Multidisciplinary Collaborative Journal
ISSN: 3073-1356

DOSO EDITORIAL CIENTÍFICA

Revisión

Optimización topológica para manufactura aditiva: análisis bibliométrico de los criterios de manufacturabilidad en componentes mecánicos

Topological optimization for additive manufacturing: bibliometric analysis of manufacturability criteria in mechanical components

Cristhian Jonathan Fuentes Cabrera [1]*, Wilmer Fabricio Almeida Murillo [2] y Hernán Dario Herrera Contreras [3]

[1] Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Ecuador, Quevedo; https://orcid.org/0009-0000-2300-6227
[2] Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Ecuador, Quevedo; https://orcid.org/0009-0000-6730-1340; walmeidam@uteq.edu.ec
[3] Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias de la Ingeniería Ecuador, Quevedo, https://orcid.org/0009-0003-3811-2796; hherrerac@uteq.edu.ec

* Correspondencia: cfuentesc2@uteq.edu.ec

https://doi.org/10.70881/mcj/v4/n4/187

Cita: Fuentes Cabrera, C. J., Almeida Murillo, W. F., & Herrera Contreras, H. D. (2026). Optimización topológica para manufactura aditiva: análisis bibliométrico de los criterios de manufacturabilidad en componentes mecánicos. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, *4*(4), 114-129. https://doi.org/10.70881/mcj/v4/n4/187

Recibido: 03/10/2026
Revisado: 12/11/2026
Aceptado: 20/11/2026
Publicado: 22/11/2026

Copyright: © 2026 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)**. (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Resumen: La optimización topológica permite desarrollar componentes mecánicos más ligeros y eficientes mediante manufactura aditiva, aunque su fabricación aún presenta desafíos. El estudio analizó las tendencias científicas y los criterios de manufacturabilidad mediante análisis bibliométrico y revisión temática de publicaciones de Scopus (2016–2025). Los resultados evidenciaron un crecimiento de la producción científica, con un máximo de 95 publicaciones en 2025. China lideró la contribución geográfica con 171 registros, seguida de Estados Unidos con 96; por afiliación, Dalian University of Technology destacó con 26 documentos. Los criterios técnicos más recurrentes fueron las restricciones geométricas, el ángulo de sobrecolgado, las estructuras de soporte, la orientación de construcción, el tamaño mínimo de los elementos, la conectividad y el desempeño estructural. Se evidenció que la reducción de soportes y la orientación de impresión condicionan el consumo de material y la viabilidad de fabricación. La manufacturabilidad debe integrarse desde el diseño y validarse experimentalmente.
Palabras clave: Optimización topológica, manufactura aditiva.

Abstract: Topological optimization enables the development of lighter and more efficient mechanical components through additive manufacturing, although their fabrication still presents challenges. This study analyzed scientific trends and manufacturability criteria through bibliometric analysis and a thematic review of Scopus-indexed publications (2016–2025). The results revealed an increase in scientific production, reaching a peak of 95 publications in 2025. China led in geographical contributions with 171 records, followed by the United States with 96; in terms of institutional affiliation, Dalian University of Technology stood out with 26 documents. The most recurrent technical criteria were geometric constraints, overhang angle, support structures, build orientation, minimum feature size, geometric connectivity, and structural performance. The findings showed that reducing support structures and selecting the printing orientation influence material consumption and manufacturing feasibility. Manufacturability should be integrated from the design stage and validated experimentally.
Keywords: Topological optimization, additive manufacturing

1. Introducción

La manufactura aditiva ha ampliado de manera significativa las posibilidades del diseño mecánico al permitir la fabricación de geometrías complejas, configuraciones aligeradas y soluciones estructurales que resultaban difíciles o inviables mediante procesos convencionales (Sánchez y Lira, 2020). En este contexto, Almazán et al. (2021) indica que la optimización topológica se ha consolidado como una de las estrategias computacionales más influyentes para distribuir material de manera eficiente dentro de un dominio de diseño, con el fin de maximizar el desempeño estructural bajo restricciones definidas.

La aplicación en componentes mecánicos ha despertado un interés creciente, particularmente en escenarios donde la reducción de masa, la rigidez específica, la resistencia y la eficiencia funcional constituyen objetivos prioritarios del diseño (Zhu et al., 2021). Según Vadillo et al. (2025) a pesar de ese desarrollo, la convergencia entre optimización topológica y manufactura aditiva no se debe únicamente como una relación entre libertad geométrica y mejora estructural. La literatura, acorde a Colquehuanca (2024) muestra que un diseño óptimo desde el punto de vista mecánico no necesariamente resulta manufacturable de manera directa ni eficiente en términos de impresión, posprocesado o validación funcional.

En la práctica, la fabricación de piezas optimizadas exige considerar restricciones asociadas al proceso, entre ellas el sobreángulo, la necesidad de estructuras de soporte, la orientación de construcción, el espesor mínimo de elementos, la escala característica de la geometría y otros condicionantes incidentes en la viabilidad del diseño final (Camacho et al., 2023). Por ello, el problema no se limita a generar configuraciones estructuralmente eficientes, sino a integrar criterios de manufacturabilidad que permitan trasladar el diseño computacional a componentes fabricables (Liu et al., 2024).

Las contribuciones en este campo han aumentado de forma sostenida, lo que sugiere una consolidación progresiva del área y una expansión de sus aplicaciones, no obstante, ese crecimiento no ha estado acompañado necesariamente por una articulación homogénea de enfoques, conceptos y prioridades analíticas (Mhapsekar et al., 2018). Los estudios difieren en los criterios de manufacturabilidad incorporados, en la forma de integrarlos dentro del modelo de optimización, en las escalas de diseño consideradas, en los procesos de manufactura aditiva analizados y en el grado de validación alcanzado, ya sea numérica, experimental o mediante prototipado (El Khadir y otros, 2023).

Esta dispersión, de acuerdo con Vadillo et al. (2025) dificulta reconocer con precisión cuáles son las tendencias dominantes del campo, qué restricciones reciben mayor atención, qué clústeres temáticos estructuran la producción científica y qué vacíos persisten en la transición desde la optimización geométrica hacia la fabricación efectiva de piezas mecánicas. Acorde a Liu et al. (2024) aunque existen revisiones sobre optimización topológica y otras sobre diseño para manufactura aditiva, sigue siendo necesaria una síntesis específicamente centrada en componentes mecánicos y en los criterios de manufacturabilidad que condicionan su factibilidad tecnológica.

