

## TERRITORIOS CONECTADOS: RETOS Y FUTURO DE LOS PUENTES EN COLOMBIA

Giovanny Sepúlveda Concha

*Ingeniero civil EAFIT. Especialista en Ingeniería Sismo Resistente EAFIT  
Magister en Construcción - Construcción Sostenible - UNAL  
Director General de Triangulo Ingeniería SAS  
gerencia@trianguloingenieria.com*

**Resumen.** Este artículo aborda los retos en la aplicación de la sostenibilidad en la planeación, diseño y construcción de puentes vehiculares en Colombia, en respuesta a la creciente demanda de modernización y expansión de la red vial del país. Mediante un análisis detallado de la literatura existente, se examinan experiencias anteriores, conocimientos adquiridos y las tendencias actuales relacionadas con la implementación de la sostenibilidad en este campo. El objetivo es explorar la viabilidad de incorporar la sostenibilidad integral en la construcción de puentes vehiculares en Colombia. La investigación se estructura en seis fases metodológicas. En la primera, se definen las estrategias de búsqueda, incluyendo términos clave y la selección de bases de datos especializadas. La segunda fase optimiza los términos y fuentes de búsqueda para mejorar la precisión. En la tercera fase, se filtra la información por disciplinas y áreas de conocimiento. La cuarta fase consiste en un análisis bibliométrico, seleccionando 78 publicaciones entre 2003 y 2023. Las dos fases finales se enfocan en interpretar los datos y desarrollar conclusiones, proporcionando una evaluación crítica de las tendencias observadas. Este enfoque ofrece un fundamento técnico para incorporar la sostenibilidad integral en puentes vehiculares en Colombia, estableciendo un marco para futuras investigaciones. Aporta a la ingeniería al desarrollar un marco metodológico que propone considerar metodologías de análisis multicriterio y análisis de ciclo de vida, proporcionando una base teórica sólida y promoviendo prácticas sostenibles en la infraestructura vial del país.

**Palabras clave:** Sostenibilidad integral, diseño de puentes, construcción de puentes, puentes vehiculares, puentes en Colombia.

### INTRODUCCIÓN

En el marco de la creciente conciencia global sobre la importancia de la sostenibilidad en el desarrollo de infraestructuras viales, esta revisión bibliográfica se centra en la temática específica de "La sostenibilidad integral en puentes vehiculares en Colombia". Ante la constante demanda de modernización y expansión de la red vial en el país, es esencial examinar críticamente la literatura existente para comprender las experiencias pasadas, lecciones aprendidas y las tendencias actuales en la construcción y gestión sostenible de puentes.

El sector de la construcción, reconocido por su relevancia y su capacidad de generar empleo, tiene un impacto considerable en los ámbitos económico, ambiental y social, reflejado en las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto resalta la necesidad de integrar progresivamente productos y procesos que sigan principios de renovabilidad y se basen en la innovación. Para enfrentar estos retos, es crucial adoptar un enfoque holístico durante las fases de planificación, diseño y construcción de estas estructuras, con el fin de desarrollar puentes que no solo cumplan con su propósito fundamental, sino que también sean sostenibles en un sentido amplio.

En el campo de la ingeniería de puentes, se han logrado avances significativos en las últimas décadas a través de la integración de tecnologías innovadoras, el uso de materiales más duraderos y la aplicación de métodos de análisis avanzado. Esto ha permitido la construcción de puentes más seguros y eficientes, capaces de soportar cargas significativas y resistir condiciones climáticas adversas. Sin embargo, se evidencia la necesidad de involucrar la rigurosidad técnica en el enfoque de la sostenibilidad.

Considerando que el puente es un componente esencial de la infraestructura del país, su impacto es significativo en la conectividad, movilidad y desarrollo económico y social, lo cual ha planteado desafíos en términos de sostenibilidad integral y complejidad sistémica en Colombia.

La sostenibilidad integral, en este contexto, implica considerar, no solo, la eficiencia estructural, sino también una serie de factores interconectados que abarcan aspectos económicos, sociales, ambientales y culturales. Desde la conservación del entorno natural, inclusión social y seguridad, hasta la evaluación del ciclo de vida, estabilidad, durabilidad estructural, adaptabilidad y resiliencia, se busca equilibrar todos estos aspectos en la implementación de estos proyectos.

## 1. ALCANCE Y METODOLOGÍA

### 1.1 ALCANCE

Realizar una búsqueda sistemática, secuencial y organizada de la documentación técnica y científica más relevante en temas de sostenibilidad en proyectos de infraestructura, específicamente aplicada a los puentes vehiculares en el territorio colombiano; adicional a las estrategias y herramientas desde la sostenibilidad, en otros territorios que se puedan aplicar de acuerdo con lecciones aprendidas en el ámbito nacional [6].

La información más relevante permite identificar retos y oportunidades para contar con un panorama general claro de acuerdo con una clasificación bibliográfica y un análisis bibliométrico a partir de una jerarquización, clasificación de subtemas y variables que tengan relación directa con la sostenibilidad integral de puentes vehiculares en Colombia. Se establece entonces una metodología de análisis temporal, espacial, evaluando el porqué, para qué y con qué herramientas se ha logrado armonizar con éxito sistemas de planeación, ejecución y mantenimiento de puentes en el mundo y su aplicabilidad al entorno colombiano [10].

## 1.2 METODOLOGÍA

Se desarrolla desde la generalidad hasta llegar a la particularidad, partiendo del objeto y la pregunta de investigación, transversalizando el análisis a partir de los conceptos de los objetivos y preguntas de investigación (ver ilustración 14 - Flujograma conceptual del análisis bibliográfico y bibliométrico).

Paso 1: Se definen los términos principales, objetos y conceptos que hacen parte del proyecto de investigación y, a partir de ellos, se construyen ecuaciones de búsquedas iniciales para que, de acuerdo con la globalidad de los términos y los hallazgos, se puedan establecer interrelaciones entre ellos y comenzar con un análisis más particular. Es en este momento que se definen los eventuales motores de búsqueda y se documenta la cantidad de resultados obtenidos en esta etapa.

