

Bibliometría de la simulación por elementos finitos en Latinoamérica y su aplicación en ingeniería mecánica (2000–2025)

Bibliometrics of finite element simulation in Latin America and its application in mechanical engineering (2000–2025)

Joel Lliguay-Calderon¹ , Katherine Castillo-Castillo² , Carlos Ulcuango-Moreno³ , Daniela Moreira-Macias⁴ , Nexar Barreto-Anchundia⁵ 

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, joel.lliguay@esPOCH.edu.ec, Riobamba - Ecuador

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, katherine.castillo@esPOCH.edu.ec, Riobamba - Ecuador

³ Instituto Superior Tecnológico La Maná, culcuango@istlamana.edu.ec, La Maná - Ecuador

⁴ Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, mariamoreira@itscv.edu.ec, Pueblo Viejo - Ecuador

⁵ Investigador Independiente, nexarbarretoanchundia@gmail.com, Quevedo - Ecuador

Autor para correspondencia: joel.lliguay@esPOCH.edu.ec

RESUMEN

Este estudio presenta un análisis bibliométrico de artículos indexados en Scopus sobre el uso de FEM/FEA y CFD en ingeniería mecánica (2000–2025). Se recuperaron 1.869 artículos (consulta: 31/10/2025) y, a partir de sus metadatos, se estimaron indicadores de productividad, concentración de fuentes (Ley de Bradford), colaboración científica y estructura conceptual mediante bibliometrix y VOSviewer. Además, se identificó un subconjunto con al menos una afiliación institucional en países de Latinoamérica (n=44) para caracterizar la contribución regional. En el corpus global se observa crecimiento hasta 2013 (pico anual=217) y una disminución posterior, con estabilización en niveles bajos (2025 es un año parcial). La producción latinoamericana se concentra en Brasil, México y Argentina, con colaboración mayormente extrarregional. El mapeo temático muestra un núcleo en mecánica de sólidos/termoestructural y líneas emergentes en biomecánica y educación en ingeniería. La minería de texto sugiere predominio de suites comerciales (p. ej., ANSYS y ABAQUS) en el corpus global y escaso reporte explícito en el subconjunto regional, lo que apunta a subregistro en metadatos.

Palabras clave: Simulación numérica; FEA; CFD; Ingeniería mecánica; Producción científica.

ABSTRACT

This study presents a bibliometric analysis of articles indexed in Scopus on the use of FEM/FEA and CFD in mechanical engineering (2000–2025). A total of 1,869 articles were retrieved (query: 10/31/2025) and, based on their metadata, indicators of productivity, source concentration (Bradford's Law), scientific collaboration, and conceptual structure were estimated using Bibliometrix and VOSviewer. In addition, a subset with at least one institutional affiliation in Latin American countries (n=44) was identified to characterize the regional contribution. The global corpus shows growth until 2013 (annual peak=217) and a subsequent decline, stabilizing at low levels (2025 is a partial year). Latin American production is concentrated in Brazil, Mexico, and Argentina, with mostly extra-regional collaboration. Thematic mapping shows a core in solid mechanics/thermo-structural mechanics and emerging lines in biomechanics and engineering education. Text mining suggests a predominance of commercial suites (e.g., ANSYS and ABAQUS) in the global corpus and scarce explicit reporting in the regional subset, pointing to underreporting in metadata.

Keywords: Numerical simulation; FEA; CFD; Mechanical engineering; Scientific production.

Derechos de Autor

Los originales publicados en las ediciones electrónicas bajo derechos de primera publicación de la revista son del Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui, por ello, es necesario citar la procedencia en cualquier reproducción parcial o total. Todos los contenidos de la revista electrónica se distribuyen bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-4.0 Internacional](#).



Citar como:

Lliguay Calderon, J. E., Castillo Castillo, K., Ulcuango Moreno, C., Moreira Macias, D., & Barreto Anchundia, N. Bibliometría de la simulación por elementos finitos en Latinoamérica y su aplicación en ingeniería mecánica (2000–2025). *CONECTIVIDAD*, 7(2), e448. <https://doi.org/10.37431/conectividad.v7i2.448>

1. INTRODUCCIÓN

La simulación computacional se ha consolidado como el tercer pilar de la ingeniería al complementar los enfoques teórico y experimental, con el Análisis por Elementos Finitos (FEA) y la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) como núcleos metodológicos capaces de predecir el comportamiento de sistemas físicos complejos y reducir la dependencia de prototipos costosos (Chowdhury, 2024; Liu et al., 2021). La expansión del mercado de software especializado, impulsada por sectores aeroespacial, automotriz, energético, biomédico y de manufactura avanzada, coevoluciona con la integración de inteligencia artificial, gemelos digitales y análisis multifísico acoplado, lo que exige actualización permanente de competencias profesionales y promueve ciclos de diseño más cortos y decisiones basadas en evidencia (Lu et al., 2022; Mordor Intelligence, 2024; Rahman et al., 2025). Este marco internacional de alta fidelidad numérica y automatización del flujo de trabajo configura un terreno fértil para que la simulación amplíe su impacto en productividad, seguridad y sostenibilidad a través de la optimización paramétrica, la sensibilidad de diseños y la validación cruzada con datos experimentales, manteniendo criterios de verificación y validación adecuados a cada dominio de aplicación (Chowdhury, 2024).

En Latinoamérica, la adopción de CAE muestra crecimiento sostenido pero heterogéneo, con Brasil, México y Argentina como polos históricos de producción científica, y con brechas en infraestructura de cómputo de alto rendimiento, capital humano especializado y articulación academia-industria-Estado que condicionan la transferencia tecnológica (Elango & Rajendran, 2018; Guzmán-Rojas et al., 2021). Informes sectoriales señalan oportunidades y límites en el acceso a licencias propietarias y servicios en la nube, a la vez que subrayan el avance de mercados nacionales en petróleo y gas, minería y manufactura, donde la simulación apoya decisiones de diseño y operación (Cognitive Market Research, 2024). La disponibilidad de plataformas FEA en la nube habilita ejecuciones remotas agnósticas de software con precisión adecuada para ingeniería, mientras los modelos de orden reducido y la co-simulación facilitan respuestas en tiempo casi real y estabilidad numérica en sistemas con no linealidades y acoplamientos complejos (Aguado et al., 2017; Rahikainen et al., 2020; Zhu et al., 2021).

En el dominio específico de la ingeniería mecánica regional, FEA y CFD se han vuelto

prácticas estándar para integridad estructural, aerodinámica vehicular, transferencia de calor en intercambiadores y análisis de turbomáquinas, con exigencias de selección cuidadosa de modelos constitutivos, condiciones de contorno y estrategias de validación experimental para asegurar confiabilidad y reproducibilidad (Chowdhury, 2024; Khan et al., 2023). La incorporación de gemelos digitales, marcos multifísicos y plataformas híbridas que combinan métodos de elementos finitos y discretos refuerza la capacidad para abordar fenómenos acoplados en dominios como petróleo y gas, minería e ingeniería estructural, ampliando la cobertura de escenarios operativos y la robustez de los resultados (Barabinot et al., 2021; Knight et al., 2020). En paralelo, la normalización de flujos CAE y la gestión de datos experimentales y numéricos convergen hacia cadenas de valor digitales que sostienen decisiones de diseño y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida del activo (Rahikainen et al., 2020).