A su vez Jabón et al. (2023) sostiene que esta brecha es relevante desde lo técnico como desde la praxis, pues impide disponer de una visión organizada de la estructura

intelectual del campo, de su evolución temática y de los principales focos de investigación. Así se limita la identificación de enfoques con mayor potencial de transferencia hacia el diseño de piezas imprimibles, funcionales y validadas. En efecto, un estudio bibliométrico con apoyo de revisión sistemática es pertinente para mapear la evolución de la producción científica, examinar la coocurrencia de palabras clave, la co-citación, el acoplamiento bibliográfico y los clústeres temáticos, y relacionar esos patrones con los criterios de manufacturabilidad (Díaz et al., 2024).

Según Bandyopadhyay y Bose (2019) la convergencia entre optimización topológica y manufactura aditiva ha redefinido el diseño estructural al ampliar el espacio geométrico disponible y permitir configuraciones ligeras y de alto desempeño que resultarían difíciles de fabricar mediante procesos convencionales. Giménez (2021) sostiene que la optimización topológica ha sido reconocida como una herramienta más adecuada para explotar la libertad formal de la manufactura aditiva, mientras el enfoque DfAM ha desplazado la atención desde la mera generación de geometrías eficientes hacia la integración explícita de restricciones de proceso desde la etapa conceptual.

Esta transición es relevante porque la manufactura aditiva no elimina las restricciones de fabricación, las sustituye por nuevas exigencias de diseño que deben incorporarse si se pretende obtener piezas realmente fabricables y funcionales (Soto, 2026). Los trabajos de revisión publicados han contribuido decisivamente a ordenar el campo, pero también muestran una amplitud temática que dificulta aislar el problema específico de la manufacturabilidad en piezas mecánicas. Plocher y Panesar (2019) propusieron una lectura conjunta entre DfAM, optimización estructural y estrategias de aligeramiento, subrayando las interdependencias entre diseño, fabricación, economía y digitalización.

Al respecto Zhu et al. (2021) sostuvieron que evidenciaron por ejes: el diseño multiescala y la incorporación de restricciones de manufactura. Más recientemente, Liu et al. (2024) ampliaron esa línea al diferenciar restricciones de manufacturabilidad y restricciones de rasgos estructurales; en efecto Díaz et al. (2024) sostienen que gran parte de la literatura sigue organizada en torno a métodos, familias de restricciones o tipos de estructura, más que alrededor del problema aplicado de cómo convertir diseños optimizados en componentes mecánicos efectivamente imprimibles y transferibles a contexto industrial.

Dentro de las restricciones de manufacturabilidad, el grupo más estudiado corresponde a los criterios geométricos y de proceso asociados con soportes, sobreángulo, longitud característica, tamaño mínimo de elemento y conectividad (Colquehuanca, 2024). La literatura revisada muestra que el control del overhang ha evolucionado desde enfoques orientados a minimizar soportes o seleccionar orientación de fabricación hacia formulaciones más integradas, como proyecciones por densidad, filtros capa por capa, restricciones geométricas explícitas y formulaciones mecánicas basadas en el proceso de deposición (Morretton et al., 2019).

A ello se suman estrategias para controlar escalas mínimas y máximas, evitar vacíos cerrados y mejorar la procesabilidad de la geometría final (Zhu et al., 2021). Sin embargo, este avance metodológico no ha eliminado las tensiones centrales del campo: la reducción de soportes suele restringir el espacio de diseño, puede deteriorar el desempeño estructural y, en varios casos, incrementa la complejidad computacional o introduce problemas de convergencia, especialmente cuando se pretende combinar

múltiples restricciones en problemas tridimensionales de escala relevante (Liu et al., 2024).

Acorde a Anh et al. (2024) la manufacturabilidad no puede reducirse a una sola restricción aislada. Dangal et al. (2023) mostraron que, al incorporar restricciones de manufactura como overhang y tamaño de miembro, la optimización cambia: la orientación de construcción se vuelve decisiva, la conformidad con el proceso reduce de forma importante el volumen de soporte, pero ello suele venir acompañado de aumentos en cumplimiento o esfuerzo equivalente. Camacho et al. (2023) refuerza la idea de que la formulación del problema de optimización en AM comprende un ejercicio de compromiso entre desempeño estructural, volumen, orientación, soporte y factibilidad de impresión, más que una simple extensión de la optimización topológica clásica.

El estado del conocimiento muestra un campo metodológicamente dinámico, con avances claros en restricciones geométricas, filtros de fabricabilidad, orientación de construcción y diseño multiescala, pero todavía fragmentado en términos de aplicación, validación y transferencia hacia componentes mecánicos fabricables (Reinke y Dos Santos, 2026). Las revisiones disponibles han sido fundamentales para mapear métodos y desafíos generales, aunque su amplitud dificulta identificar con precisión qué criterios de manufacturabilidad dominan el diseño de piezas mecánicas, cómo han evolucionado en el tiempo y qué vacíos persisten entre la literatura metodológica y la implementación industrial.

La optimización topológica ha cambiado la forma de concebir los componentes mecánicos, al permitir que su configuración responda a las necesidades específicas de funcionamiento y no únicamente a las formas geométricas tradicionales (Camacho et al., 2023). Sin embargo, las características de una pieza no dependen exclusivamente de la distribución del material, sino también de las condiciones bajo las cuales puede fabricarse. En este sentido, la manufacturabilidad adquiere importancia dentro del diseño mecánico, pues establece la relación entre las características estructurales de una pieza y las posibilidades reales de producirla mediante tecnologías de manufactura aditiva (Almazán et al., 2021).

Esa laguna justifica una revisión bibliométrica y temática centrada específicamente en tendencias, brechas y criterios de manufacturabilidad en la optimización topológica de piezas mecánicas para manufactura aditiva. En atención a lo anterior, este estudio tiene como objetivo analizar, mediante revisión sistemática y bibliometría, las tendencias de investigación, las brechas de conocimiento y los principales criterios de manufacturabilidad abordados en la literatura sobre optimización topológica de componentes para manufactura aditiva.

2. Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló mediante un enfoque documental, con un componente cuantitativo basado en el análisis bibliométrico y otro cualitativo sustentado en la revisión temática de publicaciones científicas. Esta combinación permitió examinar la producción académica relacionada con la optimización topológica para manufactura aditiva, reconocer las principales contribuciones científicas y analizar los criterios de manufacturabilidad considerados en el diseño de componentes mecánicos. Asimismo,

se adoptó un alcance descriptivo, orientado a caracterizar el comportamiento de las publicaciones y los principales aportes científicos en el periodo estudiado.
La búsqueda bibliográfica se realizó en la base de datos Scopus mediante la combinación de términos relacionados con *topology optimization*, *additive manufacturing* y *3D printing*, utilizando operadores booleanos para delimitar los resultados en los campos de título, resumen y palabras clave (TITLE-ABS-KEY). Como resultado de esta búsqueda se identificaron inicialmente 472 registros bibliográficos. Posteriormente, se aplicaron criterios de selección relacionados con el periodo de publicación comprendido entre 2016 y 2025, el tipo de documento y la correspondencia temática con el objeto de estudio. Este proceso permitió reducir los resultados a 50 publicaciones preseleccionadas, de las cuales se revisó el texto completo y se estableció un corpus definitivo de 30 documentos para el análisis (Tabla 1).

Tabla 1

Criterios de inclusión y exclusión de documentos

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículos científicos indexados en Scopus.	Libros, capítulos de libros y documentos de conferencias.
Publicaciones correspondientes al periodo 2016–2025.	Publicaciones anteriores a 2016 o posteriores a 2025.
Investigaciones relacionadas con optimización topológica y manufactura aditiva.	Estudios sobre manufactura aditiva sin relación con optimización topológica.
Trabajos vinculados con diseño estructural y optimización de componentes mecánicos.	Investigaciones centradas exclusivamente en procesos de fabricación sin abordar aspectos de diseño u optimización.
Documentos con información bibliográfica suficiente para el análisis.	Registros duplicados o con información bibliográfica incompleta.

Nota. La selección documental se realizó mediante criterios de pertinencia temática, tipo de publicación y delimitación temporal. Se consideró la relación de los estudios con la optimización topológica y la manufactura aditiva. Elaboración propia.

El análisis bibliométrico se realizó mediante el software Bibliometrix, utilizando la información bibliográfica de los 30 documentos que conformaron el corpus definitivo. Se examinaron indicadores relacionados con la evolución de las publicaciones, la participación de autores, las instituciones y los países, así como las fuentes de publicación, referencias, palabras clave y colaboración científica. Estos indicadores permitieron describir el comportamiento de la producción académica y reconocer las principales líneas de investigación relacionadas con el tema. Este procedimiento permitió unificar denominaciones equivalentes y evitar que las diferencias de escritura generaran registros separados durante la interpretación de los resultados.

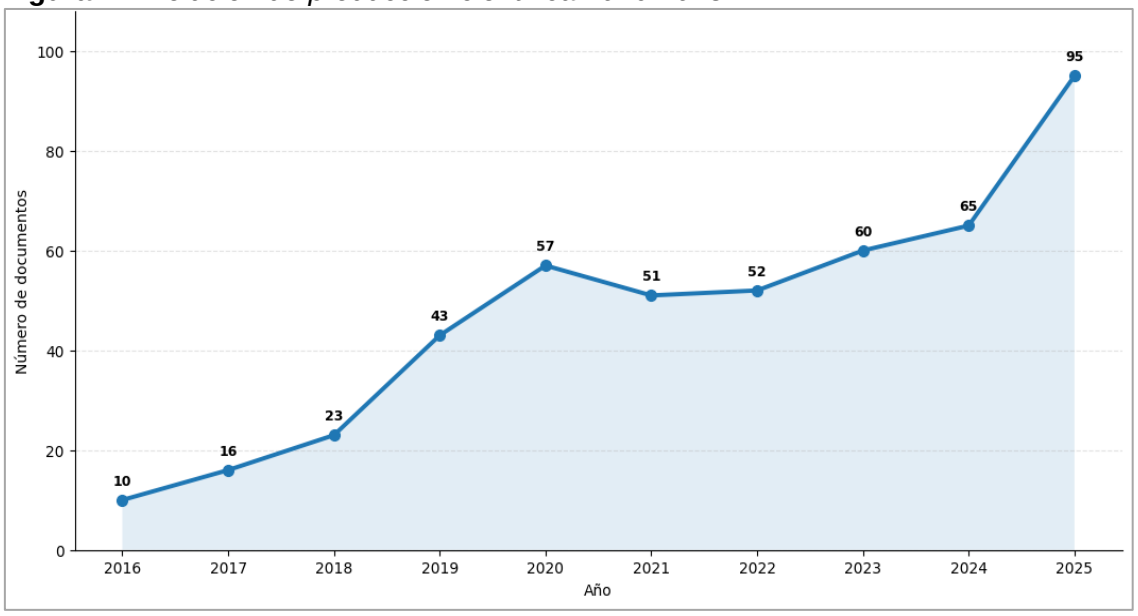
De manera complementaria, se efectuó una revisión temática de los 30 documentos seleccionados mediante la lectura de sus contenidos y la identificación de aspectos relacionados con la manufacturabilidad de componentes mecánicos. Para organizar la información se consideraron criterios como las restricciones geométricas, los ángulos de voladizo, la necesidad de estructuras de soporte, la orientación de construcción, las dimensiones mínimas de los elementos y el desempeño estructural. También se examinó la forma en que los estudios validaron sus propuestas mediante simulaciones, ensayos experimentales o fabricación de prototipos.

3. Resultados

Evolución de las publicaciones

La evolución de las publicaciones, reflejada en la Figura 1 evidencia un crecimiento de la actividad científica relacionada con la optimización topológica aplicada a la manufactura aditiva durante el periodo 2016–2025. En los primeros años, la producción fue relativamente reducida, con 10 documentos en 2016, 16 en 2017 y 23 en 2018; sin embargo, a partir de 2019 se observa un incremento más pronunciado, alcanzando 43 publicaciones y llegando a 57 en 2020. Aunque en 2021 se registra una disminución hasta 51 documentos, la producción mantiene una trayectoria ascendente en los años posteriores, con 52 publicaciones en 2022, 60 en 2023 y 65 en 2024. El valor más alto corresponde a 2025, con 95 documentos, lo que representa el mayor nivel de producción dentro del periodo analizado.

