

4

Resultados

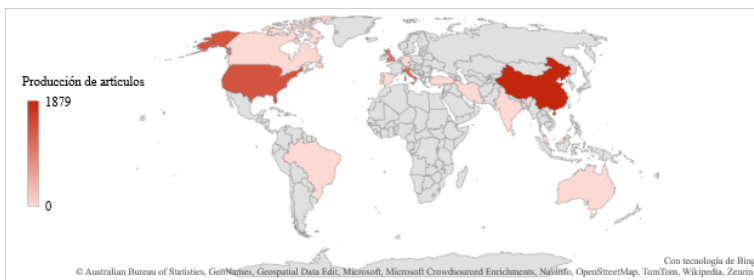
...

4.1 Estado del arte

El término sostenibilidad tiene múltiples enfoques, entendimientos y perspectivas según la disciplina, como pasa igualmente en la ingeniería. Algunos temas medioambientales como el cambio climático, el desarrollo sostenible y la ingeniería verde captan la atención a nivel nacional e internacional, según lo evidenciado en el estado del arte realizado. Debido a lo anterior, se puede ilustrar que no existen temas considerados como fundamentales, evidenciándose una alta producción documental en diversas temáticas de manera simultánea.

En la Figura 46 se presenta un primer acercamiento según la producción de acuerdo con el país, donde se destaca China como el país de mayor producción al alcanzar 1.879 documentos, seguido por Estados Unidos con 1.396 artículos, Italia con 1.200 y, finalmente, Reino Unido con 1.060.

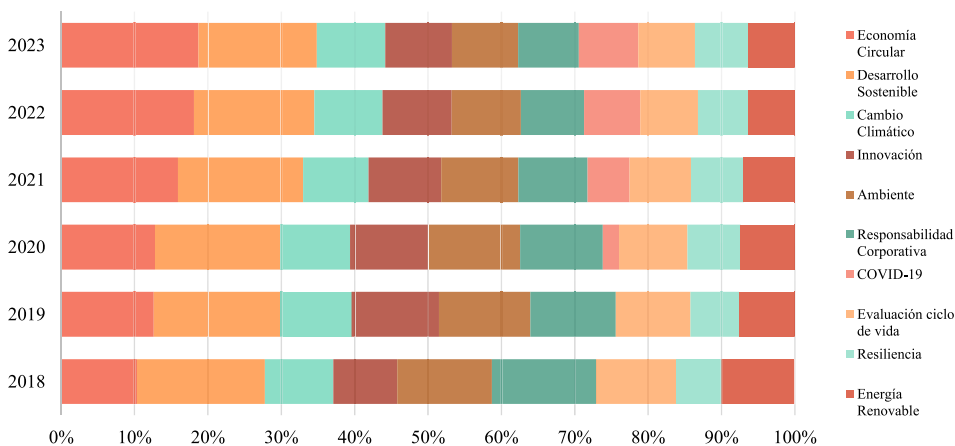
Figura 46. Producción geográfica de documentos



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en la Figura 47 se expone la importancia de los conceptos clave en la producción literaria en los últimos 6 años. Este grado de importancia se expresa como el porcentaje de documentos que abarcan el concepto sobre el total de documentos publicados en el año, así se pueden ilustrar los ejes temáticos y su desarrollo longitudinal en un periodo temporal. De manera general, no se evidencian temas con un grado mayor de importancia, es decir, han mantenido su participación a lo largo del tiempo; a excepción del COVID-19, el cual, desde el 2020, pasó de un 2.0 a un 8.1 % como se evidencia a continuación.