La literatura reciente combina avances metodológicos en CFD y FEA con el crecimiento de estudios bibliométricos que mapean estructuras intelectuales, evolución temática y rendimiento de comunidades científicas, mostrando la utilidad de estas técnicas para orientar agendas de investigación y formación (Chowdhury, 2024; Mamun et al., 2021; Mancilla et al., 2022; Roslan et al., 2022). Existen panoramas sobre países y bloques como BRIC y análisis nacionales que evidencian capacidad instalada y retos de internacionalización, pero falta una caracterización integral que sitúe a Latinoamérica en el cruce FEA/CFD e ingeniería mecánica durante las dos últimas décadas (Elango & Rajendran, 2018; Guzmán-Rojas et al., 2021). Incluso dominios vecinos como odontología o física aplicada aportan lecciones metodológicas mediante análisis bibliométricos, aunque no sustituyen la necesidad de un enfoque regional específico en mecánica, donde persisten vacíos sobre tendencias de adopción de software y focos temáticos. En el plano aplicado, la literatura documenta el uso de FEM/FEA para evaluar integridad estructural, procesos de manufactura y diseño de componentes, así como su incorporación en la formación de ingenieros mediante actividades de modelado y simulación orientadas al desarrollo de competencias de análisis y diseño. En este marco, se reportan aplicaciones en infraestructura y sismorresistencia (Losa et al., 2022), optimización de procesos metalúrgicos (Montemayor-de la Garza et al., 2022), diseño de componentes para energía eólica (Colín-Martínez et al., 2020) y validación de esfuerzos en componentes mediante herramientas CAE en contextos formativos

y profesionales (Montijo Valenzuela & Martínez Rubio, 2021). Asimismo, se ha descrito el uso de estrategias didácticas basadas en simulación para fortalecer aprendizajes en ingeniería mecánica (Oliveira et al., 2022; Suñer Martínez & Carballeira Morado, 2023).

Aunque estos trabajos evidencian diversidad de aplicaciones y un avance sostenido de capacidades, persiste un vacío de síntesis cuantitativa que permita (i) dimensionar la contribución de Latinoamérica al campo global FEA/CFD en ingeniería mecánica, (ii) caracterizar con criterios reproducibles la estructura de colaboración (intra y extrarregional), (iii) identificar clústeres temáticos consolidados y trayectorias emergentes, y (iv) describir, desde metadatos, patrones de reporte de herramientas de simulación. La evidencia bibliométrica disponible suele concentrarse en agregados de países (p. ej., BRIC) o análisis nacionales (Elango & Rajendran, 2018; Guzmán-Rojas et al., 2021), o bien en dominios adyacentes como educación en ingeniería o mapeos generales de métodos computacionales (Mamun et al., 2021; Mancilla et al., 2022), lo que no sustituye un diagnóstico regional específico para la intersección FEA/CFD en ingeniería mecánica.

Diferentes vacíos justifican un estudio con contribución multidimensional. En el plano científico, un mapa cuantitativo de la producción regional en FEA/CFD permite identificar redes de colaboración, clústeres temáticos y trayectorias emergentes; en lo tecnológico y económico, el seguimiento de la mención de software aclara patrones de adopción y necesidades de capacidades; en educación, informa el rediseño curricular para alinear competencias con demandas del sector productivo; y en política pública, ofrece insumos empíricos para priorizar inversiones y mecanismos de transferencia. La convergencia con la transición energética y la digitalización industrial potencia beneficios ambientales y de eficiencia, mientras evidencias de crecimiento en subcampos energéticos sugieren oportunidades para ampliar el alcance regional de aplicaciones de simulación en manufactura y procesos (International Energy Agency, 2023; Li & Zhang, 2025).

El marco conceptual se apoya en definiciones operativas de FEA como método de discretización de dominios continuos para resolver ecuaciones diferenciales parciales y de CFD como conjunto de algoritmos numéricos para resolver las ecuaciones de Navier–Stokes en flujos, junto con la bibliometría como disciplina que cuantifica producción, impacto y relaciones estructurales de

campos científicos (Chowdhury, 2024; Liu et al., 2021; Roslan et al., 2022). Teóricamente, se adopta la perspectiva de la difusión de innovaciones para interpretar la adopción tecnológica en contextos institucionales latinoamericanos, atendiendo a atributos como ventaja relativa y compatibilidad, lo que permite enmarcar diferencias entre sectores y países y anticipar trayectorias de consolidación (Rogers, 2003). Bajo estos supuestos, la producción indexada en bases con alta cobertura se considera un indicador representativo de actividad formal y especialización temática a nivel regional.

El problema central es la ausencia de una caracterización bibliométrica sistemática y de alcance regional sobre FEA/CFD aplicados a la ingeniería mecánica en Latinoamérica para 2000–2025, que impide comprender la evolución temporal, los patrones de colaboración y las preferencias tecnológicas. Se formulan preguntas sobre la dinámica anual de publicaciones, los países, instituciones y autores más productivos, la estructura conceptual a partir de co-ocurrencias de palabras clave, y la frecuencia de mención de software en artículos para inferir tendencias de adopción. Estas preguntas orientan la identificación de capacidades, brechas y oportunidades de cooperación, y articulan un diagnóstico útil para comunidades académicas e industriales que buscan alinear investigación, formación y demanda tecnológica regional.

En consecuencia, el objetivo general es analizar bibliométricamente la producción científica sobre FEA y CFD en ingeniería mecánica en Latinoamérica durante 2000–2025 para identificar tendencias de investigación, estructura de colaboración y patrones de adopción de software. Los objetivos específicos consideran cuantificar la evolución anual y caracterizar fuentes de publicación, mapear países, instituciones y autores y sus redes de coautoría, determinar la estructura conceptual mediante co-ocurrencias y rastrear menciones de herramientas de simulación en los registros. Con este itinerario se busca integrar un panorama replicable que describa el estado del campo y fundamente decisiones de inversión, capacitación y política científica con base en evidencias comparables en el tiempo y entre subdominios.

