciones profundas tanto en las matemáticas como en otras áreas de la experiencia humana, que unifiquen y creen comprensión integrando la experiencia y convirtiéndola en estética, adecuándose al nivel de desarrollo del alumnado. Las conexiones matemáticas internas y externas ayudan al alumnado a construir conocimiento y aprender (Bossé, 2006).

En cuanto a las conexiones internas, se puede, por ejemplo, pedir al alumnado que genere y justifique múltiples representaciones de un concepto: construir y comparar mentalmente diferentes estrategias para resolver sumas o restas, representar la fracción un medio como fracción, decimal, porcentaje, en la recta

numérica, pictóricamente o inventar un enunciado con ella. Cada representación proporciona una nueva perspectiva para apreciar el concepto y, así, adquirir un conocimiento más profundo. Mediante este tipo de exploraciones, el alumnado puede participar en experiencias, lo que lo lleva a apreciar la estética matemática y a motivarlo en la búsqueda de nuevas experiencias matemáticas (Zimmerman, 2018).

Respecto a las conexiones externas, tanto en matemáticas como en ciencias y arte, surgen situaciones de investigación que dan lugar a experiencias potencialmente estéticas (Higginson, 2002), ya que toda área del currículo puede tener aspectos que contribuyan al desarrollo matemático del alumnado (Bossé, 2006). Por lo tanto, un enfoque curricular basado en las conexiones de las matemáticas con otras formas de actividad humana desarrollaría currículos alternativos ricos. Aunque mediante los proyectos multidisciplinarios podría trasladarse la idea de que las matemáticas en sí no son estéticamente atractivas (Sinclair, 2001), la comprensión de experiencias se refuerza mediante proyectos coordinados de varias áreas al proporcionar una gama mayor de conocimiento organizado en el bagaje experiencial del alumnado.

Betts (2005), por ejemplo, propone diseñar experiencias estéticas a través de proyectos basados en el marco de actividades artísticas de Eisner (1988). Sus cuatro componentes adaptados a las matemáticas son: 1) producción: invención en matemáticas, 2) crítica: percepción y respuestas a cualidades de las matemáticas, 3) contexto cultural/histórico: consideración de influencias culturales e históricas y 4) juicio: evaluación de las matemáticas y criterios para hacer juicios de valor. Betts presenta dos tipos de actividades: proyectos integrados de matemáticas con arte y naturaleza, respectivamente, y proyectos basados en las propias matemáticas. Kissane (2021) recuerda el potencial visual que tienen los patrones geométricos en el diseño de proyectos basados en aspectos intrínsecamente estéticos de las matemáticas y en el uso de la historia de las matemáticas.

Respecto al nivel de desarrollo del alumnado, Kobayashi (1960) considera que, en la educación matemática temprana, la evolución del aprendizaje desde actividades concretas hasta otras progresivamente más abstractas requiere de situaciones cotidianas como punto de partida del diseño de experiencias. En secundaria, para diseñar experiencias con una abstracción intermedia entre situaciones concretas de niveles inferiores y la abstracción de grados superiores, podrían relacionarse aplicaciones de ciencias físicas y sociales con estructuras matemáticas más abstractas y formales, usando conceptos de combinatoria, probabilidad, estadística, geometría, optimización discreta, teoría de juegos, etc. (Kobayashi, 1960; Taylor et al., 2018; Taylor, 2019). La práctica de algoritmos y procedimientos técnicos surgiría como parte de una investigación mayor (Taylor, 2018) cuya cualidad estética favorece la retención del aprendizaje (Zimmerman, 2018). Asimismo, un enfoque estético del currículo de matemáticas permite ver procesos y contenidos mutuamente dependientes (Mack, 2006) y aplicaciones y aspectos formales (Kobayashi, 1960) de las matemáticas.

Gadanidis et al. (2022) señalan las posibilidades que la introducción de la programación en el currículo de matemáticas puede aportar para que el alumnado viva las Matemáticas como una experiencia estética. El uso de la programación convierte en tangibles conceptos y estructuras abstractas, dando acceso al alumnado a la estructura y la belleza de las ideas matemáticas. Además, facilita la investigación al permitirles plantear y responder preguntas modificando secuencias de código.

En síntesis, alcanzar el objetivo de trasladar la dimensión estética de las matemáticas al alumnado (Betts, 2005; Gadanidis et al., 2022; Higginson, 2010) implica involucrarlos en el proceso de investigación matemática (Bossé, 2006; Gordon, 2019; Taylor, 2019), facilitando situaciones de exploración sin objetivos específicos y utilizando la potencialidad de las nuevas tecnologías (Gadanidis et al., 2022; Higginson, 2002) para brindar entornos de aprendizaje flexibles que fomenten experiencias de aprendizaje estéticas (Sinclair, 2001).