Paso 2.: Se establecen de acuerdo con la ecuación de búsqueda, diferencias y/o interconexiones tanto en inglés como en español, y de acuerdo con el análisis preliminar de buscadores, se establecen cuáles serán 1) los buscadores adecuados, 2) las ecuaciones de búsqueda principales y 3) cómo se filtran los resultados, de acuerdo con la disciplina, especialidad o área del conocimiento específica. Se documentan los resultados según estas ecuaciones de búsqueda.

Paso 3.1 – Filtro 1: Se realiza un primer análisis a partir de los títulos de las publicaciones del paso anterior, en donde se identifica una pertinencia inicial de la publicación con la investigación que se desarrolla, dando pie a una nueva etapa de aceptación-rechazo. Se documentan estos resultados y se cuantifican.

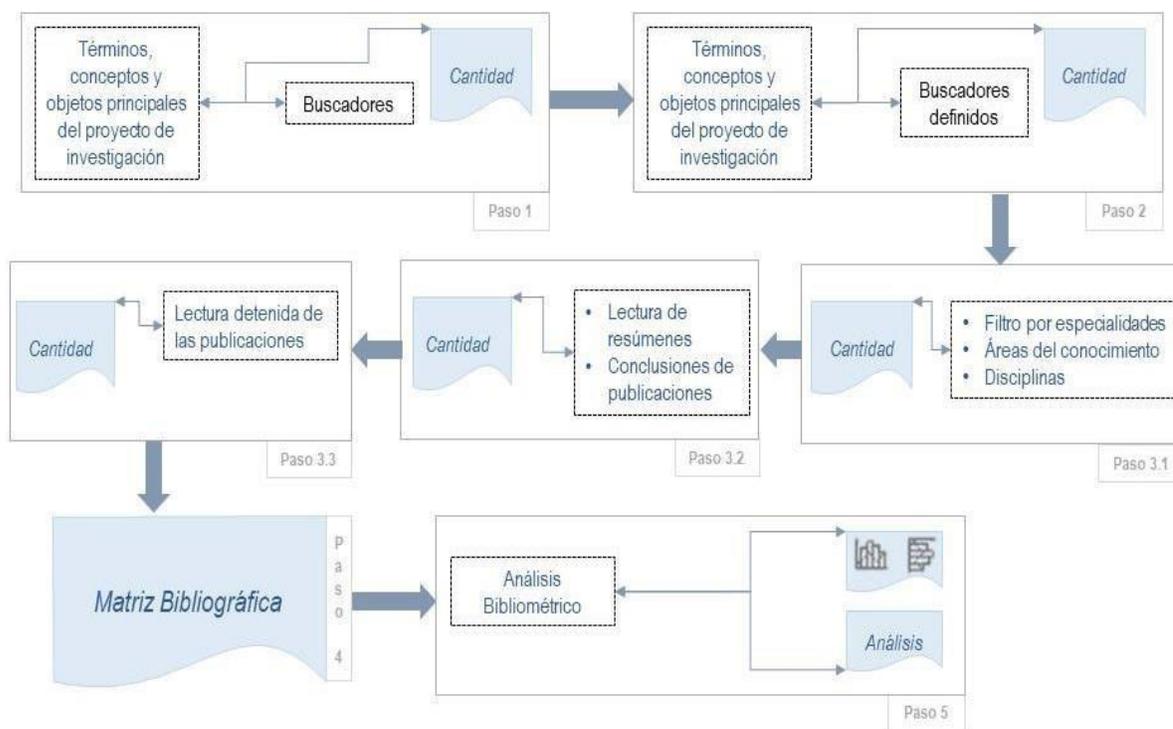
Paso 3.2 – Filtro 2: A partir de los resultados anteriores se realiza una lectura del resumen y las conclusiones de las publicaciones según el anterior paso, y se realiza una nueva etapa de aceptación–rechazo según análisis de pertinencia.

Paso 3.3 – Filtro 3: A partir de los resultados anteriores se realiza lectura de ciertos contenidos que se consideren importantes al interior de las publicaciones del anterior paso, y se realiza una nueva etapa de aceptación–rechazo según análisis de pertinencia.

Paso 4: Se genera el análisis bibliométrico. Se definen también jerarquías y se dan atributos adicionales por publicación según el análisis del autor, jerarquías que se adicionan al análisis y que dan otros atributos importantes para el análisis, por ejemplo: dónde se publica, año, país, continente y fuente (motor de búsqueda).

Paso 5: Se realizan gráficos de acuerdo con el análisis bibliométrico y sus categorías, jerarquías y demás, que el autor considere pertinentes e importantes a la hora de realizar su análisis.

Paso 6: Análisis de resultados: discusión y conclusiones. Se analizan los atributos, objetos y características de los artículos y se enuncian posturas personales según los resultados obtenidos. Se analizan y sintetizan los resultados de los estudios, destacando las similitudes, diferencias y lagunas en la investigación.



*Ilustración 1. Flujograma conceptual del análisis bibliográfico y bibliométrico.  
Fuente: Elaboración propia.*

## 2. DESARROLLO Y RESULTADOS

Partiendo de que el objeto de investigación son los puentes vehiculares en Colombia y la pregunta de investigación parte de los retos y oportunidades de la sostenibilidad integral [21] [22], aplicada al objeto de investigación, se aplica la metodología como sigue:

### 2.1 ESTRATEGIAS DE BÚSQUEDA

Se establecen como conceptos generales los siguientes, como ecuación de búsqueda inicial la cual se realiza sin una clasificación específica (“All fields”): Sostenibilidad AND “puentes en Colombia”. Se encuentran un total de 16728 publicaciones.

Se identifican de manera inicial los siguientes buscadores con las publicaciones más relevantes: Scopus, Science Direct, SciELO, Google Scholar, Dialnet, Web of Science. A partir de allí se establecen las ecuaciones de búsqueda iniciales y se definen los buscadores a usar en el proyecto de investigación. Ecuaciones de búsqueda a partir de la búsqueda inicial: “Puentes en Colombia”, “Sostenibilidad de puentes vehiculares”, “Sostenibilidad integral en puentes”, “Análisis multicriterio” “Análisis de ciclo de vida”.