El alcance temático se delimita a artículos indexados en Scopus (2000–2025) que aborden FEM/FEA y/o CFD en el contexto de la ingeniería mecánica y áreas directamente afines. El análisis se realiza en dos niveles: (i) un corpus global, utilizado para describir la dinámica general del campo y su concentración de fuentes; y (ii) un subconjunto latinoamericano, definido por

la presencia de al menos una afiliación institucional en países de Latinoamérica, empleado para sustentar inferencias regionales de productividad y colaboración. Metodológicamente, se trabaja con metadatos bibliográficos (título, resumen, palabras clave, autores, afiliaciones, fuentes y referencias) recuperados de Scopus para asegurar consistencia y replicabilidad; no se infiere adopción industrial a partir de menciones bibliográficas, y cualquier interpretación explicativa (p. ej., financiamiento o política científica) se plantea como hipótesis contextual que requiere evidencia externa. El enfoque metodológico es cuantitativo y se basa en análisis bibliométrico con una ecuación de búsqueda avanzada en Scopus, depuración de duplicados y normalización de campos, cálculo de indicadores de productividad e impacto, y construcción de redes de coautoría, citación y co-ocurrencia de términos. Se utilizarán herramientas como VOSviewer para la visualización de mapas y clústeres y el paquete Bibliometrix en R para análisis estadístico y de rendimiento, garantizando trazabilidad de decisiones y reproducibilidad de resultados. Dado que se emplean datos públicos de publicaciones, no se involucran sujetos humanos ni se requiere consentimiento informado, y no se declaran conflictos de interés ni financiamiento externo, manteniéndose el respeto a derechos de autor y condiciones de uso de la base.

La organización del manuscrito comprende esta introducción, una sección de Metodología con el diseño de búsqueda y los indicadores aplicados, una sección de Resultados con hallazgos cuantitativos y visualizaciones que responden a las preguntas planteadas, una Discusión que interpreta los resultados ante la literatura y el contexto regional, y unas Conclusiones que sintetizan aportes, limitaciones y líneas futuras, incluyendo recomendaciones para fortalecer capacidades, cerrar brechas y promover la adopción estratégica de FEA/CFD en la ingeniería mecánica latinoamericana.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio bibliométrico cuantitativo, descriptivo y retrospectivo basado en metadatos de publicaciones científicas. El procedimiento siguió un flujo de selección y depuración replicable (tipo PRISMA adaptado a bibliometría), que incluyó: recuperación del corpus en Scopus mediante ecuación avanzada; depuración de registros y estandarización de campos; cálculo de indicadores de rendimiento (producción anual, fuentes, países e instituciones) y construcción

de redes (coautoría y co-ocurrencia) para el mapeo científico. Con el fin de sustentar inferencias regionales, se definió un subconjunto latinoamericano a partir de las afiliaciones institucionales reportadas en los registros exportados.

2.1. Fuente de datos y estrategia de búsqueda

Para la recolección de datos bibliográficos se utilizó Scopus (Elsevier), debido a su amplia cobertura de literatura científica revisada por pares y su uso consolidado en estudios bibliométricos de gran escala, especialmente en áreas de ciencia e ingeniería. Además, Scopus permite la exportación sistemática de metadatos (títulos, resúmenes, palabras clave, autores, afiliaciones, fuentes y referencias), lo que favorece la trazabilidad metodológica y la reproducibilidad del análisis (Baas et al., 2020). SCOPUS reúne una gran cantidad de revistas científicas evaluadas por pares, actas de congresos y libros en áreas de ciencia e ingeniería, y tiene una presencia fuerte de publicaciones latinoamericanas. Sus herramientas para buscar, filtrar y exportar metadatos completos, como títulos, resúmenes, palabras clave, autores, afiliaciones y referencias resultan clave cuando se quiere hacer un análisis bibliométrico minucioso y sin sobresaltos.

Con el fin de recuperar documentos pertinentes al campo FEM/FEA y CFD en ingeniería mecánica, se diseñó y validó una ecuación de búsqueda temática aplicada a los campos Título, Resumen y Palabras Clave (TITLE-ABS-KEY). La consulta se ejecutó sin restricción geográfica para conformar un corpus global y evitar sesgos por país de publicación o por canal editorial. Posteriormente, la contribución latinoamericana se operacionalizó mediante la identificación ex post de países de Latinoamérica en el campo de afiliaciones institucionales exportado por Scopus, reteniendo los registros con al menos una afiliación en los países definidos en el protocolo del estudio. La cadena de búsqueda, aplicada a los campos de Título, Resumen y Palabras Clave fue la siguiente:

TITLE-ABS-KEY ((“finite element*” W/2 (analysis OR method) OR “computational fluid dynamics” OR cfd) AND (“mechanical engineering” OR (mechanics W/2 (engineering OR mechanical)))) AND NOT TITLE-ABS-KEY (“quantum mechanics” OR “statistical mechanics” OR “celestial mechanics”) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , “ar”)).

La ecuación anterior se ejecutó sin restricción geográfica para conformar el corpus global y evitar sesgos por país. La delimitación latinoamericana no se aplicó como filtro en la consulta

principal; en su lugar, se operacionalizó a posteriori mediante el campo de afiliación institucional exportado por Scopus (AFFILCOUNTRY), reteniendo los registros con al menos una afiliación en los países definidos en el protocolo del estudio. A partir de la ecuación temática se aplicó a los campos de Título, Resumen y Palabras Clave para recuperar el corpus global y evitar sesgos por país de publicación. Posteriormente, el componente regional se operacionalizó mediante la identificación ex post de países latinoamericanos en el campo de afiliaciones institucionales exportado por Scopus, reteniendo registros con al menos una afiliación en: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Puerto Rico, República Dominicana, Uruguay y Venezuela. Este criterio permite distinguir “canales de publicación” (revistas internacionales) de “origen institucional” (afiliación), resolviendo ambigüedades frecuentes en estudios regionales y garantizando coherencia entre enfoque y resultados.

2.2. Criterios de inclusión, exclusión y recolección de datos

La búsqueda se ejecutó el 31 de octubre de 2025, abarcando el período temporal comprendido entre el 1 de enero de 2000 y el 31 de octubre de 2025. Una vez aplicada la ecuación de búsqueda, se aplicaron los siguientes filtros directamente en la plataforma SCOPUS para refinar el corpus de documentos y asegurar su alineación con el alcance del estudio:

Criterio de inclusión 1 (Tipo de documento): Se consideraron solo los documentos clasificados como Article.

Criterio de exclusión 1 (Tipo de documento): Quedaron fuera todos los demás tipos, como Review, Book Chapter, Book, Conference Paper, Letter, Note y Erratum. La idea era mantener el foco en trabajos originales que hayan pasado por un proceso completo de revisión por pares en revistas científicas, el canal más habitual para presentar conocimientos nuevos.

Criterio de inclusión 2 (Área temática): La búsqueda se restringió al área principal de Engineering. Con estos filtros ya aplicados, se descargaron los registros bibliográficos completos de la colección obtenida. Los datos se bajaron en formato csv, que funciona sin problemas con software de análisis estadístico y bibliométrico.

2.3. Depuración y normalización de datos

La aplicación de la ecuación de búsqueda y los filtros definidos en Scopus produjo 1.869

registros descargados para depuración. En la etapa de limpieza se verificó la unicidad de registros mediante DOI y consistencia bibliográfica (título/año/fuente), sin identificarse duplicados que requirieran exclusión adicional; por tanto, el corpus final analizado fue $N=1.869$. A partir de este corpus, el criterio de afiliación institucional permitió identificar el subconjunto latinoamericano ($n=44$), utilizado para los análisis de productividad y colaboración regional.