Figura 47. Comportamiento de las temáticas clave



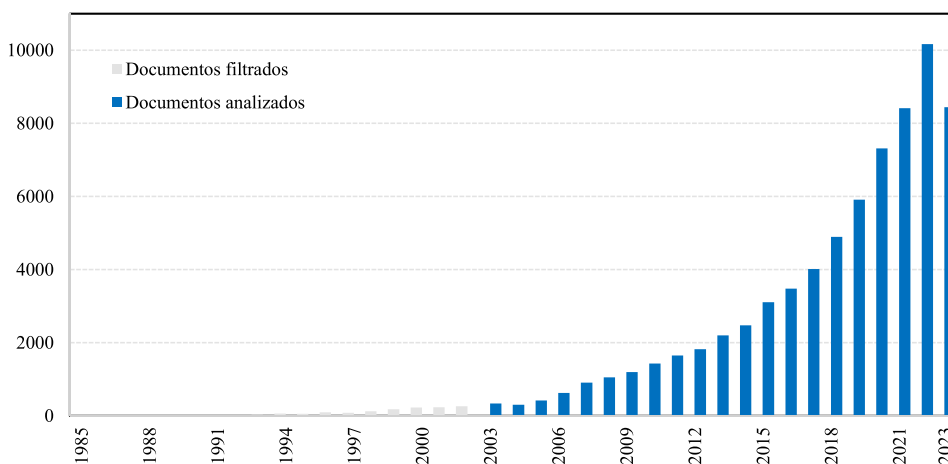
Fuente: Elaboración propia.

4.1.1 Datos bibliométricos sobre sostenibilidad

Con el propósito de desarrollar un estado del arte robusto, se hicieron 3 ecuaciones de búsqueda de forma independiente para evidenciar y condensar tendencias respecto a los ejes temáticos abordados. La primera, en relación con el concepto de sostenibilidad en la ingeniería, la segunda, contempla el concepto de sostenibilidad en proyectos de construcción, por último, la tercera comprende la sostenibilidad en la gerencia de proyectos de construcción. Los filtros utilizados son: estado del documento finalizado, tipología, libros y artículos de investigación y reflexión. El área de conocimiento se delimitó a ingeniería y ciencias administrativas, negocios y contabilidad en relación con los sectores de

mayor contribución a los PIB regionales. En la Figura 48 se expone la tendencia del comportamiento histórico de publicaciones en el tema de sostenibilidad. Basados en los hallazgos evidenciados se decidió elegir el rango 2003-2023 como el más representativo.

Figura 48. Comportamiento histórico de publicaciones relacionadas con sostenibilidad



Fuente: Elaboración propia.

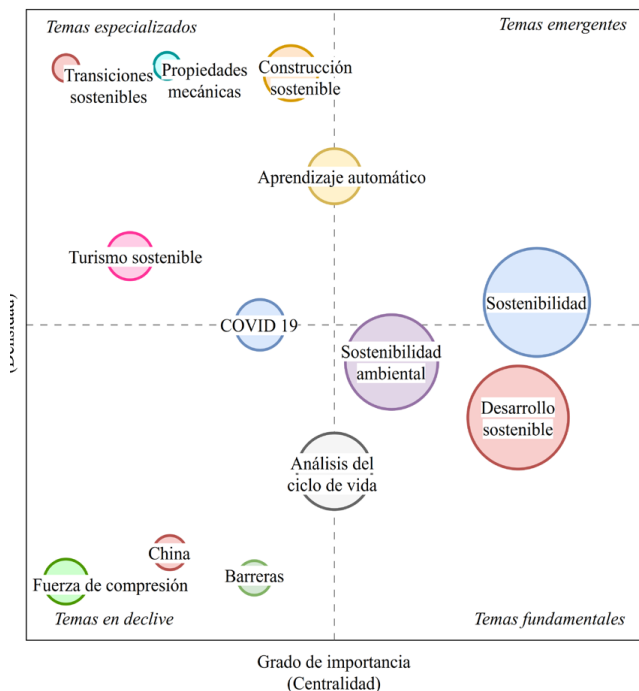
- **Comportamiento estructural**

La sostenibilidad por su misma pluralidad y multidisciplinariedad vincula una gran cantidad de temas y subtemas fuertemente relacionados, los cuales han ido coevolucionando o desaparecen según el contexto global en el que se desarrollan. De esta manera, la Figura 49, presenta el panorama general de las tendencias en el tema dentro del periodo estudiado, 2003-2023, donde el volumen de los círculos corresponde a la cantidad de documentos que contienen la palabra clave.