Y los buscadores que finalmente se utilizan son: Scopus, Science Direct, Google Scholar. Se encuentran un total de 1287 publicaciones.

## 2.2 FILTRADO DE LA INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se cuenta con una cantidad significativa de publicaciones, para lo cual se hace necesario proceder a un nuevo filtro por especialidades, áreas del conocimiento y disciplinas: construcción, puentes, Ingeniería Civil, patología, diseño estructural, vulnerabilidad estructural, desastres en construcción, carreteras e infraestructura.

Además, se definen finalmente las siguientes ecuaciones de búsqueda, recordando que se tienen en cuenta los anteriores filtros: Puentes AND Colombia, Construcción AND Sostenibilidad, Puentes AND Sostenibilidad, Sostenibilidad, comprehensive AND sustainability AND bridges, Construcción AND Puentes AND Sostenibilidad, Construcción AND Puentes AND Colombia, multicriteria AND bridges AND life cycle AND sustainability, Sostenibilidad AND Infraestructura AND Construcción. En esta fase se cuenta con 278 resultados.

Posteriormente se realiza lectura del resumen y las conclusiones de las publicaciones según el anterior paso y se realiza una nueva etapa de aceptación–rechazo a criterio del auto, según pertinencia de la publicación con la investigación. La pertinencia de los artículos se clasifica como: baja, media-baja, media, alta y muy alta. Nuevamente se cuantifican las publicaciones, llegando a 143.

Luego se realiza una lectura de algunas de las publicaciones para comprender la aplicabilidad de estas al proyecto de investigación, entrando en una etapa final de aceptación y rechazo, partiendo de los resultados de la etapa anterior y tomando solo publicaciones con pertinencia media, alta y muy alta, llegando finalmente a 78 publicaciones.



Ilustración 2. Flujograma aplicado del análisis bibliográfico y bibliométrico.  
Fuente: Elaboración propia.

### 2.3 ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

A partir de la información del análisis bibliográfico, de manera gráfica, se analizan atributos, objetos y características de las publicaciones, y se enuncian posturas según los resultados obtenidos:



*Ilustración 3. Espacialización de datos de publicaciones por continente.  
Fuente: Elaboración propia.*

Se usan también gráficos aluviales, los cuales son útiles para identificar cambios en una estructura de red e identificar patrones y tendencias:

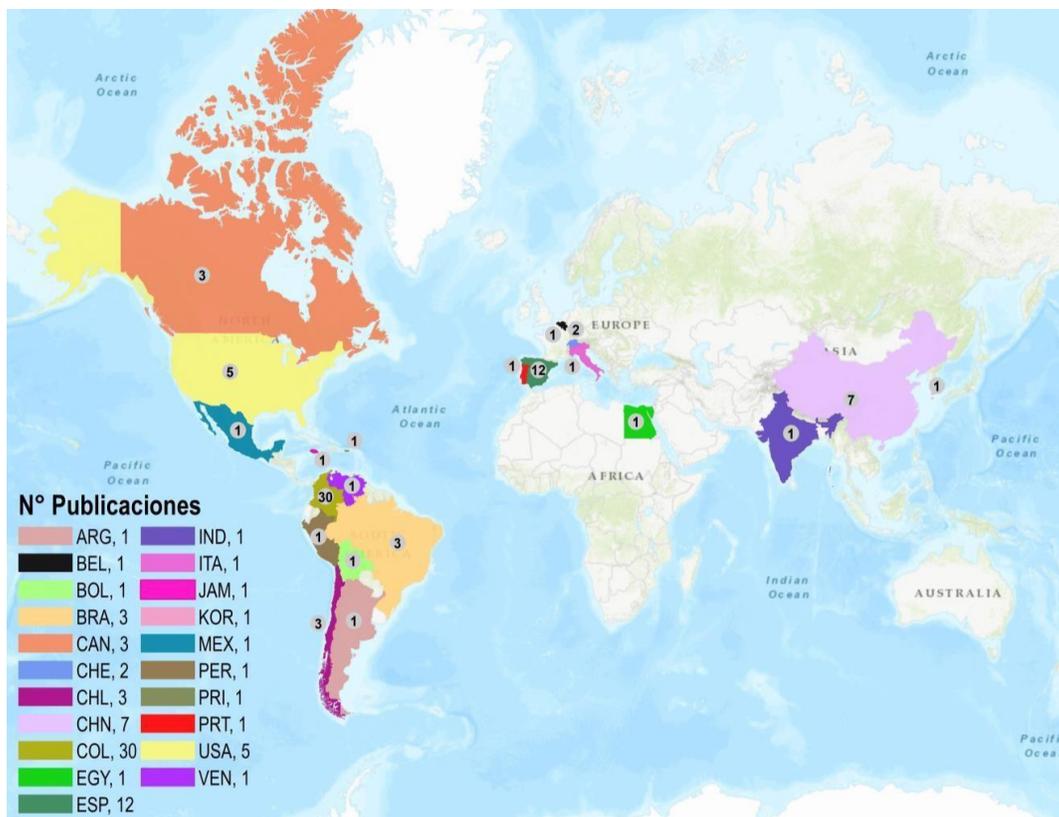


Ilustración 4. Espacialización de datos de publicaciones por país. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Análisis espacial (País – Continente) por cantidad de publicaciones y porcentajes. Fuente: Elaboración propia.