La depuración y normalización se realizó en R, priorizando trazabilidad y replicabilidad. Se verificó unicidad de registros (por EID/DOI), se estandarizaron nombres de autores cuando existían variantes ortográficas y se armonizaron términos clave mediante un tesauro de sinónimos y variantes (p. ej., “finite element method”, “FEM”, “finite element analysis”, “FEA”; “computational fluid dynamics”, “CFD”). En afiliaciones, se preservaron las múltiples adscripciones institucionales y, para análisis por países, se aplicó un criterio explícito de conteo (full counting), de modo que un artículo con coautoría multinacional contribuye a cada país involucrado.

2.4. Análisis de datos y métricas bibliométricas

El análisis de los metadatos se dividió en dos componentes principales: análisis de rendimiento y mapeo científico, siguiendo las prácticas estándar en la literatura bibliométrica (Aria & Cuccurullo, 2017). Para redes bibliométricas (coautoría y co-ocurrencia), se empleó full counting y normalización por association strength en VOSviewer, con umbrales mínimos definidos para inclusión de nodos (autores, países y palabras clave) a fin de reducir ruido y mejorar interpretabilidad. La identificación de clústeres siguió el algoritmo de agrupamiento implementado por VOSviewer, y las decisiones de limpieza (unificación de términos y tratamiento de homónimos) se documentaron en el tesauro utilizado para el preprocesamiento. Para asegurar comparabilidad y control de ruido en el mapeo, se establecieron umbrales mínimos de inclusión en las redes: (i) en co-ocurrencia de palabras clave de autores se incluyeron términos con ≥ 8 ocurrencias en el corpus; (ii) en redes de coautoría por países (subconjunto latinoamericano) se incluyeron países con ≥ 2 documentos; y (iii) para la visualización y agrupamiento se empleó normalización por association strength en VOSviewer. Estos parámetros se reportan para facilitar la reproducibilidad y pueden ajustarse en estudios futuros según el tamaño del corpus y el objetivo analítico.

Análisis de rendimiento: Este análisis se enfocó en cuantificar la productividad y el impacto de los actores del campo. Se calcularon indicadores como: (a) la producción científica anual, para identificar la tasa de crecimiento del campo; (b) la productividad por países, instituciones y autores, para identificar a los actores más relevantes; y (c) las fuentes (revistas) más productivas, aplicando la Ley de Bradford para identificar el núcleo de publicaciones más influyentes en el área.

Mapeo científico: Este componente se centró en visualizar la estructura intelectual y social del campo de investigación. Para ello, se construyeron y analizaron redes bibliométricas basadas en: (a) Redes de coautoría, para mapear las relaciones de colaboración entre países e instituciones, revelando la estructura de la colaboración científica regional e internacional; y (b) Redes de co-ocurrencia de palabras clave, para identificar la estructura conceptual del campo. El análisis de clústeres en esta red permitió descubrir los principales focos temáticos, las conexiones entre ellos y la evolución de los temas de investigación a lo largo del tiempo.

2.5. Herramientas de software

Para la ejecución del análisis de datos y la generación de visualizaciones, se emplearon dos herramientas de software especializadas. El paquete bibliometrix para R (Aria & Cuccurullo, 2017), se utilizó para el análisis estadístico, el cálculo de los indicadores de rendimiento y la preparación de las matrices de co-ocurrencia y coautoría. Para la visualización de las redes bibliométricas y la identificación de clústeres temáticos y de colaboración, se utilizó el software VOSviewer (van Eck & Waltman, 2010), reconocido por su capacidad para generar mapas de la ciencia claros e interpretables.

Dado que este estudio se basa en el análisis de metadatos de publicaciones de acceso público y no involucra la participación de sujetos humanos, animales ni la manipulación de datos confidenciales, no fue necesaria la aprobación por parte de un comité de ética de la investigación. Se garantiza en todo momento el respeto a los derechos de autor y las normativas de uso de la base de datos Scopus. No se declaran conflictos de interés ni financiamiento específico para la realización de esta investigación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

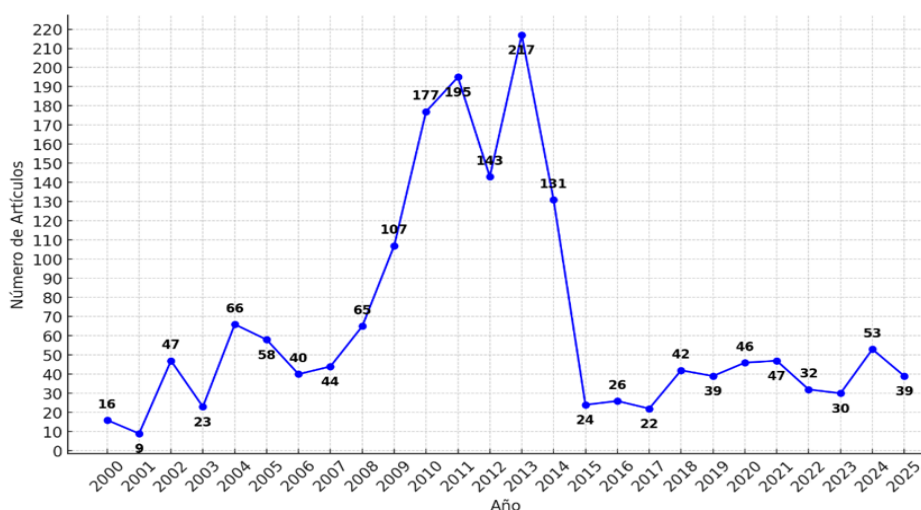
Esta sección presenta los hallazgos del análisis bibliométrico sobre FEM/FEA y CFD en

ingeniería mecánica durante 2000–2025, estructurados en dos niveles analíticos. Primero se reportan resultados del corpus global recuperado en Scopus, utilizados para describir la dinámica general del campo y la concentración de fuentes (Ley de Bradford). Luego se presentan los resultados del subconjunto latinoamericano, definido por la presencia de al menos una afiliación institucional en países de Latinoamérica, con el fin de sustentar inferencias regionales sobre productividad y colaboración. La interpretación se mantiene en un plano descriptivo y, cuando se sugieren factores explicativos, estos se formulan como hipótesis que requieren triangulación con evidencia externa.

3.1. Evolución de la producción científica y fuentes principales

El análisis de la producción anual de artículos (Figura 1) evidencia una trayectoria no lineal durante 2000–2025. En el periodo 2000–2008 se observa un volumen reducido de publicaciones (9–47 artículos/año). A partir de 2009 se registra un incremento sostenido, con máximos en 2012–2013 (pico anual=217 en 2013), seguido de una disminución desde 2014 y estabilización posterior en valores inferiores. Dado que el corte de recolección corresponde al 31/10/2025, el valor de 2025 debe interpretarse como parcial y no estrictamente comparable con años completos.

Figura 1. Producción científica anual del corpus global sobre FEM/FEA/CFD en ingeniería mecánica (2000–2025).