Figura 1. *Evolución de producción científica 2016-2025*



Nota. La figura presenta la evolución anual del número de documentos registrados durante el período 2016-2025. Elaboración propia con base en los datos recopilados

Este comportamiento permite identificar que la optimización topológica para manufactura aditiva ha adquirido una presencia cada vez más importante en la investigación científica, pasando de una etapa inicial de desarrollo a un periodo de mayor actividad académica. El incremento registrado en los últimos años puede relacionarse con el interés por desarrollar componentes que, además de cumplir condiciones de resistencia y eficiencia estructural, puedan fabricarse mediante tecnologías aditivas sin presentar dificultades durante el proceso. En este sentido, el crecimiento de las publicaciones refleja la necesidad de integrar el diseño estructural con criterios de manufacturabilidad, especialmente en aspectos como la orientación de construcción, las restricciones de voladizo y la reducción de estructuras de soporte.

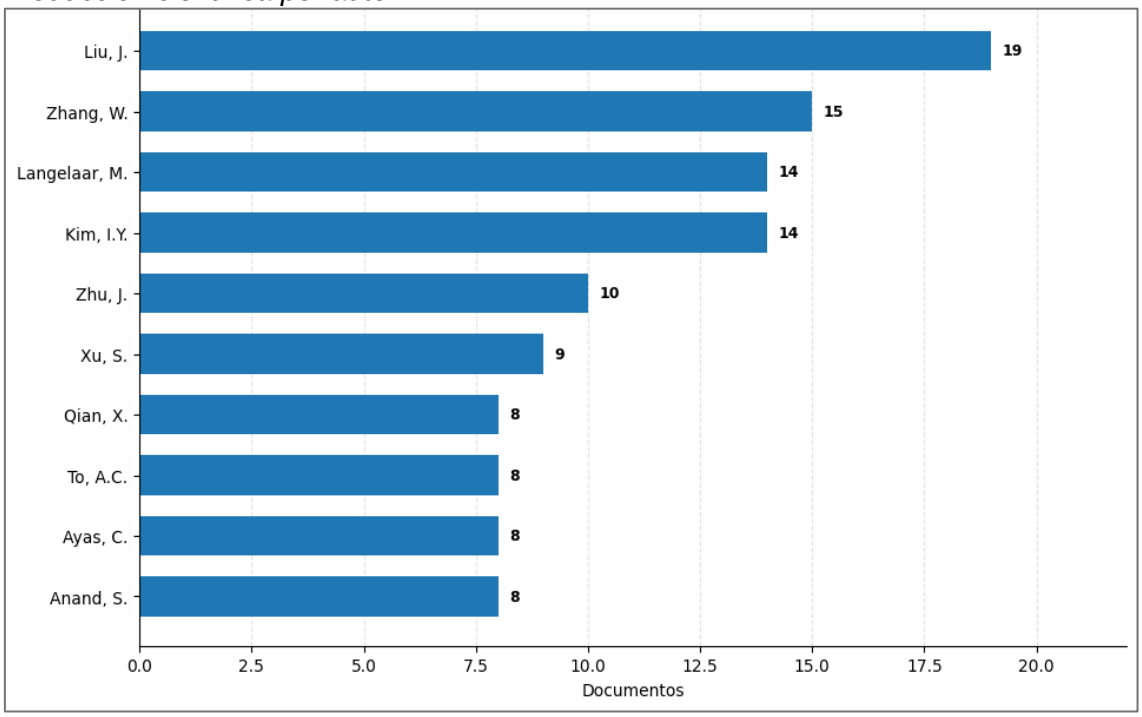
Producción científica por autor

La productividad científica por autor muestra una participación diferenciada entre los investigadores que han contribuido al desarrollo de esta área. Liu, J. ocupa la primera

posición con 19 publicaciones, seguido de Zhang, W., con 15 documentos. Kim, I.Y. y Langelaar, M. registran 14 publicaciones cada uno, mientras que Zhu, J. alcanza 10 y Xu, S. presenta 9 documentos. Por su parte, Anand, S., Ayas, C., Qian, X. y To, A.C. cuentan con 8 publicaciones respectivamente. Estos resultados evidencian que existe un grupo de investigadores con mayor continuidad y presencia en la producción científica, particularmente aquellos que concentran los valores más elevados (Figura 2).

Figura 2

Producción científica por autor



Nota. La figura muestra la evolución de la producción científica sobre optimización topológica aplicada a la manufactura aditiva durante el periodo 2016–2025. Elaboración propia a partir de Scopus.

La participación de estos autores permite reconocer la consolidación de líneas de investigación vinculadas con el desarrollo de modelos de optimización estructural y la incorporación de restricciones propias de la manufactura aditiva. La presencia de Langelaar, por ejemplo, resulta relevante por sus contribuciones al diseño de estructuras autoportantes y al tratamiento de las limitaciones de fabricación dentro de los procesos de optimización. Sin embargo, la distribución también muestra que el conocimiento no depende exclusivamente de un investigador, sino que se desarrolla mediante diferentes aportaciones que abordan problemas específicos del diseño y la fabricación.