Currículo, narraciones y experiencias estéticas

Este bloque estaría relacionado con el enfoque estético narrativo, donde la matemática se construye como relato, integrando emoción, sorpresa e imaginación en el aprendizaje.

Sinclair et al. (2004) consideran que el discurso y la versión escrita para comprender un resultado matemático pierden claridad debido al lenguaje funcional, la notación y el orden lineal de razonamiento. Además, según Sinclair (2005), los textos de matemáticas suelen presentar el contenido de forma clara y ordenada, como teorías terminadas: definiciones, teoremas, ejemplos, ejercicios, etc., creando una ilusión de orden y significado opuesta a la naturaleza caótica de la investigación matemática.

Por ello, los investigadores de la estética en educación matemática, además de procesos de indagación tratados en el apartado anterior, conciben la dimensión estética matemática involucrada en procesos de comunicación y explicación (Gerstberger, 2009; Mack, 2006; Sinclair, 2005) que abordamos en este apartado.

Un currículo planificado como historias proporcionaría al alumnado experiencias conflictivas en un contexto de indeterminación, que, siguiendo a Dewey (1934), si se resuelven de forma satisfactoria y cargada de emoción, ayudan al alumnado a darle sentido al contenido y convierten las experiencias en estéticas (Dietiker, 2015; Taylor et al., 2018). Con este fin, los investigadores proponen proporcionar contextos de aprendizaje mediante cuentos, historias, guiones, teatralización, etc., sobre los conceptos e ideas a tratar en el aula (Gadanidis, 2012; Gadanidis y Cendros, 2023; Gerstberger, 2009).

Los efectos narrativos del currículo pueden generar suspense, asombro y sorpresa (Dietiker, 2015; Dreyfus y Eisenberg, 1986; Gadanidis, 2012), mediante, por ejemplo, ambigüedad y significados múltiples (Dietiker, 2015; Sinclair, 2005), provocando interés y curiosidad, despertando la imaginación, induciendo a investigar (Dietiker, 2015) y sosteniendo la exploración al incitar a los y las

estudiantes a hacerse preguntas sobre las relaciones matemáticas (Dietiker y Richmann, 2021). La sorpresa, además, mejora la retención del aprendizaje (Gadanidis y Cendros, 2023). Por otro lado, usar narraciones y teatralización produce un aprendizaje vicario como consecuencia de la experiencia emocionalmente intensa generada por las conexiones indirectas que hacen los y las estudiantes a través de las dificultades matemáticas de los personajes (Gadanidis et al., 2016).

Dietiker (2015) describe los elementos que componen una historia matemática. Los personajes son objetos matemáticos que emergen durante el desarrollo del contenido (una familia de funciones cuadráticas y sus relaciones, un conjunto de fracciones a ordenar, etc.). Las acciones de la historia matemática son lo que sucede a los caracteres matemáticos: sumar tres y cinco hace surgir un nuevo objeto (el número ocho); reorganizar un trapecio en un rectángulo permite calcular su área. Las acciones incluyen operaciones (suma, resta, multiplicación y división), transformaciones (rotar, trasladar y dilatar...), reescribir (combinar términos, factorizar, simplificar...) y componer/descomponer objetos matemáticos (por ejemplo, "tomar prestado" 10 del lugar de las centenas para restar). En las historias matemáticas, un escenario es donde se encuentran personajes y acciones. Una función lineal puede presentarse en una tabla o un plano de coordenadas; una historia matemática podría desarrollarse en una calculadora, un ordenador o físicamente saltando sobre la recta numérica en el suelo. Imaginar el currículo de matemáticas como una historia abre la posibilidad de reinventar actividades cambiando el escenario. Además, el software de geometría dinámica permite introducir tiempo, movimiento e imagen, dando lugar a acciones y personajes en las historias matemáticas, al posibilitar al alumnado y al profesorado crear y observar transformaciones continuas de entidades matemáticas (Sinclair, 2005).

El uso de narrativa para crear experiencias matemáticas estéticas puede ayudar a diseñadores curriculares y docentes a tomar decisiones considerando las implicaciones estéticas: qué conceptos o procesos provocan misterio, suspense y sorpresa, en qué punto del currículo introducirlos o revelar sus propiedades y relaciones, qué cualidades ocultar para profundizar en cursos posteriores (Dietiker, 2015; Dietiker y Richmann, 2021; Zimmerman, 2018).