A partir de 2009 se observa un incremento de la producción anual que culmina en el máximo de 2013. No obstante, este estudio es bibliométrico y se basa exclusivamente en metadatos, por lo que no evalúa determinantes del comportamiento temporal. En consecuencia, posibles explicaciones (p. ej., cambios en financiamiento, capacidad de cómputo, expansión de posgrados

o dinámicas editoriales) se consideran hipótesis de contexto que requieren verificación con evidencia externa. Este patrón temporal se reporta como un resultado empírico del corpus y no permite, por sí mismo, atribuir explicaciones causales. La identificación de determinantes (p. ej., cambios en financiamiento, políticas científicas, expansión de posgrados o disponibilidad tecnológica) requiere incorporar indicadores externos y diseños analíticos complementarios (por ejemplo, series de inversión en I+D, políticas nacionales comparadas o análisis institucional), los cuales no forman parte del presente estudio.

Tabla 1. Principales Revistas por Número de Artículos Publicados.

REVISTA	RANK	FREQ	CUMFREQ
JIXIE GONGCHENG XUEBAO/CHINESE JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING	1	313	313
CHINESE JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING (ENGLISH EDITION)	2	90	403
STROJNISKI VESTNIK/JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING	3	73	476
COMPUTER METHODS IN APPLIED MECHANICS AND ENGINEERING	4	44	520
EARTHQUAKE ENGINEERING AND ENGINEERING VIBRATION	5	37	557
JOURNAL OF ENGINEERING MECHANICS - ASCE	6	35	592
GONGCHENG LIXUE/ENGINEERING MECHANICS	7	30	622
COMPUTATIONAL MATERIALS SCIENCE	8	23	645
INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING	9	23	668
JIANZHU JIEGOU XUEBAO/JOURNAL OF BUILDING STRUCTURES	10	22	690

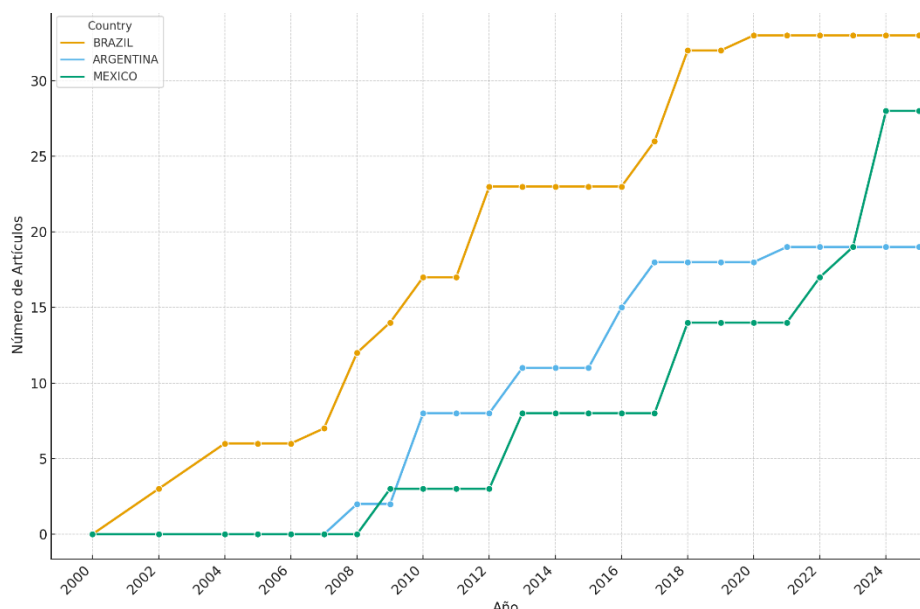
En la Tabla 1, la Ley de Bradford muestra una concentración del corpus global en un núcleo reducido de revistas altamente productivas. La predominancia de fuentes internacionales refleja la estructura editorial del campo en Scopus y su concentración temática, y no debe interpretarse como indicador del origen geográfico de la investigación. La caracterización específicamente latinoamericana se sustenta en el subconjunto definido por afiliación institucional, presentado en las subsecciones siguientes.

3.2. Análisis de rendimiento y redes de colaboración

La distribución geográfica de la producción científica no es homogénea en la región. En el subconjunto con afiliación latinoamericana (n=44), la producción se concentra en Brasil (n=14), México (n=13) y Argentina (n=7), seguidos por Chile (n=4) y Colombia (n=4), con contribuciones menores de Perú y Ecuador (n=2 cada uno) (Figura 2). Dado el tamaño del

subconjunto, las variaciones anuales deben interpretarse como indicativas y sensibles a la estrategia de búsqueda, a la cobertura de Scopus y al subregistro potencial de afiliaciones en los metadatos exportados.

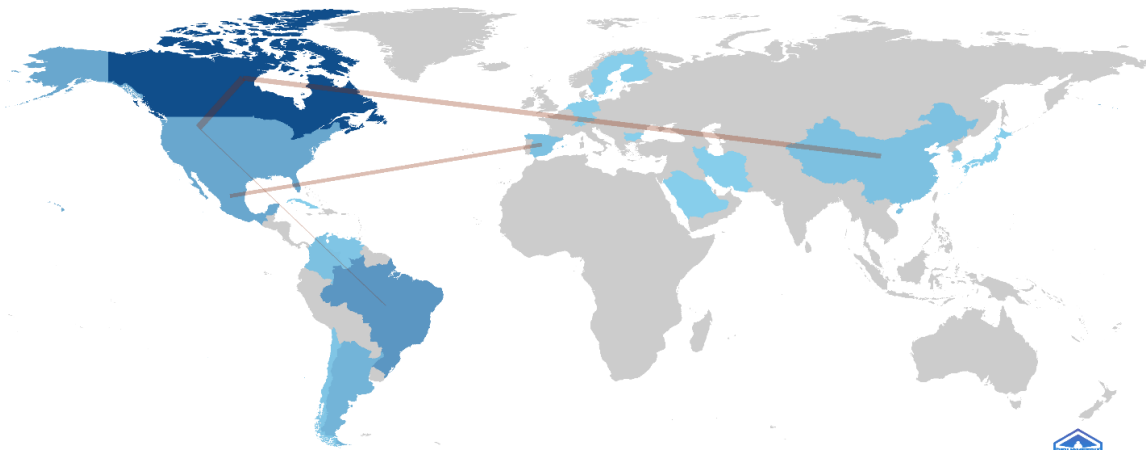
Figura 2. Producción científica anual de países latinoamericanos (2000- 2025).



En el subconjunto con afiliación latinoamericana ($n=44$), Brasil, México y Argentina concentran la mayor parte de los registros, seguidos por Chile y Colombia, mientras que Perú y Ecuador presentan contribuciones menores. La Figura 2 sugiere una dinámica heterogénea por país, con fluctuaciones interanuales esperables dada la escala del subconjunto. En términos analíticos, estos resultados se reportan como patrones observacionales dependientes del corpus, la cobertura de Scopus y la estrategia de búsqueda; por tanto, cualquier explicación sobre políticas científicas, inversión, infraestructura o disponibilidad de recursos debe considerarse hipótesis y requerir triangulación con indicadores externos.