Distribución por afiliación

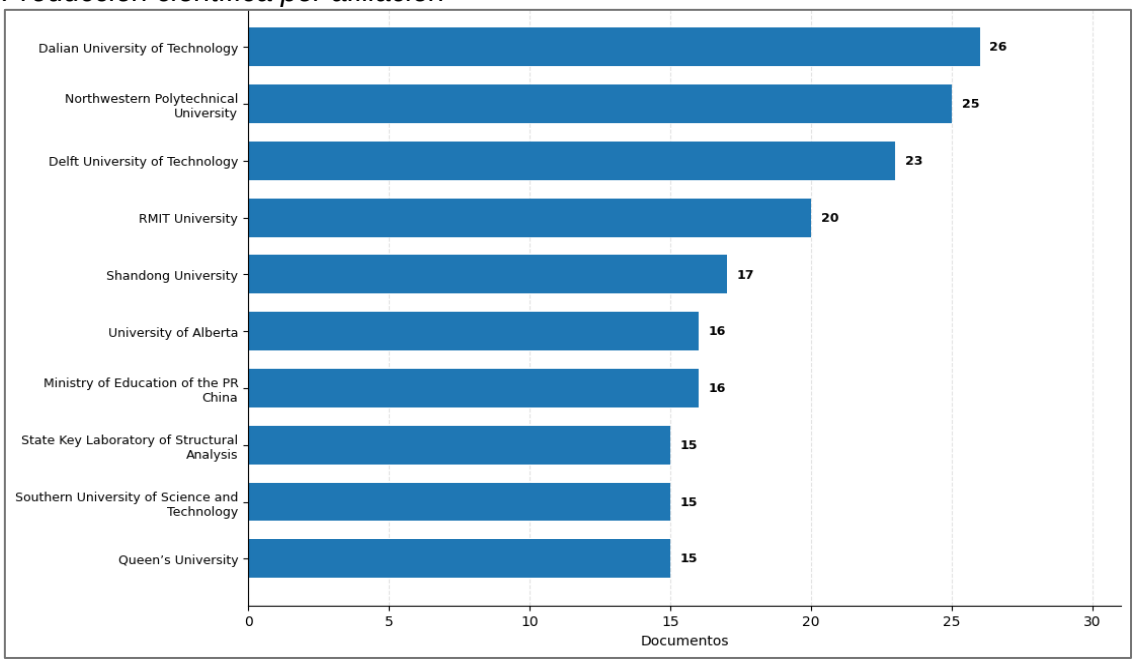
La distribución de publicaciones por afiliación institucional evidencia una mayor participación de determinadas universidades y centros de investigación en el desarrollo de la optimización topológica para manufactura aditiva. Dalian University of Technology ocupa el primer lugar con 26 documentos, seguida de Northwestern Polytechnical University con 25 y Delft University of Technology con 23.

A continuación, se encuentra RMIT University con 20 publicaciones y Shandong University con 17. Otras instituciones, como el Ministry of Education of the People's Republic of China y University of Alberta, registran 16 documentos cada una, mientras

que Queen's University, Southern University of Science and Technology y State Key Laboratory of Structural Analysis presentan 15 publicaciones respectivamente. La cercanía entre algunos valores muestra que, aunque existe una institución con mayor productividad, otras mantienen una participación importante dentro de esta área de investigación (Figura 3).

Figura 3

Producción científica por afiliación



Nota. Elaborado a partir del proceso de revisión bibliográfica en función de la producción por institución de afiliación.

Esta concentración institucional permite identificar que el desarrollo del conocimiento sobre optimización topológica y manufactura aditiva se encuentra respaldado por centros académicos que mantienen una actividad investigativa constante en ingeniería, diseño estructural y tecnologías de fabricación. La presencia destacada de instituciones chinas refleja su importante participación en la producción científica del área, mientras que la intervención de universidades de Países Bajos, Australia y Canadá demuestra que el tema también cuenta con aportaciones de otros entornos académicos.

Esta distribución resulta significativa porque la investigación sobre manufacturabilidad requiere conocimientos relacionados con el comportamiento mecánico de los materiales, los métodos de optimización y las condiciones reales de fabricación, aspectos que favorecen el trabajo especializado y la colaboración entre diferentes grupos de investigación.

Producción científica por país

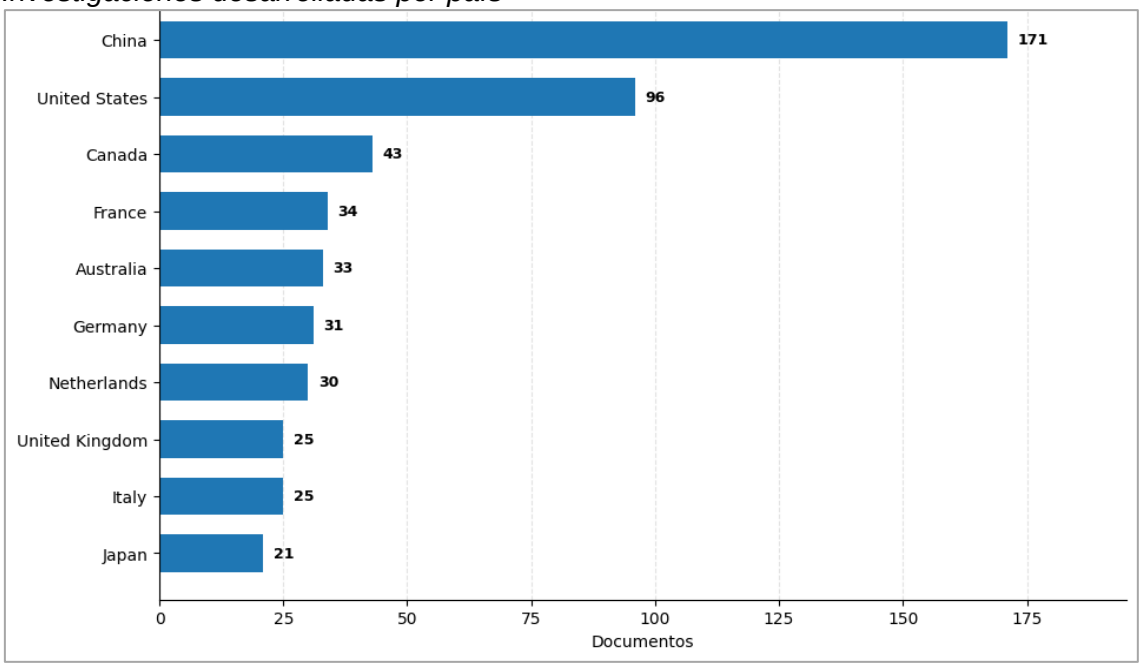
La producción científica por país muestra una marcada concentración geográfica de las investigaciones relacionadas con la optimización topológica para manufactura aditiva. China presenta la mayor participación, con 171 registros, seguida por Estados Unidos con 96, lo que evidencia una diferencia considerable respecto de los demás países.

En un segundo grupo se encuentran Canadá con 43 publicaciones y Francia con 34, mientras que Australia registra 33, Alemania 31 y Países Bajos 30 documentos. Por otra

parte, Italia y Reino Unido presentan 25 registros cada uno, y Japón alcanza 21. Esta distribución permite observar que la producción científica está liderada principalmente por China y Estados Unidos, mientras que otros países mantienen una participación menor, aunque significativa, en el desarrollo del campo (Figura 4).

Figura 4

Investigaciones desarrolladas por país



Nota. Elaborado a partir del proceso de revisión bibliográfica en función de la cantidad de investigaciones por país.