Continente	País	Publicaciones	%
América del Norte		9	11,7
	EUA	5	6,5
	Canadá	3	3,9
	México	1	1,3
América del Sur		40	51,9
	Colombia	30	39
	Chile	3	3,9
	Brasil	3	3,9
	Bolivia	1	1,3
	Venezuela	1	1,3
	Perú	1	1,3
	Argentina	1	1,3
	Centro América y el Caribe		2
	Jamaica	1	1,3

Continente	País	Publicaciones	%
	Puerto Rico	1	1,3
África		1	1,3
	Egipto	1	1,3
Europa		17	22,1
	España	12	15,6
	Suiza	2	2,6
Europa	Bélgica	1	1,3
	Portugal	1	1,3
	Italia	1	1,3
Asia		9	11,7
	China	7	9,1
	Corea	1	1,3
	India	1	1,3
Oceanía	NA	0	0
Total		77	100

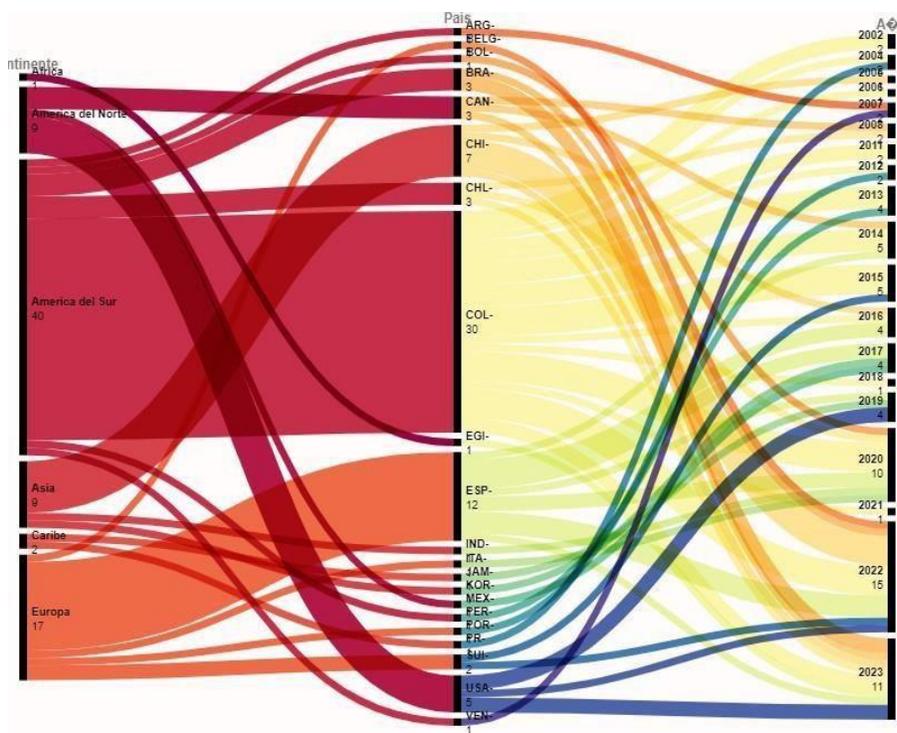


Ilustración 5. Gráfico aluvial año-país-continente.  
Fuente: Elaboración propia.

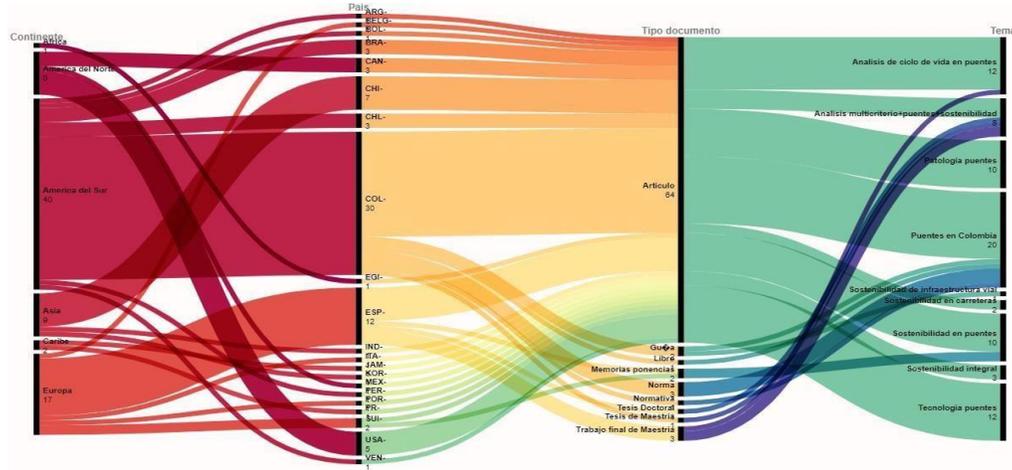


Ilustración 6. Gráfico aluvial país – continente – tipo de publicación – tema.  
Fuente: Elaboración propia.

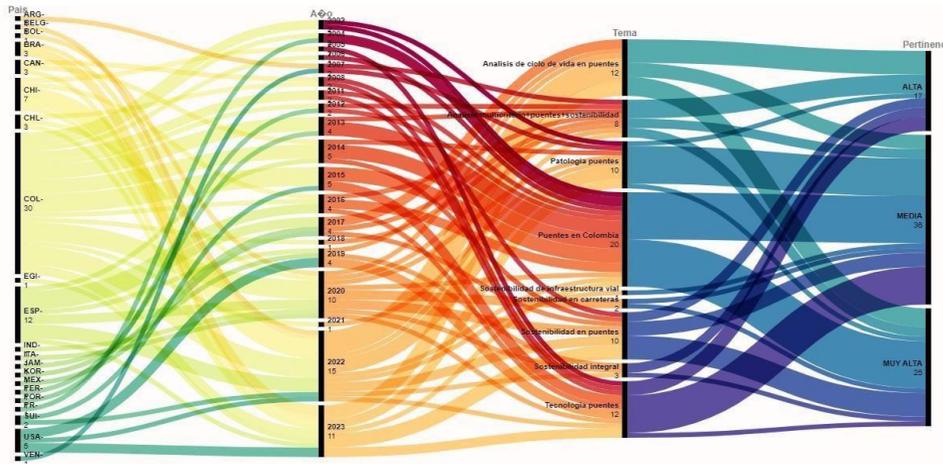


Ilustración 7. Gráfico aluvial - año – tema – país – pertinencia.  
Fuente: Elaboración propia.

El 82.05% de las publicaciones son artículos y el 17.95% restante, trabajos de grados, normativas, libros y guías.

El estudio de conceptos de sostenibilidad y análisis de ciclo de vida [18] en puentes se concentra en el siguiente orden: Europa – 23%, Asia – 11%, América del Norte - 12% y América del sur – 9%.