Más allá de la productividad individual, el análisis de redes de coautoría permite visualizar la estructura de la colaboración científica. La Figura 3 presenta el mapa de colaboración entre países. En él, el tamaño de los nodos representa el volumen de producción del país y el grosor de las líneas indica la frecuencia de colaboración. El mapa de coautoría entre países (Figura 3) sugiere que la colaboración de los equipos con afiliación latinoamericana se articula de manera preferente con socios extrarregionales, mientras que los enlaces intra-regionales aparecen con menor intensidad.

Figura 3. Mapa de red de colaboración entre países.



Este resultado se reporta como patrón observacional del corpus y constituye una base para hipótesis futuras sobre barreras de cooperación regional, las cuales requieren triangulación con evidencia externa (p. ej., programas de financiamiento colaborativo, redes institucionales formales o análisis de movilidad académica).

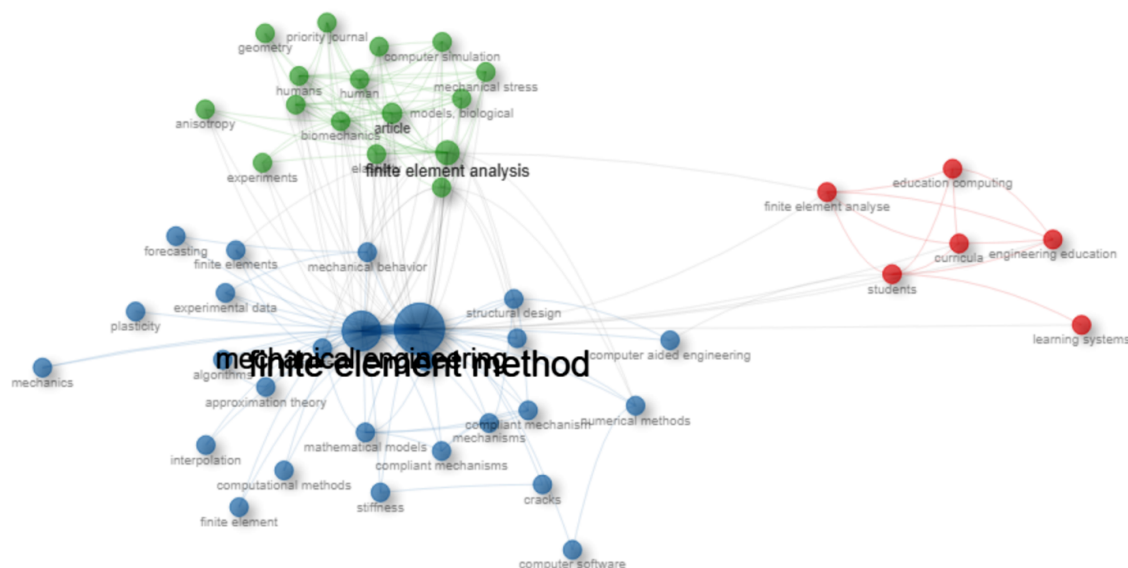
3.3. Estructura conceptual: temas de investigación consolidados y emergentes

El análisis de co-ocurrencia de palabras clave de los autores permite mapear la estructura intelectual del campo e identificar sus principales focos temáticos. La Figura 4 muestra el mapa de clústeres temáticos, donde los términos que aparecen juntos con frecuencia se agrupan, formando áreas de investigación especializadas.

El mapa de co-ocurrencias permite distinguir tres clústeres principales en el espacio conceptual (Figura 4). El Clúster 1 (Azul), agrupa el núcleo tradicional de FEM/FEA en mecánica de sólidos y análisis termo-estructural (p. ej., stress analysis, fracture mechanics, fatigue), consistente con aplicaciones de integridad y diseño mecánico. El Clúster 2 (Verde), refleja una línea interdisciplinaria asociada a biomecánica (p. ej., biomechanics, implants, biomaterials), que sugiere convergencia entre simulación y problemas bioingenieriles. El Clúster 3 (Rojo), agrupa términos de educación en ingeniería (p. ej., students, engineering education, learning systems), que deben interpretarse como un subcampo orientado a la enseñanza/aprendizaje de herramientas de simulación y no como aplicación industrial directa.

En conjunto, la estructura temática evidencia coexistencia de un núcleo consolidado y líneas emergentes, coherente con la evolución contemporánea de FEA/CFD y su expansión hacia dominios interdisciplinarios (Chowdhury, 2024; Liu et al., 2021).

Figura 4. Mapa de Co-ocurrencia de Palabras Clave (Clústeres Temáticos).



3.4. Tendencias en la adopción de software de simulación

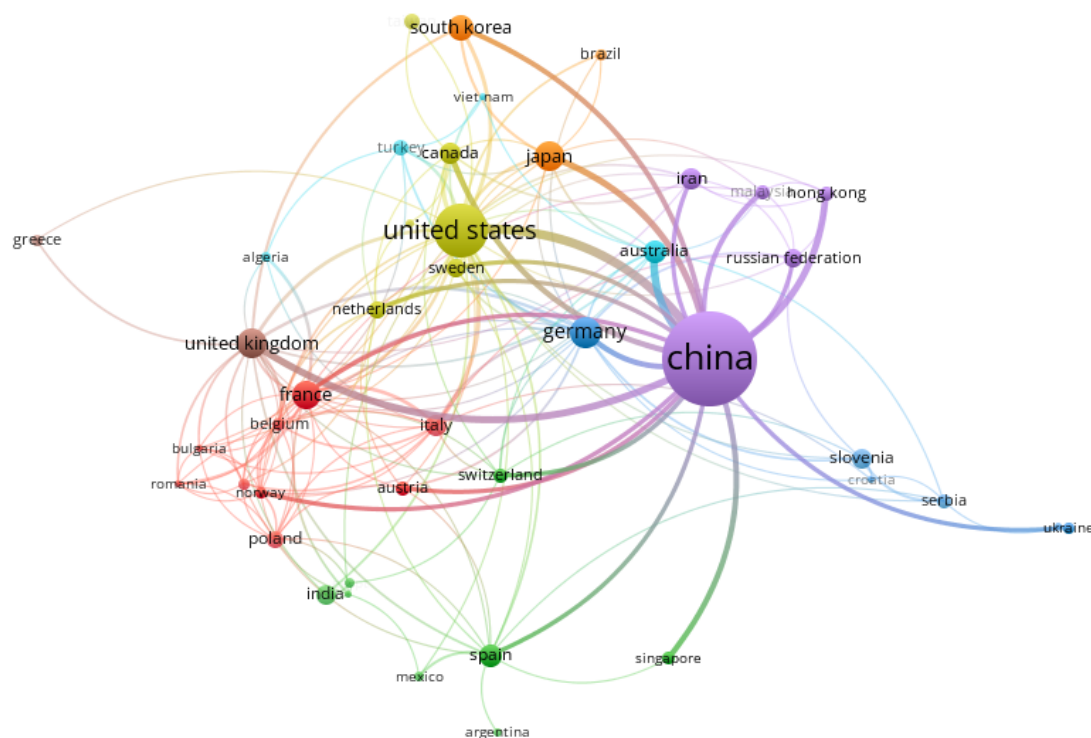
Uno de los objetivos centrales de este estudio fue rastrear las herramientas de software mencionadas en la producción científica (Figura 5). El análisis de herramientas de simulación se realizó mediante minería de texto sobre títulos, resúmenes y palabras clave (autores e indexadas), utilizando un diccionario de términos de software CAE (p. ej., ABAQUS, ANSYS, LS-DYNA, COMSOL) y reglas de coincidencia robustas a variantes ortográficas. Este enfoque captura menciones explícitas en metadatos, pero no permite inferir uso real cuando el software no se reporta en dichos campos, por lo que los resultados se interpretan como “patrones de reporte” y no como adopción efectiva.