Finalmente, al intentar dar sentido a la información y la experiencia se utiliza el pensamiento narrativo para crear narrativas personales (Gadanidis y Cendros, 2023), y la forma de enfocar y desarrollar la narración puede generar oportunidades estéticas (Gerstberger, 2009; Dietiker y Richmann, 2021), especialmente cuando el alumnado se convierte, no en consumidor de texto, sino en productor de significado (Sinclair, 2005). Por ello, conviene que el alumnado cree e interprete sus propias parodias, cómics, canciones, etc., para sus familiares y compañeros de cursos inferiores (Gadanidis, 2012). Las historias desarrollan el pensamiento matemático y la fluidez técnica y conceptual (Taylor et al., 2018). Además, elaborar textos y compartirlos mejora las habilidades de comunicación, autoestima, confianza, sensación de control y, por tanto, el rendimiento y la actitud

hacia las matemáticas (Gadanidis, 2012). De nuevo, usar software educativo de matemáticas brinda la oportunidad de crear y contar sus propias historias matemáticas (Sinclair, 2005). Un ambiente que anime al alumnado a formular y compartir preguntas, así como a describir y discutir sus descubrimientos con otros, facilitaría la acción de comunicar y el aprendizaje (Sinclair, 2001).

Currículo, estética, sentido y distintas capacidades

Este apartado recoge elementos tanto del enfoque estético crítico como del sensorial. Desde una perspectiva crítica, se abordan las dimensiones políticas de lo sensible, las formas de exclusión curricular y la diversidad perceptiva, y desde la sensorial, se subraya la importancia de la percepción y los regímenes de visibilidad en la experiencia matemática. Según este enfoque, ciertos autores abordan el significado de la estética vinculado a la percepción y su implicación para la educación matemática (Gerstberger, 2009; Freitas y Sinclair, 2014).

La estética opera mediante la conjunción de sentido (como sensación) y sentido (como significado), condicionando nuestros modos de percepción individual y nuestras instituciones sociales. En otras palabras, la participación política y las prácticas "artísticas" están recíprocamente implicadas, no solo en términos de juicios de gusto, sino en la distribución material de lo que se considera sensible. (Freitas y Sinclair, 2014, p. 1)

Basándose en la estética de Rancière, de Freitas y Sinclair (2014) entienden las prácticas estéticas como maneras de hacer generadoras de formas de sensibilidad y visibilidad que dan lugar a comunidades de prácticas y de sentido. “Una comunidad de sentido es cierto corte de espacio y tiempo que une prácticas, formas de visibilidad y patrones de inteligibilidad. Llamo a este corte y a este vínculo una partición de lo sensible” (Rancière, 2009, p. 31). Estas comunidades de práctica tienen un lenguaje común que produce un régimen de percepción que marca el límite de lo sensible (de Freitas, 2016).

Toda construcción de significado parte de la percepción (Gerstberger, 2009). La manera de percibir y relacionarnos con el tiempo, el espacio, patrones, relaciones, formas y conceptos es fundamentalmente matemática y, a su vez, nuestra conciencia matemática y la práctica establecida por ella afectan nuestras percepciones del mundo (Chesky y Wolfmeyer, 2019; Gutiérrez, 2017). Hay una correlación entre sentido (sensación) y sentido (significado) que influye en las prácticas matemáticas (de Freitas y Sinclair, 2014).

Los regímenes de percepción y comunidades de prácticas tienen una doble implicación en el diseño del currículo. Por un lado, generan consensos que en ocasiones hay que cuestionar y, por otro, hay que atender a que las formas en que se representan comunican y explican las matemáticas privilegian ciertas capacidades sensoriales sobre otras (de Freitas, 2016; de Freitas y Sinclair, 2014).

Primeramente, si el consenso es una alineación entre sentido (sensación) y sentido (significado), el disenso rompe esta alineación; es un acto que provoca una

forma diferente de compartir lo sensible. Por ejemplo, cuando lo considerado invisible o inaudible se vuelve visible o audible. La sorpresa es una forma de disenso, ya que altera lo esperado.

En ocasiones, prácticas pedagógicas curriculares orientadas a la buena gestión docente y a alcanzar estándares de rendimiento curricular acaban normalizadas como formas de consenso. Es posible generar disenso favoreciendo un conocimiento más profundo y reflexivo encaminado a construir sentido: por ejemplo, atendiendo la ingenuidad del alumnado, creando asombro mediante contraejemplos y permitiendo cuestionar información presentada como verdades a memorizar (Gordon, 2019; Kissane, 2021; de Freitas y Sinclair, 2014). Ejemplos serían: imaginar que los impares no existen, cuestionar los 360° del círculo, pedir respuestas incorrectas y sus explicaciones, etc. Estas prácticas fomentan la indagación matemática y pueden calificarse de estéticas al contribuir a la construcción de sentido y significado.