El predominio de China y Estados Unidos refleja la importancia de estos países en la generación de conocimiento sobre tecnologías de fabricación avanzada y optimización estructural. La participación de países europeos, como Francia, Alemania, Países Bajos, Italia y Reino Unido, también evidencia que el tema constituye un área de interés internacional, en la que se investigan alternativas para mejorar el aprovechamiento del material, el desempeño mecánico y las condiciones de fabricación de los componentes. No obstante, los registros por país deben interpretarse considerando que un mismo artículo puede incluir autores de distintas nacionalidades, por lo que las cifras pueden incorporar publicaciones asociadas a más de un territorio.

La revisión de los 30 artículos permitió identificar diferentes criterios técnicos que condicionan la manufacturabilidad de los componentes mecánicos obtenidos mediante optimización topológica. Estos criterios comprenden tanto las características geométricas de las piezas como las condiciones propias del proceso de impresión y la evaluación de su desempeño estructural. La Tabla 2 presenta una síntesis de los principales aspectos identificados y su incidencia en el diseño.

Tabla 2

Síntesis de los criterios de manufacturabilidad identificados en la revisión temática

Criterio analizado	Aspectos identificados en la literatura	Incidencia en el diseño de componentes mecánicos

Restricciones geométricas	Control de la forma, dimensiones y características de las estructuras optimizadas.	Permiten obtener geometrías compatibles con las condiciones de fabricación.
Sobreángulo (*overhang*)	Incorporación de restricciones para controlar las superficies inclinadas y evitar zonas que requieren soporte.	Condiciona la orientación y la posibilidad de fabricar estructuras autoportantes.
Estructuras de soporte	Reducción del material de soporte y aplicación de estrategias para generar geometrías que requieran menos apoyos.	Disminuye el consumo de material y las operaciones posteriores de retirada de soportes.
Orientación de construcción	Selección de la posición de la pieza durante el proceso de impresión.	Influye en la necesidad de soportes, la calidad de fabricación y el comportamiento estructural.
Tamaño mínimo de elemento	Control del espesor, longitud característica y dimensiones mínimas de los componentes.	Evita la generación de elementos que no pueden reproducirse adecuadamente mediante impresión.
Conectividad geométrica	Control de vacíos, continuidad y conexión entre los elementos estructurales.	Favorece la integridad de la geometría y su viabilidad de fabricación.
Desempeño estructural	Evaluación de rigidez, resistencia, cumplimiento y comportamiento mecánico.	Permite valorar si la reducción de material mantiene las condiciones funcionales de la pieza.
Validación de diseños	Uso de simulaciones, ensayos experimentales y fabricación de prototipos.	Permite comprobar la correspondencia entre los resultados computacionales y el comportamiento real.

Nota. Elaboración propia a partir de la revisión temática de los documentos seleccionados.

Los resultados muestran que la manufacturabilidad depende de la relación entre las características geométricas y las condiciones del proceso de impresión. El control del sobreángulo, la orientación de construcción y la reducción de soportes concentran buena parte de las decisiones relacionadas con la viabilidad de fabricación. A su vez, el tamaño mínimo de los elementos y la conectividad condicionan la configuración final de las piezas. Se observa también que la validación mediante simulaciones, experimentos o prototipos permite comprobar si las soluciones obtenidas computacionalmente responden a las condiciones de funcionamiento previstas.

4. Discusión

Los resultados bibliométricos permiten reconocer que la optimización topológica aplicada a la manufactura aditiva ha experimentado un crecimiento progresivo y una mayor especialización durante el periodo 2016–2025. El incremento de publicaciones, especialmente en los últimos años, refleja que el interés científico ya no se concentra únicamente en obtener geometrías con menor cantidad de material o mejores condiciones estructurales, sino también en resolver las dificultades que aparecen cuando esos diseños se trasladan al proceso de fabricación.

Esta evolución coincide con lo planteado por Plocher y Panesar (2019) y Zhu et al. (2021), quienes destacan la relación entre optimización estructural, diseño para manufactura aditiva y desempeño de los componentes. Es decir que, el crecimiento de la producción científica no representa solamente un aumento de publicaciones, sino también una ampliación de los problemas técnicos que se consideran durante el diseño.

La concentración de publicaciones por autor e institución permite observar que el desarrollo de esta área se apoya en grupos de investigación con una participación sostenida.

La presencia de autores como Liu, J. y Langelaar, M., así como de instituciones como Dalian University of Technology y Northwestern Polytechnical University, evidencia la importancia de determinados núcleos académicos en la generación de conocimiento. Sin embargo, esta concentración no significa que el campo se encuentre limitado a una sola línea de trabajo; por el contrario, los estudios abordan diferentes dificultades relacionadas con la geometría, las restricciones de fabricación y el comportamiento mecánico. Esta diversidad coincide con la revisión de Liu et al. (2024), que organiza los avances del área en torno a restricciones de manufacturabilidad y características estructurales, mostrando que la optimización topológica comprende problemas que requieren soluciones específicas y complementarias.

En cuanto a la distribución geográfica, el predominio de China y Estados Unidos muestra que una parte importante de la producción científica se concentra en países con una participación destacada en investigación sobre ingeniería y tecnologías de fabricación. La presencia de instituciones chinas entre las afiliaciones con mayor productividad refuerza esta tendencia y permite relacionar los resultados institucionales con los registros por país. No obstante, la participación de Canadá, Francia, Australia, Alemania y Países Bajos demuestra que el desarrollo del tema también cuenta con aportaciones de otros contextos académicos.

Estos resultados deben interpretarse considerando que los artículos pueden tener autores de diferentes países, por lo que los registros geográficos no necesariamente representan publicaciones exclusivas de cada territorio, sino la participación de sus investigadores en la producción científica. Se identificó que los criterios de manufacturabilidad se han convertido en condiciones necesarias para que los resultados de la optimización puedan materializarse. El control del sobreángulo, la reducción de estructuras de soporte, la orientación de construcción, el tamaño mínimo de los elementos y la conectividad geométrica aparecen como aspectos que condicionan la forma final de las piezas.

Esta tendencia guarda relación con los planteamientos de Langelaar (2016), quien abordó el diseño de estructuras autoportantes, y de Bi et al. (2020), que incorporaron restricciones geométricas de autosustentación en la optimización de estructuras tridimensionales. De igual manera, Wu y Xiao (2022) profundizaron en el diseño de estructuras autoportantes, lo que evidencia que la viabilidad de impresión debe considerarse desde la formulación del modelo y no únicamente después de obtener la geometría optimizada.