En el corpus global, las menciones se concentran principalmente en suites comerciales, con presencia destacada de ANSYS y ABAQUS, mientras que otras herramientas aparecen con menor frecuencia. En el subconjunto latinoamericano, las menciones explícitas a software en metadatos son escasas, lo que sugiere subregistro (p. ej., reportes metodológicos que describen el enfoque numérico sin detallar plataforma) o heterogeneidad en prácticas de indexación. En consecuencia, cualquier interpretación sobre barreras económicas o de licenciamiento se plantea como hipótesis contextual y debe ser contrastada con evidencia externa (por ejemplo, disponibilidad de licencias académicas, acuerdos institucionales o encuestas a grupos de investigación), en línea con lo señalado por reportes de mercado sobre dinámicas regionales de software FEA (Cognitive Market Research, 2024; Mordor Intelligence, 2024).

El análisis de la producción científica de los países latinoamericanos (véase Figura 6) en comparación con otras regiones y países refleja una interesante diversidad en términos de cantidad de publicaciones, citas y la naturaleza de la colaboración internacional. Al observar las métricas de los países, es evidente que los países latinoamericanos, en particular Argentina, Brasil y México, muestran una producción científica en áreas de simulación como FEA y CFD, aunque con una presencia menor en comparación con potencias científicas más consolidadas como los Estados Unidos, China y Europa.

Bibliometría de la simulación por elementos finitos en Latinoamérica y su aplicación en ingeniería mecánica (2000–2025).
pp. 1– 22 / Volumen 7, número 2 / DOI: <https://doi.org/10.37431/conectividad.v7i2.448>

Figura 6. Correlación de la producción científica Latinoamérica frente a otras regiones y países.



Las diferencias observadas entre regiones en producción y citación pueden estar asociadas a múltiples factores estructurales (p. ej., inversión en I+D, tamaño de la comunidad investigadora, capacidad instalada y estrategias de internacionalización), pero el presente estudio no incorpora esas variables. Por ello, no es metodológicamente válido atribuir la brecha a restricciones presupuestarias o a licencias de software únicamente a partir de los metadatos; tales explicaciones deben sustentarse con evidencia independiente (informes comparativos de inversión, encuestas institucionales o análisis de infraestructura).

La comparación descriptiva con otras regiones muestra que Europa, Estados Unidos y China concentran mayores volúmenes de producción y citas en el corpus analizado, mientras que los países latinoamericanos exhiben una presencia menor en términos de conteo bibliométrico. No obstante, el presente estudio no incorpora variables explicativas (por ejemplo, inversión en I+D, capacidad instalada, tamaño de comunidad investigadora o políticas de ciencia y tecnología), por lo que cualquier explicación sobre brechas regionales debe considerarse una hipótesis de contexto y validarse mediante evidencia independiente.

En términos de colaboración, se observa que varios de los países latinoamericanos tienen vínculos importantes con Europa, América del Norte y Asia. Esto es indicativo de que,

aunque la producción en la región aún no es comparable con las potencias científicas más grandes, los investigadores latinoamericanos están cada vez más integrados en redes científicas internacionales, lo que puede contribuir a un mayor flujo de conocimiento y a un impacto más global de la investigación realizada en la región.

En síntesis, la comparación es consistente con una mayor concentración de producción y citación en Europa, Estados Unidos y China, mientras que Latinoamérica exhibe menor volumen en el corpus analizado. Estos resultados delimitan la posición relativa de la región en términos bibliométricos, pero no permiten por sí solos explicar causas; futuras investigaciones deberían integrar indicadores externos y diseños comparativos para evaluar determinantes de desempeño y colaboración internacional.

4. CONCLUSIONES

El estudio bibliométrico permitió describir la evolución y estructura del campo FEA/FEM/CFD en ingeniería mecánica a partir de un corpus global indexado en Scopus (N=1.869) y, de manera específica, dimensionar la contribución de Latinoamérica mediante un subconjunto definido por afiliación institucional (n=44). En el corpus global se observó un crecimiento hasta 2013 (pico anual=217) y una disminución posterior, con niveles bajos en años recientes; este patrón se reporta de forma descriptiva y su explicación requiere evidencia adicional no incorporada en este análisis. En el subconjunto latinoamericano, la producción se concentra en Brasil, México y Argentina, y las redes de coautoría muestran mayor articulación con socios extrarregionales que intra-regionales. A nivel conceptual, el mapeo temático confirma un núcleo consolidado en mecánica de sólidos/termoestructural, junto con líneas emergentes vinculadas a biomecánica y educación en ingeniería, que deben interpretarse como subcampos diferenciados dentro del ecosistema de simulación. Finalmente, el análisis de software, entendido como minería de menciones en metadatos, sugiere predominio de suites comerciales en el corpus global y un bajo nivel de reporte explícito en el subconjunto latinoamericano, lo que limita inferencias sobre adopción tecnológica. Entre las principales limitaciones se incluyen la dependencia de una sola base (Scopus), el uso de metadatos (con subregistro posible en afiliaciones y software) y la imposibilidad de atribuir causalidad a factores externos sin triangulación. Futuros trabajos deberían complementar con otras bases, técnicas de desambiguación más finas (instituciones/

país) y evidencia primaria (encuestas o estudios de caso) para explicar barreras y oportunidades de fortalecimiento regional.

En conjunto, el estudio resalta los avances logrados y los retos pendientes en la producción científica en ingeniería mecánica dentro de la región. También subraya la importancia de contar con políticas públicas que fortalezcan la infraestructura de investigación, la formación en herramientas computacionales y la colaboración internacional. Con estos elementos, Latinoamérica podría seguir afianzándose como un referente en el área, ampliando su presencia en la investigación global.

Contribución de los Autores (CRediT): JLC: Administración del proyecto, Investigación, Conceptualización, Curación de datos, Redacción - revisión y edición. KCC: Investigación, Conceptualización, Curación de datos, Redacción - borrador original. CUM: Curación de datos, Investigación, Metodología, Software. DMM: Curación de datos, Investigación, Metodología, Validación, Redacción - borrador original. NBA: Curación de datos, Investigación, Metodología, Software.

Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en esta publicación.

Declaración de Uso de Inteligencia Artificial: Los autores declaran que utilizaron herramientas de inteligencia artificial (IA) en el procesamiento de datos para la mejora de la redacción del artículo. La herramienta utilizada para este fin fue: Claude.