Por otro lado, Freitas (2016) señala que el currículo de matemáticas favorece ciertas habilidades sensoriales. Por ejemplo, un currículo dominado por aritmética y álgebra (Gutiérrez, 2017; Sinclair, 2009) no apoya experiencias geométricas de la forma y del espacio, afectando al alumnado con habilidades espaciales, como sordos y disléxicos (de Freitas, 2016). La sordera y la dislexia pueden propiciar configuraciones sensoriales y semióticas particulares (p. ej., mayor centralidad de lo visual-espacial, lo táctil o lo cinestésico), desde las cuales el alumnado construye conocimiento estético. Además, dicho dominio de la aritmética y el álgebra limita las interacciones sensoriales visuales y espaciales, afectando al conocimiento encarnado. Conjuntamente, ciertos predomios curriculares afectan los juicios sobre qué es interesante y valioso y las preferencias estéticas del alumnado (Gutiérrez, 2017; Sinclair, 2009).

Una forma de reequilibrar posibles predomios es reconocer y valorar las diferentes formas de conocer, los diferentes conocedores y los diversos conocimientos como legítimos, parciales e interdependientes. En la planificación curricular implica reconocer que la percepción de conceptos y relaciones matemáticas varía entre personas (Bossé, 2006; Chesky y Wolfmeyer, 2019; Mack, 2006). Las nuevas tecnologías, por su flexibilidad, pueden fomentar experiencias de aprendizaje estéticas para estudiantes con necesidades educativas. Además, especialmente en edades tempranas, como sugiere la etimología de “estética” en relación con la percepción sensorial, es deseable que, junto con lo digital, las experiencias matemáticas en el aula incluyan una componente física manipuladora (Higginson, 2010).

Respecto a las implicaciones personales, Gordon (2019) aboga por un currículo emocional/conductual que, además de estrategias de resolución de problemas, proporcione herramientas psicológicas para detectar reacciones contraproducentes frente a desafíos matemáticos y desarrollar paciencia, resiliencia y reflexión, generando así una experiencia matemática más satisfactoria y, por tanto, estética.

En conjunto, los enfoques estéticos —el formal, el narrativo, el experiencial y sensorial y el crítico— ofrecen una base teórica plural que amplía las posibilidades del currículo escolar para recoger la dimensión estética de las matemáticas.

CONCLUSIONES

En la documentación analizada, el currículo es clave para poner en valor el carácter estético de las matemáticas y, así, mejorar su enseñanza y aprendizaje y motivar a los y las estudiantes. Respecto al primer objetivo específico, cabe destacar que la mayor parte de los estudios sobre estética y currículo de matemáticas se han publicado en el siglo XXI, fundamentalmente en revistas de investigación y por un solo autor. La mayoría de los artículos abordan estudios de tipo teórico en el ámbito de las matemáticas escolares circunscritos mayoritariamente a la primaria y la secundaria. Sin embargo, podemos concluir que pocos artículos tratan específicamente el tema, apareciendo en un solo congreso especializado y en un solo documento referido a la normativa escolar de 1989. Los trabajos publicados se circunscriben principalmente al ámbito académico anglosajón, con escasas colaboraciones que permitan hablar de grupos de trabajo y mayoritariamente basados en investigaciones de tipo teórico.

En relación con el segundo objetivo específico del estudio, centrado en los enfoques sobre la dimensión estética del conocimiento matemático, se observó que los trabajos revisados abordan el currículo desde una perspectiva plural, entendida como un espacio para generar experiencias estéticas significativas. Las categorías temáticas emergentes —indagación matemática, narrativas curriculares, experiencias sensoriales, tecnologías digitales y formas diversas de percepción y conocimiento— configuran una cartografía de enfoques estéticos que cuestionan la visión tradicional del currículo como simple secuencia de contenidos. Cada categoría representa una forma distinta de responder a las preguntas sobre qué se enseña y cómo se aprende matemáticas desde una sensibilidad estética. Esta diversidad refuerza la idea de que integrar la estética en el currículo no implica una propuesta única, sino abrir el campo a múltiples modos interrelacionados de experimentar y resignificar las matemáticas escolares, ampliando el alcance del diseño curricular.