Es claro que todos los temas se interrelacionan y se hablan de manera constante dentro de las últimas dos décadas, aunque es importante anotar que el 80% de las publicaciones se concentran en la última década, tratando los siguientes temas en orden de importancia: análisis de ciclo de vida de puentes, sostenibilidad de puentes, patologías en puentes y análisis multicriterio para la sostenibilidad de puentes [23].

De puentes en Colombia se ha hablado bastante del año 2015 hacia atrás, en años posteriores se habla más de los conceptos de sostenibilidad y ACV.

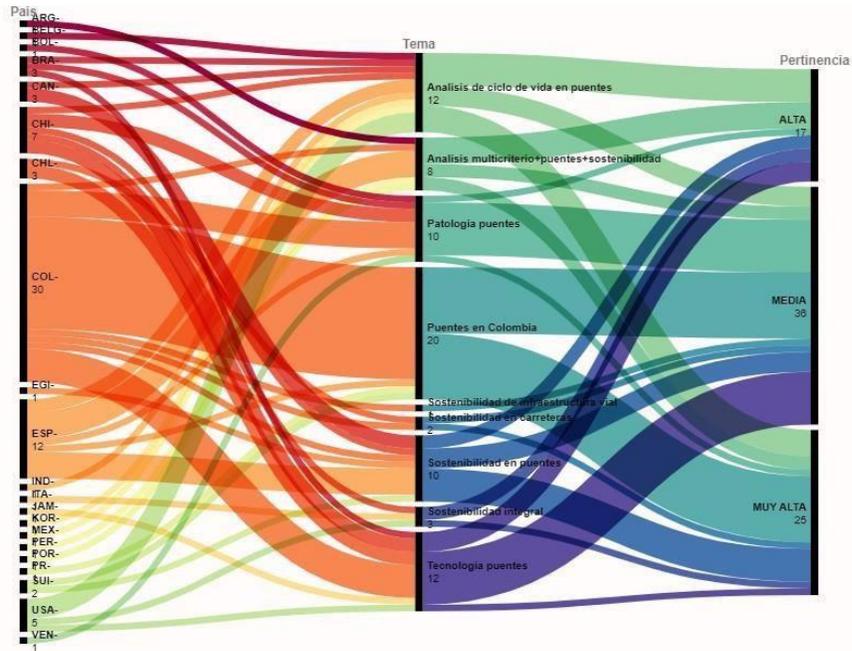


Ilustración 8. Gráfico aluvial - año – tema – país – pertinencia.  
Fuente: Elaboración propia.

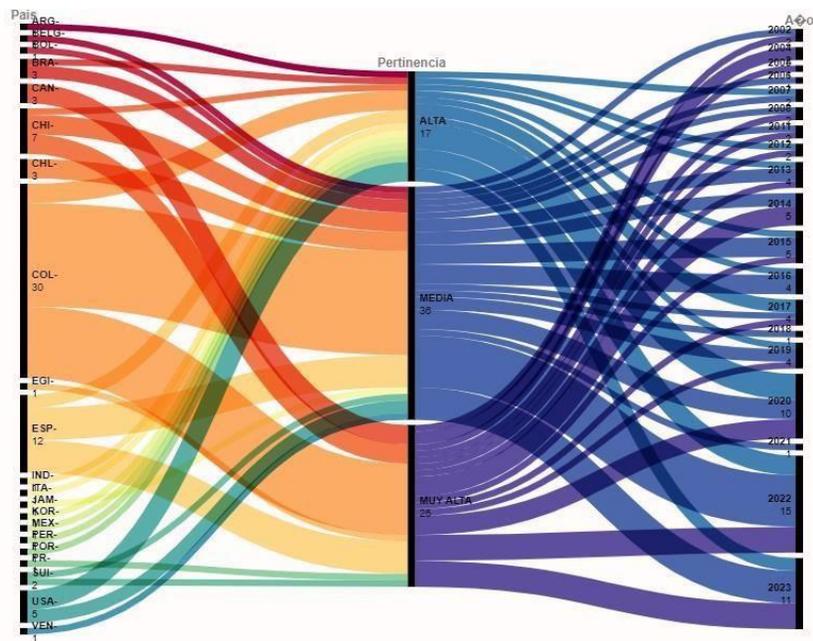


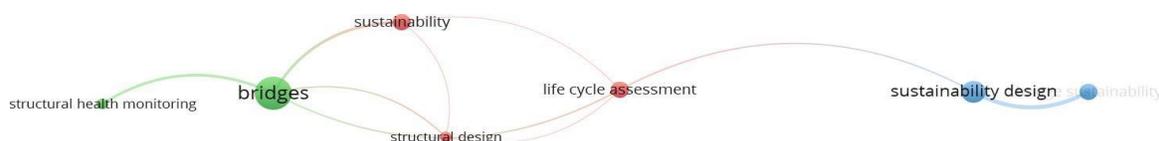
Ilustración 9. Gráfico aluvial - año – pertinencia – país.  
Fuente: Elaboración propia.

El gráfico es coherente con las publicaciones con conceptos de sostenibilidad que corresponden a una pertinencia muy alta con países de Europa, Asia y Norte América, principalmente.

Las publicaciones de (en su orden) Colombia, España, EUA y China tienen pertinencia alta en el estudio que se adelanta.

## 2.4 ANÁLISIS DE RELEVANCIA DE TÉRMINOS CON EL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

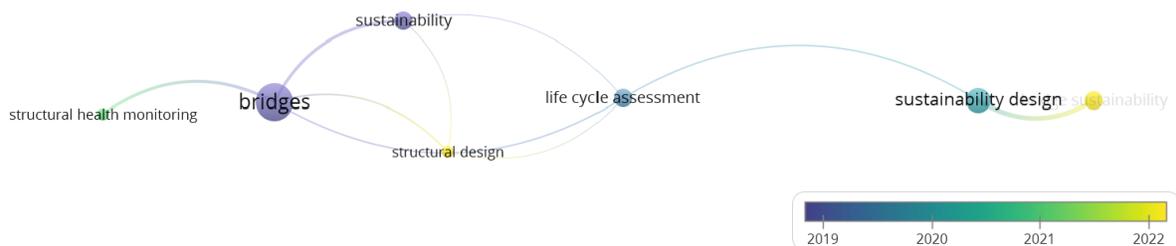
Se toman todas las publicaciones y se ingresan a la herramienta Mendeley, validando que se carguen adecuadamente los datos para un correcto análisis. Realizado este trabajo, se genera el archivo \*.ris, el cual se importa al software de análisis VOS viewer, que sirve como herramienta para analizar temas, conceptos e intercomunicación de estos con estudios y referencias de todos los documentos que se analizan. Los resultados de las gráficas del VOS viewer ® se muestran a continuación:



*Ilustración 10. Red Bibliométrica de fortaleza de términos de las publicaciones con el objeto de estudio.*

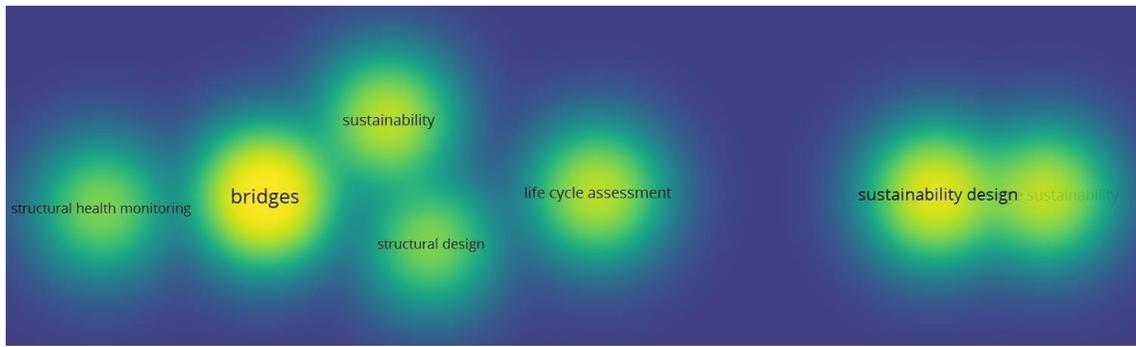
*Fuente: Elaboración propia.*

Se muestran una interrelación importante entre el objeto de estudio –el puente– y conceptos como sostenibilidad, ciclo de vida, diseño estructural e impacto ambiental y cultural [20]. Se observan conceptos que aportan, pero que no se encuentran totalmente interrelacionados, que son: diseño sostenible, sostenibilidad de puentes y vulnerabilidad sísmica.



*Ilustración 11. Red Bibliométrica de fortaleza de términos con la tendencia por años.*

*Fuente: Elaboración propia.*



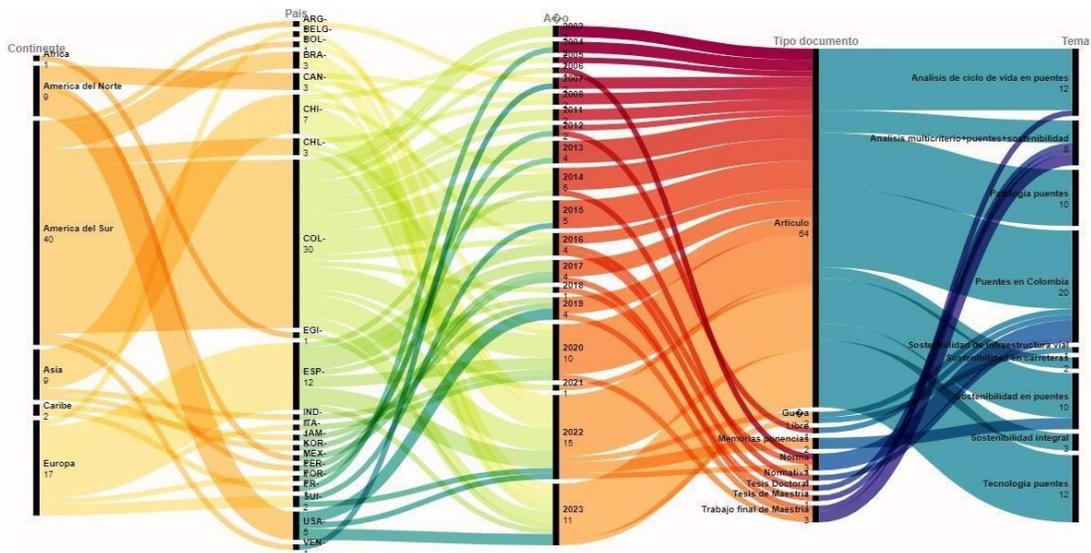
*Ilustración 12. Radiografía de la red bibliométrica por densidades según fortaleza de términos.*

*Fuente: Elaboración propia.*

La incorporación de los conceptos de diseño estructural, sostenibilidad de puentes, monitoreo estructural y diseño sostenible, aplicados específicamente a puentes, se viene dando sobre todo hace 5 años, aproximadamente.

### 3. DISCUSIÓN

Se consolidan los conceptos interrelacionados en nuevas graficas aluviales que se vinculan a partir de las gráficas anteriormente mostradas y, de acuerdo con los resultados obtenidos, se discuten los resultados:



*Ilustración 13. – Grafica aluvial – espacial, temporal, tipo publicación y tema.*