REFERENCIAS

- Aguado, J. V., Borzacchiello, D., Ghnatios, C., Lebel, F., Upadhyay, R., Binetruy, C., & Chinesta, F. (2017). A Simulation App based on reduced order modeling for manufacturing optimization of composite outlet guide vanes. *Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s40323-017-0087-y>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Baas, J., Schotten, M., Plume, A., Côté, G., & Karimi, R. (2020). Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 377–386. https://doi.org/10.1162/qss_a_00019
- Barabinot, P., Scanff, R., Ladevèze, P., Néron, D., & Cauville, B. (2021). Industrial Digital Twins based on the non-linear LATIN-PGD. *Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences*, 8(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s40323-021-00207-3>
- Chowdhury, I. A. (2024). State of the Art CFD Simulation: A Review of Techniques, Validation

- Methods, and Application Scenarios. *Journal of Recent Trends in Mechanics*, 9(2), 45–53. <https://doi.org/10.46610/jortm.2024.v09i02.005>
- Cognitive Market Research. (2024). *South America Finite Element FEA Software Market Report 2024*. <https://www.cognitivemarketresearch.com/regional-analysis/south-america-finite-element-fea-software-market-report>
- Colín-Martínez, J. L., Lopez-Garza, V., Hernández-Arriaga, I., & Navarro-Rojero, M. G. (2020). Diseño y simulación preliminar del cubo del rotor para una turbina eólica de 50-kW clase II, de acuerdo a la norma IEC-61400-2. *Revista Del Diseño Innovativo*, 4(10), 1–13. <https://doi.org/10.35429/jid.2020.10.4.1.13>
- Elango, B., & Rajendran, P. (2018). A bibliometric analysis of literature on engineering research among BRIC countries. *COLLNET Journal of Scientometrics and Information Management*, 12(2), 239–250. <https://doi.org/10.1080/09737766.2018.1469796>
- Guzmán-Rojas, A., Wills-Vallejo, F., & Velásquez-Cock, J. A. (2021). Bibliometric analysis of engineering publications in Colombia 2010-2019: a Scopus analysis. *Ingeniería e Investigación*, 41(2), e88448–e88448. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v41n2.88448>
- International Energy Agency. (2023). *Energy Technology Perspectives 2023*, IEA, Paris. In *Energy Technology Perspectives*. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023>
- Khan, B., Quintyn, C., Jagnandan, A., & Jagnandan, S. (2023). Computational Fluid Dynamics analysis of Fluid application in Mechanical Engineering and Civil Engineering fields – A Review. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 6(3), 1194–1197. <https://www.ijered.com/volume6/issue3/IJSRED-V6I3P143.pdf>
- Knight, E. E., Rougier, E., Lei, Z., Euser, B., Chau, V., Boyce, S. H., Gao, K., Okubo, K., & Froment, M. (2020). HOSS: an implementation of the combined finite-discrete element method. *Computational Particle Mechanics*, 7(5), 765–787. <https://doi.org/10.1007/s40571-020-00349-y>
- Li, X., & Zhang, H. (2025). A state-of-the-art review of electrolyte systems for vanadium redox flow battery – status of the technology, and future research directions. *Energy Conversion and Management: X*, 22, 101180. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101180>
- Liu, W. K., Olson, L., Belytschko, T., Park, H. S., Krysl, P., Chen, J. S., Pinsky, P. M., Duarte, C.

- A., & Foulk, J. W. (2021). Eighty Years of the Finite Element Method: Birth, Evolution, and Future. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(6), 4337–4381. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09565-x>
- Losa, N., Tomasi, J., & Sánchez, P. (2022). Avances en la aplicabilidad del Método de Elementos Finitos para el análisis estructural de construcciones de adobe en la provincia de Jujuy. *AJEA*, 15. <https://doi.org/10.33414/ajea.1043.2022>
- Lu, S., Yang, C., & Li, H. (2022). Bibliometric Analysis of Model-Based Systems Engineering: Past, Current, and Future. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70(10), 3465–3479. <https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3186637>
- Mamun, M. A. A., Lawrie, G., & Wright, T. (2021). Bibliometric analysis of research trends in engineering education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(7), em1983. <https://doi.org/10.29333/ejmste/10972>
- Mancilla, C., Plevris, V., & Jewell, C. (2022). Computational intelligence methods in simulation and modeling of structures: A state-of-the-art review using bibliometric maps. *Frontiers in Built Environment*, 8, 994689. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.994689>
- Montemayor-de la Garza, K., Zambrano-Robledo, P. del C., Zapata-Hernandez, O. J., & Leduc-Lezama, L. A. (2022). Finite Element Modeling of Hot Rolling of 1075 Carbon Steel Process with Variable Cross Section. *Materials*, 16(1), 2. <https://doi.org/10.3390/ma16010002>
- Montijo Valenzuela, E. E., & Martínez Rubio, M. P. (2021). Cálculo de esfuerzos mediante simulación con elementos finitos: una herramienta para implementarse en ingeniería. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 4(34), 70–78. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss34.2020pp70-78>
- Mordor Intelligence. (2024). *Finite element analysis software market size & share analysis - growth trends & forecasts (2024 - 2030)*. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/finite-element-analysis-software-market>
- Oliveira, G. D. L., Zatti, A. H., & De Lara, A. G. (2022). Método acessível de modelagem e simulação computacional de engenharia. *TUIUTI: CIÊNCIA E CULTURA*, 8(65), 75–90. <https://doi.org/10.35168/2176-896X.UTP.Tuiuti.2022.Vol8.N65.pp75-90>

- Rahikainen, J., González, F., & Naya, M. Á. (2020). An automated methodology to select functional co-simulation configurations. *Multibody System Dynamics*, 48(1), 79–103. <https://doi.org/10.1007/s11044-019-09696-y>
- Rahman, H. A., Ghani, J. A., Rasani, M. R. M., Wan Mahmood, W. M. F., Yaaqob, S., & Aziz, M. S. A. (2025). Application of finite element analysis and computational fluid dynamics in machining AISI 4340 steel. *Tribology International*, 207(110616). <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2025.110616>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations (5th ed.)*. Free Press.
- Roslan, M. Z. H., Sofyan, D., Oluwatoyin, I. M., Rojo, J. R., & Abdullah, K. H. (2022). Unearthing Hidden Research Opportunities Through Bibliometric Analysis: A Review. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 12(5), 1109–1123. <https://doi.org/10.6007/IJARBSS/v12-i5/13309>
- Suñer Martínez, J. L., & Carballeira Morado, J. (2023). El uso de la simulación dinámica para promover las competencias transversales en asignaturas de ingeniería mecánica. *Modelling in Science Education and Learning*, 16(1), 35–41. <https://doi.org/10.4995/msel.2023.18794>
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Zhu, M., Lim, Y. C., Cai, Z., Liu, X., Dhawan, S., Liu, J., & Politis, D. J. (2021). Cloud FEA of hot stamping processes using a software agnostic platform. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 112(11–12), 3445–3458. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06533-x>