Respondiendo al tercer criterio específico —la síntesis de criterios y orientaciones curriculares que potencien experiencias matemáticas estéticas—, Dewey (1934) sostiene que la experiencia estética está en el origen del conocimiento. En esta línea, los documentos analizados apuestan por currículos matemáticos basados en proyectos (Taylor, 2018). Asimismo, proponen definir el currículo en términos no de contenidos (Betts y McNaughton, 2003) sino de actividades y experiencias motivadoras y significativas que favorezcan la indagación sostenida (Kobayashi, 1960).

Además, dichos proyectos deben construirse en torno a poderosas historias matemáticas generadoras de sorpresa y asombro que, por un lado, estimulen la imaginación llevando al alumnado a plantearse cuestiones, elaborar estrategias y probar conjeturas (Dietiker, 2015; Taylor et al., 2018) y, por otro lado, provoquen la emoción que selecciona y da unidad cualitativa a las partes de una experiencia convirtiéndola en estética. Finalmente, un diseño curricular que tenga en consideración la dimensión estética del conocimiento debe tener en cuenta los diferentes conocimientos y capacidades del alumnado —esto es, fortalezas y sensibilidades desde las que participa y construye significado (Chesky y Wolfmeyer, 2019; de Freitas y Sinclair, 2014; Gutiérrez, 2017).

Dietiker (2015) considera el currículo una forma de arte. Su diseño e implementación requieren de conocimientos matemáticos y de habilidades artísticas y pedagógicas (Gordon, 2019; Mack, 2006; Taylor, 2018). “Diseñar lecciones teniendo en cuenta las oportunidades estéticas para el alumnado tiene el potencial de mejorar sus percepciones y experiencias con las matemáticas” (Dietiker y Richmann, 2021, p. 327). Sin embargo, Gadanidis y Cendros (2023) encuentran que todavía “los documentos curriculares deberían ofrecer un vínculo más explícito entre la obtención de estas experiencias estéticas y el estudio de las matemáticas en la educación primaria y secundaria” (p. 222).

Por ello, concluimos que, para alcanzar el objetivo de transmitir la dimensión estética de las matemáticas a través del currículo buscando la mejora de la enseñanza y el aprendizaje, parece necesario aumentar la investigación y las colaboraciones al respecto, expandiéndola a otras áreas de influencia.

Limitaciones del estudio

Este estudio presenta algunas limitaciones que es necesario reconocer:

- ◆ Aunque se revisaron textos en español e inglés, la mayoría de los documentos seleccionados están en inglés, lo que puede sesgar el panorama hacia contextos anglosajones.
- ◆ La revisión se centró en niveles escolares (primaria, secundaria y bachillerato), excluyendo estudios enfocados exclusivamente en educación universitaria o informal.
- ◆ El análisis temático, aunque sistemático, se basa en categorías emergentes, lo que puede implicar cierta subjetividad interpretativa.

Propuestas futuras

Atendiendo a las limitaciones anteriormente expuestas, futuros trabajos podrían ampliar el análisis a otros contextos lingüísticos y culturales, incorporar bases de datos especializadas en otros idiomas y profundizar en el estudio empírico de experiencias estéticas en la práctica curricular.

Por otro lado, las futuras investigaciones sobre la dimensión estética del currículo de matemáticas podrían servir a diferentes objetivos. Un primer objetivo sería el diseño de una herramienta de análisis curricular desde una perspectiva

estética, fundamentada en los resultados de esta revisión sistemática sobre las características que debería tener un currículo que integre la dimensión estética de las matemáticas.

Un segundo objetivo sería analizar hasta qué punto los currículos vigentes explicitan y potencian la dimensión estética del conocimiento y de las matemáticas para la mejora de la enseñanza y el aprendizaje de estas. Por ejemplo, se podría analizar desde dicha dimensión estética el nuevo diseño curricular propuesto en la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOMLOE). El objetivo último sería el diseño e implementación de currículos que incluyan de forma explícita la dimensión estética de las matemáticas y su enseñanza y aprendizaje.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado dentro del marco del proyecto de generación del conocimiento “Proyectos de Educación STEAM y aprendizaje escolar”, PID2021-128261NB-I00, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER, UE.

REFERENCIAS

Las referencias marcadas con un asterisco (*) indican los estudios incluidos en la revisión literaria.