La importancia de estos criterios radica en que una pieza puede presentar un comportamiento estructural favorable durante la simulación y, aun así, generar dificultades durante su fabricación. La necesidad de soportes, las limitaciones de orientación o la presencia de elementos demasiado pequeños pueden incrementar el material utilizado, el tiempo de impresión y las operaciones posteriores de acabado. En este sentido, los resultados respaldan lo señalado por Liu et al. (2024), quienes distinguen las restricciones propias de la manufacturabilidad de aquellas relacionadas con las características estructurales del diseño.

También coinciden con El Khadir et al. (2023), al mostrar que los métodos de optimización difieren en las restricciones incorporadas y en la manera de integrarlas al proceso de diseño. Por tanto, no basta con que un modelo reduzca el peso o mejore la distribución de esfuerzos; su utilidad depende de que las condiciones de fabricación sean compatibles con la geometría obtenida.

Una brecha importante se encuentra en la distancia que todavía existe entre los resultados computacionales y la fabricación efectiva de componentes mecánicos. Aunque las investigaciones han avanzado en la incorporación de restricciones geométricas y de proceso, no todos los estudios alcanzan el mismo nivel de comprobación mediante experimentación, fabricación de prototipos o evaluación funcional.

Esta situación limita la posibilidad de determinar hasta qué punto las mejoras obtenidas mediante optimización se mantienen cuando las piezas son fabricadas y sometidas a condiciones reales de funcionamiento. Como señalan Plocher y Panesar (2019), el diseño para manufactura aditiva requiere considerar de manera conjunta el desempeño, la fabricación y otros factores asociados a la aplicación del componente. Por ello, la validación experimental constituye un aspecto que necesita mayor atención para fortalecer la transferencia de los modelos de optimización hacia entornos industriales.

En esencia, los resultados permiten sostener que la investigación sobre optimización topológica para manufactura aditiva se encuentra en una etapa de expansión y especialización, en la que la manufacturabilidad ha adquirido un papel central. Sin embargo, el crecimiento de las publicaciones y la diversidad de criterios abordados no eliminan la necesidad de desarrollar enfoques que relacionen de manera más integrada la geometría optimizada, las condiciones del proceso de impresión y el desempeño mecánico de las piezas.

En correspondencia con el objetivo del estudio, la revisión bibliométrica permitió reconocer los principales núcleos de producción científica, mientras que el análisis temático permitió identificar los criterios técnicos recurrentes y las limitaciones que todavía requieren investigación. Así, el aporte del estudio consiste en mostrar que la optimización de componentes mecánicos no debe valorarse únicamente por la eficiencia estructural alcanzada, sino también por su posibilidad de fabricación, validación y aplicación funcional.

5. Conclusiones

El estudio permitió analizar, mediante revisión de literatura y bibliometría, la evolución de la producción científica sobre optimización topológica para manufactura aditiva y ubicar sus principales núcleos de autoría, afiliación y procedencia geográfica. En ese marco, el estudio mostró que el campo ha experimentado una expansión sostenida durante el periodo examinado, con una concentración visible de la producción en determinados autores, instituciones y países, particularmente en China y en universidades con trayectoria consolidada en diseño estructural y restricciones de manufacturabilidad.

El aporte central del trabajo consiste en ofrecer una visión estructurada del desarrollo reciente del área, no solo en términos de crecimiento documental, sino también respecto de la configuración de sus principales actores académicos. Esta caracterización permitió

reconocer que la investigación sobre optimización topológica aplicada a manufactura aditiva se ha desplazado hacia una fase de mayor especialización, en la que la manufacturabilidad ocupa un lugar cada vez más relevante dentro del campo, aunque el corpus recuperado incluye también literatura más amplia sobre diseño y optimización para AM.

El alcance de estos hallazgos debe entenderse a la luz de dos límites del estudio: el uso exclusivo de Scopus como fuente documental y la amplitud de la ecuación de búsqueda, que favoreció una cobertura panorámica del tema, pero no restringió de forma estricta la recuperación a estudios centrados únicamente en criterios de manufacturabilidad. En consecuencia, futuras investigaciones podrían emplear estrategias de búsqueda más focalizadas para delimitar con mayor precisión la literatura dedicada a sobreángulo, soportes, orientación de impresión, tamaño mínimo de elemento y validación de piezas mecánicas fabricables. Dentro de esos márgenes, el estudio aporta una base útil para comprender la estructura actual del campo y orientar revisiones posteriores con mayor especificidad temática.

Contribución de los autores: Conceptualización, CJFC.; metodología, WFAM.; software, HDHC.; validación, CJFC.; análisis formal, CJFC.; investigación, WFAM recursos, WFAM; redacción del borrador original, WFAM; redacción, revisión y edición, CJFC.; visualización, CJFC Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento: Esta investigación no tuvo financiación externa.

Declaración de disponibilidad de datos: Los datos están disponibles previa solicitud a los autores de correspondencia: cfuentesc2@uteq.edu.ec

Conflicto de Intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias Bibliográficas

Almazán, J., Lopez, A., Moya, J., & Latorre, C. (2021). Optimización topológica estructural aplicada en ingeniería mecánica. Técnica Industrial, 330(2), 106 - 118. https://doi.org/https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/121/7685/a7685.pdf

Anh, N., Quynh, N., & TT Tung. (2024). Estudio sobre el diseño de optimización topológica para la fabricación aditiva. Eng. Technol. Appl. Sci. Res, 14(3), 14437-14441 . https://doi.org/https://doi.org/10.48084/etasr.7220

Bandyopadhyay, A., & Bose, S. (2019). Fabricación aditiva. Prensa CRC. https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9780429466236

Bender, D., & Barari, A. (2023). Using 3D Density-Gradient Vectors in Evolutionary Topology Optimization to Find the Build Direction for Additive Manufacturing. Journal of Manufacturing and Materials Processing., 7(1). https://doi.org/https://doi.org/10.3390/jmmp7010046

Bi, M., Tran, P., & Xie, Y. M. (2020). Topology optimization of 3D continuum structures under geometric self-supporting constraint. Additive Manufacturing, 36(1). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101422

Camacho, M., Banchón, S., Barcia, K., & Allauca, M. (2023). Aplicación de la teoría de restricciones en un proceso productivo con enfoque a la industria 4.0. Reciamuc, 7(2), 2588-0748. https://doi.org/https://reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/1114