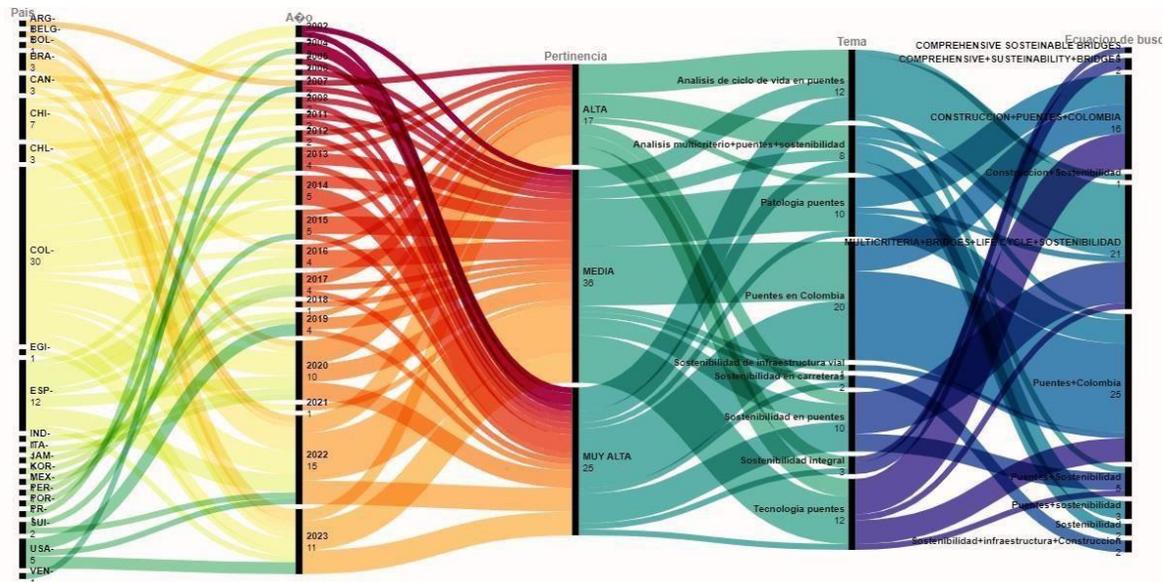
*Fuente: Elaboración propia.*

En Colombia, en las últimas dos décadas se ha estado hablando de sus puentes vehiculares, principalmente desde evaluaciones patológicas [7][12], la actualización normativa y nuevas tendencias en el análisis y diseño estructural, pero ha sido nulo el dialogo con conceptos de sostenibilidad y ciclo de vida.

España ofrece información técnica importante en cuanto a análisis de sostenibilidad en proyectos de infraestructura, puentes vehiculares y ferroviarios, y ACV y AMC para la definición de las mejores tipologías de puentes, analizados desde la sostenibilidad.

El diálogo en cuanto a sostenibilidad de obras de infraestructura se concentra en la última década y se vuelve transversal a sostenibilidad de puentes vehiculares en todo el mundo. Si se analiza desde Colombia, es muy poco lo que se habla de sostenibilidad de puentes vehiculares.

Existe una concentración importante de publicaciones entre los años 2000 y 2015 que hablan de puentes en Colombia, principalmente de evaluaciones patológicas [13], artículos de análisis de colapsos y estudios de fallas y lesiones en puentes de estructura metálica y concreto con refuerzo activo y pasivo [14], así como los retos que implica la implantación, construcción y operación de puentes en el territorio colombiano.



*Ilustración 14. Gráfica aluvial: espacial, temporal, tipo publicación y tema.  
Fuente: Elaboración propia.*

Las publicaciones en cuanto a sostenibilidad, análisis de ciclo de vida y tecnología en puentes evidencian las oportunidades para que lo documentado en Colombia, no se repita [5].

#### 4. CONCLUSIONES Y DESAFÍOS

El concepto de sostenibilidad integral aplicado a los puentes vehiculares y, en general, a proyectos de construcción, es un concepto poco explorado. Se dejan ver asomos de pensamientos holísticos basados en la sostenibilidad, pero no pensado desde las lecciones aprendidas, errores, fallas y en general, retos y oportunidades para generar un concepto global de la sostenibilidad.

En Colombia se ha estado documentado en las últimas dos décadas los puentes vehiculares, principalmente en cuanto a causas de fallas y colapsos, contando con importantes publicaciones, entre las que destacan los autores Edgar Muñoz (autor y coautor en ocho publicaciones, entre ellas el libro *“Ingeniería de puentes – Reseña histórica, tipología, diagnóstico y recuperación”*, Edgar Balbuena (autor y coautor en tres publicaciones), David Gómez (autor y coautor en tres publicaciones) y el Instituto Nacional de Vías (con las normativas: *“Código Colombiano de Diseño de Puentes CCP14”*, *“Metodología para la evaluación de la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura de transporte AIKA.”* y *“Manual para la inspección visual de puentes y pontones.”*). Toda esta información es valiosísima y debe ser armonizada con los criterios y conceptos actuales de sostenibilidad, análisis multicriterio, análisis de ciclo de vida y tecnología en puentes [17].

En el mundo se ha venido hablando de la sostenibilidad de puentes en las últimas dos décadas, más que todo en obras de infraestructura que involucran puentes vehiculares. Esto representa una gran oportunidad desde lo académico y profesional para aplicar el concepto de sostenibilidad integral en puentes vehiculares en Colombia.

Si bien en Colombia se habla muy poco de la sostenibilidad de puentes vehiculares, se tiene una importante base de datos en cuanto a análisis de fallas, lesiones y colapsos en los últimos 40 años, esta información es fundamental, pues permitirá incorporar conceptos de sostenibilidad a puentes, partiendo de las lecciones aprendidas en procura de la consolidación del concepto de sostenibilidad integral de puentes en Colombia.

Llama la atención, gratamente, que el Instituto Nacional de Vías se esté adentrando recientemente (2022), al incorporar conceptos de sostenibilidad, generando guías didácticas para la aplicación de estos criterios a proyectos de infraestructura.

Es necesaria la reflexión en cuanto a que la integración de los conceptos de ética, cultura, sociedad y ambiente, con componentes financieros, económicos y técnicos, contribuyen a la construcción del concepto de sostenibilidad integral.

#### REFERENCIAS

##### Libros:

- [1] A. Andrić, *Un puente sobre el Drina*, Barcelona, España: Destino, 1996.
- [2] E. E. Muñoz Díaz, *Ingeniería de puentes*, Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, 2010.
- [3] J. Aznar Bellver and F. Guijarro Martínez, *Nuevos métodos de valoración: Modelos multicriterio*, 2nd ed., Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València, 2011.

[4] C. Romero, *Análisis de las decisiones multicriterio*, Madrid, España: ISDEFE, 1996.

**Artículos en revistas especializadas:**

[5] D. L. Aldana-Rodríguez, D. L. Ávila-Granados, and J. A. Villalba-Vidales, "Use of unmanned aircraft systems for bridge inspection: A review," *DYNA*, vol. 88, no. 217, pp. 32–41, 2021.