- *Betts, P. (2005). Toward how to add an aesthetic image to mathematics education. *International Journal for Mathematics Teaching and Learning*, 4(13), 65-87. <https://www.cimt.org.uk/journal/betts.pdf>
- *Betts, P. y McNaughton, K. (2003). Adding an aesthetic image to mathematics education. *International Monographs on Mathematics Teaching Worldwide*, 1, 59-75. <https://www.cimt.org.uk/journal/bettspaul.pdf>
- Bordons, M. y Gómez Caridad, I. (1997). La actividad científica española a través de indicadores bibliométricos en el período 1990-93. *Revista General de Información y Documentación*, 7(2), 69-86.
- Bosque-Artaza, B. A., Lupiáñez-Gómez, J. L. y Segovia-Alex, I. (2018). Estética y Educación Matemática. En L. J. Rodríguez-Muñiz, L. Muñiz-Rodríguez, A. Aguilar-González, P. Alonso, F. J. García García y A. Bruno (eds.), *Investigación en Educación Matemática XXII* (pp. 161-170). SEIEM. <https://www.seiem.es/acta/xxii-2018-gijon/>
- *Bossé, M. J. (2006). Beautiful mathematics and beautiful instruction: Aesthetics within the NCTM standards. *International Journal for Mathematics Teaching and Learning*, 11(28), 1-15. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=2d79547d4d2b9da73ceb4efcc2113775776e7436>

- Brinkmann, A. (2009). Mathematical beauty and its characteristics. A study of the students' points of view. *The Montana Mathematics Enthusiast*, 6(3), 365-380. <https://doi.org/10.54870/1551-3440.1158>
- *Chesky, N. Z. y Wolfmeyer, M. (2020). Mathematics for the future of humanity: A radical onto-epistemological approach. *The International Journal of Critical Pedagogy*, 11(1), 59-80. <http://libjournal.uncg.edu/ijcp/article/view/1909/1466>
- Codina, L. (2018). *Revisiones bibliográficas sistematizadas: Procedimientos generales y framework para ciencias humanas y sociales*. Universitat Pompeu Fabra. https://repositori.upf.edu/bitstream/handle/10230/34497/Codina_revisiones.pdf
- *de Freitas, E. (2016). Material encounters and media events: What kind of mathematics can a body do? *Educational Studies in Mathematics*, 91(2), 185-202. <https://doi.org/10.1007/s10649-015-9657-4>
- *de Freitas, E. y Sinclair, N. (2014). The politics of the mathematics aesthetic: curricular con(sens)us and acts of dissensus. *Philosophy of Mathematics Education Journal*, 28 (octubre). <http://socialsciences.exeter.ac.uk/education/research/centres/stem/publications/pmej/pome28/index.html>
- DeGraaf, E. B. (2015). *What makes a good problem? Perspectives of students, teachers, and mathematicians*. Columbia University. <https://doi.org/10.7916/D8NV9HC3>
- Dewey, J. (1910). *How we think*. D. C. Heath
- Dewey, J. (1934). *Art as experience*. Perigee Books.
- *Dietiker, L. (2015). What mathematics education can learn from art: The assumptions, values, and vision of mathematics education. *Journal of Education*, 195(1), 1-10. <https://doi.org/10.1177/002205741519500102>
- *Dietiker, L. y Richman, A. S. (2021). How textbooks can promote inquiry: Using a narrative framework to investigate the design of mathematical content in a lesson. *Journal for Research in Mathematics Education*, 52(3), 301-331. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc-2020-0318>
- *Dreyfus, T. y Eisenberg, T. (1986). On the aesthetics of mathematical thought. *For the Learning of Mathematics*, 6(1), 2-10. <https://www.jstor.org/stable/pdf/40247796.pdf>
- *Gadanidis, G. (2012). Why can't I be a mathematician? *For the Learning of Mathematics*, 32(2), 20-26. <https://flm-journal.org/Articles/62D49632BC79BDE779DE530C26C1A9.pdf>
- *Gadanidis, G., Borba, M., Hughes, J. y Lacerda, H. (2016). Designing aesthetic experiences for young mathematicians: A model for mathematics education reform. *International Journal for Research in Mathematics Education*, 6(2), 225-244. <https://researchideas.ca/wmt/docs/AME-gadanidis-borba-hughes-lacerda-2016.pdf>