Colquehuanca, C. (2024). Optimización topológica en el diseño mecánico. Revista Industrial 4.0, 5(8), 1-23. https://industrial.umsa.bo/documents/3265709/9501753/68.pdf/5224c862-615b-a342-5c75-88c514ea4c43

Dangal, B., Boppana, H., & Jung, S. (2024). Optimización topológica para la fabricación aditiva de metales: efecto de la orientación de construcción y la restricción de voladizo. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.1007567

Díaz, M., Román, R., Ruíz, S., Hernández, N., & González, V. (2024). La manufactura aditiva como elemento imprescindible de la industria 4.0 en beneficio de la ingeniería: un análisis bibliométrico. Ciencia y tecnología / Science and technology, 47(1). https://doi.org/https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n47.7153

El Khadir, I., Zemzami, M., Quy Nguyen, N., Abouelmajd, M., & Hmina, N. (2023). Topology optimization methods for additive manufacturing: a review. Int. J. Simul. Multidisci. Des. Optim, 14(12), 1-16. https://doi.org/https://doi.org/10.1051/smdo/2023015

Feng, Y., & Yamada, T. (2024). Multi-material topology optimization for additive manufacturing considering maximum build volume and assembly process. Engineering Analysis with Boundary Elements, 163(1), 616-640. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enganabound.2024.04.007

Fiuk, G., & Mrzygłód, M. (2020). Topology optimization of structures with stress and additive manufacturing constraints. . Journal of Theoretical and Applied Mechanics , 58(2), 460 -470. https://doi.org/https://doi.org/10.15632/jtam-pl/118899

Fritz, K., & Kim, I. (2020). Simultaneous topology and build orientation optimization for minimization of additive manufacturing cost and time. . International Journal for Numerical Methods in Engineering, 121(1), 3442–3481. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/nme.6366

Giménez, H. (2021). Optimización topológica como medio de generación de ideas para el diseño de producto. Universidad Politécnica de Valencia. https://riunet.upv.es/bitstreams/42ab48d5-cd1e-4620-acbb-3b0562968884/download

Jabón, J., Corbera, S., Barea, R., & Martín, J. (2023). An EvolutiveDeformation approach to enhance self-supporting areas in Additive Manufacturing designs. Computers and Industrial Engineering., 182(1). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109386

Kongprasert, N., & Nguyen, D. (2025). Driving Innovation In Product Design: Integrating Additive Manufacturing And Topology Optimization Techniques. Journal of Applied Science and Engineering, 28(1). https://doi.org/https://doi.org/10.6180/jase.202501_28(1).0006

Langelaar, M. (2016). Topology optimization of 3D self-supporting structures for . Additive Manufacturing., 12(1), 60-70. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.06.010

Liu, S., Li, Q. H., Chen, W., Zhang, Y., Luo, Y., & Wang, Q. (2024). A Survey of Topology Optimization Methods Considering Manufacturable Structural Feature Constraints for Additive Manufacturing Structures. Additive Manufacturing Frontiers, 3(1), 1-22. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.amf.2024.200143

Mhapsekar, K., McConaha, M., & Anand, S. (2018). Additive Manufacturing Constraints in Topology Optimization for Improved Manufacturability. Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME, 140(5), 1-16. https://doi.org/https://doi.org/10.1115/1.4039198

Morretton, E., Vignat, F., Pourroy, F., & Marin, P. (2019). Impacts of the settings in a design for additive manufacturing process based on topological optimization. . International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 13(1). https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12008-018-00524-9

Olsen, J., & Kim, I. Y. (2020). Design for additive manufacturing: 3D simultaneous.

Panesar, A., Abdi, M., Hickman, D., & Ashcroft, I. (2018). Strategies for functionally graded lattice structures derived using topology optimisation for Additive Manufacturing. Additive Manufacturing, 19(1), 81-94. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.11.008

Plocher, J., & Ajit, P. (2019). Revisión sobre el diseño y la optimización estructural en la fabricación aditiva: Hacia estructuras ligeras de próxima generación. Materials and Desing, 183(1), 1-20. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108164

Reinke, G., & Dos Santos, A. (2026). Una revisión sistemática y un marco unificado para el diseño en la fabricación aditiva (DfAM). Int J Adv Manuf Techno, 143(1), 4507–4535. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00170-026-17632-6

Ryan, L., & Kim, I. (2019). A multiobjective topology optimization approach for cost and time minimization in additive manufacturing. . International Journal for Numerical Methods in Engineering, 118(1), 371–394. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/nme.6017

Sánchez, N., & Lira, I. (2020). La manufactura aditiva como potenciador de los sistemas productivos. Invemtum Corporación Universitaria Minuto de Dios, 15(28), 104–112. https://doi.org/https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.15.28.2020.104-112

Soto, A. (2026). Influencia de la manufactura aditiva en la eficiencia. Multidisciplinary Journal of Sciences, 3(4). https://doi.org/https://doi.org/10.63969/7p1qkv84

Tong, W., Wu, J., & Weng, Y. (2025). Topology optimization to eliminate cavities and internal supports in AM-produced formwork for functional structure fabrication. Structural and Multidisciplinary Optimization, 68(76), 1-23. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00158-02504002-1

Vadillo, A., Meneses, J., Bustos, A., & Castejón, C. (2025). Optimización topológica orientada a fabricación aditiva usando una estrategia de convergencia robusta. Aplicación al diseño de motocicleta. Libro de Actas del XXV Congreso Nacional

de Ingeniería Mecánica, 1(1), 1-15. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10452606

Wu, Z., & Xiao, R. (2022). A topology optimization approach to structure design with self-supporting constraints in additive manufacturing. . Journal of Computational Design and Engineering, 9(2), 364–379. https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jcde/qwac004

Zhang, K., & Cheng, G. (2022). Structural topology optimization with four additive manufacturing constraints by two-phase self-supporting design. . Structural and Multidisciplinary Optimization., 1(1). https://doi.org/ https://doi.org/10.1007/s00158-022-03366-y

Zhu, J., Zhou, H., Wang, C., Zhou, L., Yuan, S., & Zhang, W. (2021). A review of topology optimization for additive manufacturing: Status and challenges. . Chinese Journal of Aeronautics, 34(1), 91-110. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.09.020