[6] J. Anderson Sánchez, D. Gómez, and P. Thomson, "Análisis de la interacción humano-estructura en puentes peatonales de Santiago de Cali," *DYNA*, vol. 80, pp. 86–94, 2013.

[7] J. Carrillo, L. A. Londoño, J. Alejandra, and M. Figueroa, "Statistical Assessment of Bridge Collapse in Colombia by Blast Loading," *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 24, no. 2, 2014.

[8] J. Quintero Gonzalez, "Road Inventories and the Road Net Categorization in the Traffic and Transport Engineering Studies," *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*, vol. 20, no. 30, 2011.

[9] L. F. Macea, L. G. Fuentes, and A. E. Álvarez, "Evaluación de factores camión de los vehículos comerciales de carga que circulan por la red vial principal," *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, vol. 66, 2013.

[10] J. M. G. Giraldo, J. Ospina Giraldo, and A. G. Gómez, "La infraestructura de puentes en las vías secundarias del departamento de Antioquia," *Revista EIA*, vol. 11, no. 22, 2014.

[11] B. Muñoz and M. G. Romana, "Application of Multicriteria Decision Methods in Evaluating Alternative Solutions for Transportation Facilities," *Revista Pensamiento Matemático*, vol. 6, no. 2, 2016.

[12] E. E. Muñoz Díaz, "Estudio de las causas del colapso de algunos puentes en Colombia," *Revista Ingeniería y Universidad – Pontificia Universidad Javeriana*, vol. 6, no. 1, 2002.

[13] E. Muñoz and D. Gómez, "Análisis de la evolución de los daños en los puentes de Colombia," *Revista ingeniería de construcción*, vol. 28, no. 1, pp. 37–62, 2013.

[14] E. Muñoz and Y. E. Valbuena, "Evaluación del estado de los puentes de acero de la red vial de Colombia," *Accidentes e Infraestructura Civil*, vol. 4, no. 2, 2004.

[15] Y. M. Ospina, J. Andrés, P. López, and J. Galindo Díaz, "The Behaviour of a Historic Masonry Arch Bridge Regarding Dynamic Loads," *Ingeniería e Investigación*, vol. 29, no. 3, 2009.

[16] M. A. Salgado-Gálvez, G. A. Bernal, and O. D. Cardona, "Evaluación probabilista de la amenaza sísmica de Colombia con fines de actualización de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14," *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, vol. 32, no. 4, pp. 230–239, 2016.

[17] J. Sebastián, G. Cardona, and A. G. Cabrera, "Using The Methodology BRIM (Bridge Information Modeling) as a Tool for Planning the Construction of a Concrete Bridge in Colombia," *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 24, no. 2, 2014.

[18] M. V. Hermenegildo Chávez and Y. Rueda Osuna, "Metodología de análisis multicriterio aplicación al crecimiento sostenible en la unión europea," *Gestión en el Tercer Milenio*, vol. 16, no. 31, 2013.

[19] T. Waas, J. Hugé, T. Block, T. Wright, F. Benitez-Capistros, and A. Verbruggen, "Sustainability Assessment and Indicators: Tools in a Decision-Making Strategy for Sustainable Development," *Sustainability*, vol. 6, no. 9, 2014.

- [20] F. Henriksson, K. Johansen, y S. Schütte, “Challenges when working with renewable materials: knocking on wood?,” *International Journal of Sustainable Engineering*, vol. 14, no. 6, pp. 1980–1987, 2021.
- [21] J. Peng, Y. Yang, H. Bian, J. Zhang, y L. Wang, “Optimisation of maintenance strategy of deteriorating bridges considering sustainability criteria,” *Structure and Infrastructure Engineering*, vol. 18, no. 3, pp. 395–411, 2020. Disponible: <https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1855215>.
- [22] M. J. Dorado-Rubín, M. J. Guerrero-Mayo, y C. J. Navarro-Yáñez, “Integrality in the Design of Urban Development Plans. Analysis of the Initiatives Promoted by the EU in Spain,” *Land*, vol. 10, no. 10, p. 1047, 2021. Disponible: <https://doi.org/10.3390/land10101047>.
- [23] L. Aguilar Martínez y Y. Escandón Bedoya, Identificación de indicadores de sostenibilidad aplicados al diseño y construcción de puentes. Universidad de Cartagena, 2022. Disponible: <https://hdl.handle.net/11227/15280>.

#### **Artículos presentados en conferencias:**

- [24] E. Maldonado, G. Chio, J. R. Casas, and J. Canas, “Evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica de puentes en Bucaramanga (Colombia),” in *Segundo Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica*, Granada, España, May 2011.

#### **Sitios web:**

- [25] INVIAS, “Metodología para la evaluación de la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura de transporte AIKA.” Available: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/cnsc/sostenibilidad/13155-metodologia-para-la-evaluacion-de-la-sostenibilidad-de-los-proyectos-de-infraestructura-de-transporte-aika>. [Accessed: Aug. 9, 2024].
- [26] INVIAS, “Manual para la inspección visual de puentes y pontones.” Available: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/976-manual-para-la-inspeccion-visual-de-puentes-y-pontones>. [Accessed: Aug. 9, 2024].

#### **Trabajos de grado:**

- [27] P. Vicent and P. Plà, “Aplicación de la toma de decisión multi-criterio al diseño sostenible de puentes de hormigón,” M.S. thesis, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2017.
- [28] J. Zapata Álvarez, N. Doried, J. Toro, L. María, and Q. Gaviria, “Prototipo de matriz multicriterio para soluciones viales. Caso: Intercambio vial de Mayorca,” B.S. thesis, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Medellín, Colombia, 2022.
- [29] J. P. Ainchil, L. Gonzalo, and R. Schneider, “Estudio de diferentes tipologías de puentes desde el punto de vista de su sostenibilidad,” M.S. thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelonatech, Barcelona, España, 2020.
- [30] J. Pablo, V. Sánchez, D. Restrepo Hincapié, J. Manuel, and G. Sierra, “Análisis de alternativas para la intersección de la carrera 43a con la calle 4 sur,” B.S. thesis, Universidad EIA, Envigado, Colombia, 2021.