- *Gadanidis, G. y Cendros, R. (2023). Surprise and story in thinking and learning and their absence from mathematics education. En N. Rezaei (Ed.), *Integrated education and learning. Integrated Science*, 13 (pp. 221-236). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15963-3_13
- *Gadanidis, G., Hughes, J. M., Namukasa, I. y Scucuglia, R. (2022). Aesthetic mathematics experiences that travel. En C. Michelsen, A. Beckmann, V. Freiman, U.T. Jankvist y A. Savard (Eds.), *Mathematics and its connections to the arts and sciences (MACAS). Mathematics education in the digital era*, 19 (pp. 413-430). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10518-0_23
- Gerstberger, H. (2009). Mathematics learning and aesthetic production. *ZDM - Mathematics Education*, 41(1-2), 61-73. <https://doi.org/10.1007/s11858-008-0144-6>
- *Gordon, M. (2019). Mathematics students as artists: Broadening the mathematics curriculum. *Journal of Humanistic Mathematics*, 9(2), 192-210. <https://doi.org/10.5642/jhummath.201902.13>
- *Gutiérrez, R. (2017). Living mathematx: Towards a vision for the future. *Philosophy of Mathematics Education Journal*, 32(1), 1–34. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED581384.pdf>
- Higgins, J. P. T. y Green, S. (eds.) (2008). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*. Cochrane Collaboration y Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470712184>
- *Higginson, W. (2002). Glimpses of the past, images of the future: Moving from 20th to 21st century mathematics education. En C. Hoyles, C. Morgan, G. Woodhouse (Eds.), *Rethinking the mathematics curriculum* (pp. 184-194). Routledge.
- *Higginson, W. (2010). *Tasks, technologies and aesthetics: Aspects of one approach to the 'reconceptualization' of the teaching and learning of mathematics* [manuscrito no publicado]. https://atcm.mathandtech.org/EP2008/papers_full/2412008_15343.pdf
- *King, J. P. (1981). The unexpected art of mathematics. En L. A. Steen (ed.) *Mathematics Tomorrow* (pp. 29-37). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8127-3_4
- *Kissane, B. (2021). Mathematical connections: Beyond utility. En Toh, T.L. and Choy, B.H. (eds.), *Mathematics — Connection and beyond: Yearbook 2020 Association of Mathematics Educators* (pp. 71-93). World Scientific Publishing. https://doi.org/10.1142/9789811236983_0005
- *Kobayashi, V. N. (1960). *Some implications of Dewey's esthetic theory for mathematics education*. University of Hawai'i at Manoa.
- Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOMLOE). *Boletín Oficial del Estado*, 340, 122868-122953. <https://www.boe.es/boe/dias/2020/12/30/pdfs/BOE-A-2020-17264.pdf>

- *Mack, A. (2006). A Deweyan perspective on aesthetic in mathematics education. *Philosophy of Mathematics Education Journal*, 19(1), 27-42.
- Menéndez, M. (1887/1988). *Historia de las ideas estéticas en España*. Espasa Calpe.
- Ministerio de Educación de Chile (2012). *Bases curriculares 7.º básico a 2.º medio: Matemática*. División de Educación General. <https://www.curriculumnacional.cl>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. y Altman, D.G. (2009). Preferred reporting items for systematic review and meta-analyses: The PRISMA Statement for reporting systematic review and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Journal of Clinical Epidemiology*, 62(10), 1006-1012. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2009.06.005>
- National Governors Association Center for Best Practices & Council of Chief State School Officers (2010). *Common core state standards for mathematics*. NGA Center and CCSSO. <https://www.thecorestandards.org/Math/>
- Rancière, J. (2009). Contemporary art and the politics of aesthetics. En B. Hinderliter, W. Kaizen y V. Maimon (eds.), *Communities of sense: Rethinking aesthetics and politics* (pp. 31-50). Duke University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctv11smvw2.5>
- Real Academia Española. (s.f.). *Estética*. En Diccionario de la lengua española. Recuperado en 12 de diciembre de 2025, de <https://dle.rae.es/cultura?m=form>
- Scruton, R. (2009). *Aesthetics*. Encyclopaedia Britannica.
- Secretaría de Educación Pública (SEP) (2022). *Plan de estudios 2022 para la educación preescolar, primaria y secundaria*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/sep>
- *Sinclair, N. (2001). The aesthetic is relevant. *For the Learning of Mathematics*. 21(1), 25-32. <https://flm-journal.org/Articles/4ED622D33D2B170F009E53357BCE28.pdf>
- Sinclair, N. (2005). Chorus, colour, and contrariness in school mathematics. *THEN: Technology, Humanities, Education & Narrative*, 1(1). <http://thenjournal.org/index.php/then/article/view/33>
- Sinclair, N. (2006). *Mathematics and beauty: Aesthetic approaches to teaching children*. Teachers College Press.
- *Sinclair, N. (2009). Aesthetics as a liberating force in mathematics education? *ZDM - Mathematics Education*, 41(1-2), 45-60. <https://doi.org/10.1007/s11858-008-0132-x>
- Sinclair, N., Pimm, D. y Higginson, W. (2004). Mathematics, the noetic and the aesthetic. *North American chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, 1, 3-19.
- * University of California (System). Academic Senate, California Community Colleges. Academic Senate, California State University, Colleges. Academic Senate, & Intersegmental Coordinating Council. (1989). *Statement on*

- competencies in mathematics expected of entering freshmen*. Academic Senates of the California Community Colleges, the California State University, and the University of California. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED324242.pdf>
- Strauss, A., y Corbin, J. (2002). *Bases de la investigación cualitativa: Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada* (M. L. Bonilla, trad.). Editorial Universidad de Antioquia. (Obra original publicada en 1990)
- *Taylor, P. (2018). Teach the mathematics of mathematicians. *Education Sciences*, 8(2), 56. <https://doi.org/10.3390/educsci8020056>
- *Taylor, P., Lala, D., Ouellet, K. y Knebel, S. (2018). Powerful stories: The Hitchhiker's guide to the secondary mathematics curriculum landscape. En A. Kajander, J. Holm y E. Chernoff (eds.), *Teaching and learning secondary school mathematics advances in mathematics education* (pp. 13-26). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92390-1_3
- *Taylor, P. (2019). Reforming school mathematics: Two levels of structure. En P. Felmer, P. Liljedahl y Koichu, B. (eds.) *Problem solving in mathematics instruction and teacher professional development* (pp. 3-12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29215-7_1
- *Whitcombe, A. (1988). Mathematics: Creativity, imagination, beauty. *Mathematics in School*, 17(2), 13-15. <https://www.jstor.org/stable/pdf/30214447.pdf>
- *Zimmerman, A. S. (2018). Helping early-career teachers to see the aesthetic dimension of mathematics within standards-based curricula. *Curriculum and Teaching Dialogue*, 20(1/2), 105-181. <https://www.proquest.com/docview/2097606469>

Begoña A. Bosque Artaza
Universidad de Granada, España
alexibosque919@hotmail.com

José Luis Lupiáñez
Universidad de Granada, España
lupi@ugr.es

Isidoro Segovia
Universidad de Granada, España
isegovia@ugr.es

Recibido: febrero de 2025. Aceptado: octubre de 2025

doi: 10.30827/pna.v20i2.32889



ISSN: 1887-3987

MATHEMATICAL AESTHETICS IN THE SCHOOL MATHEMATICS CURRICULUM: A SYSTEMATIC REVIEW

Begoña A. Bosque-Artaza, José Luis Lupiáñez, and Isidoro Segovia

This research explores the integration of aesthetics in the teaching of mathematics. A systematic review of 29 studies shows that incorporating aesthetic elements leads students to understand better and appreciate the subject.

Traditionally, the teaching of mathematics has focused on mastering algorithms and procedures. However, research reveals that aesthetics, both in the sense of beauty and elegance inherent to mathematics, and in its sensory aspect, can be a motivating agent for learning. By cultivating students' aesthetic sensitivity, their curiosity is awakened, and a deeper exploration of mathematical concepts is encouraged.

The theoretical framework of the study is based on different perspectives of aesthetics, highlighting the importance of inquiry and emotions in the construction of mathematical knowledge. Dewey's philosophy, for example, suggests that mathematical experiences can be aesthetic to the extent that they involve transforming indeterminate situations into coherent and meaningful structures.

The bibliometric study presents the findings of the systematic review, including types of documents, authorship, collaboration patterns, geographic distribution of research, types of studies conducted, number of articles selected, and evolution over time. The first works identified date back to 1960, and a significant increase in publications in the 21st century shows a growing interest in research on Aesthetics in Mathematics Education.

The analysis of the research shows that aesthetics is a fundamental element in the learning of Mathematics, since provoking aesthetic experiences favors a deeper and more meaningful understanding. In addition, it increases students' motivation and commitment to Mathematics. To achieve this, it is necessary to rethink Mathematics curricula, including the aesthetic dimension. By integrating aesthetic elements into the curriculum, teachers can incorporate them into their classes through various strategies, such as using attractive visual materials, encouraging creativity, using narratives, and promoting collaboration.

In conclusion, this research highlights the importance of aesthetics in the teaching of Mathematics and offers a theoretical and empirical framework for its implementation in the classroom by integrating aesthetic elements into the curriculum. In addition, opportunities for future research are identified, such as the development of tools to assess the aesthetic dimension of curricula and the implementation of pedagogical proposals that effectively integrate aesthetic elements into the teaching of Mathematics.