Se puede evidenciar entonces, producto del estado del arte y de los análisis bibliométricos, que en el cuadrante superior derecho no se presenta ninguna temática particular, por lo que no se evidencian temas emergentes. En contraste, temas como desarrollo sostenible, sostenibilidad y sostenibilidad ambiental, se presentan como fundamentales

y de mayor presencia, pues se han mantenido vigentes en el campo de la producción científica como palabras clave en los documentos estudiados. En el cuadrante inferior colindante, se encuentran los temas en declive, que corresponden a conceptos cuyo enfoque particular limita su rango de aplicación dentro de la sostenibilidad. Por su parte, el cuadrante superior izquierdo, tiene mayor presencia temática con conceptos especializados como turismo sostenible, transiciones sostenibles, propiedades mecánicas y construcción sostenible que, a su vez, evidencian mayor desarrollo en el campo, sin embargo, la cantidad de documentos que contiene cada uno es baja. Finalmente, conceptos fronterizos como aprendizaje automático, COVID-19 y análisis del ciclo de vida, corresponden a temas con alto grado de importancia al contar con una posición central, sin embargo, en el caso de los dos últimos, su importancia es inferior y su tendencia apunta al declive, debido a la posición inferior izquierda que presentan, como se evidencia a continuación:

Figura 49. Tendencias en sostenibilidad

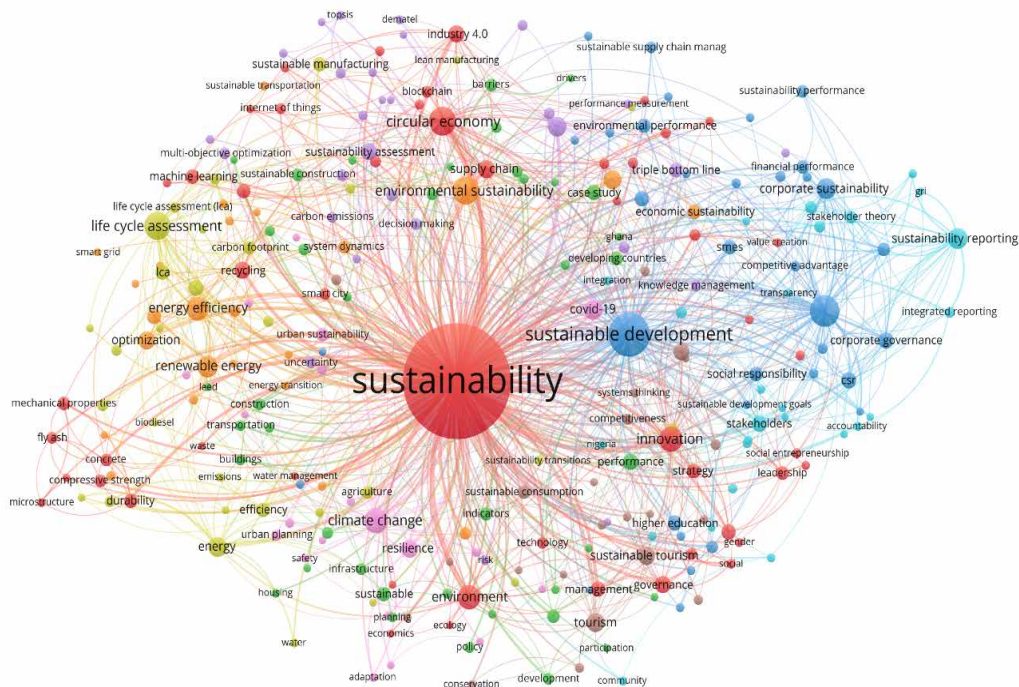


Fuente: Elaboración propia.

- **Interacción temática**

Según se ha destacado en toda la conceptualización teórica, la sostenibilidad involucra tres dimensiones: social, económica y ambiental, que a su vez incluyen una enorme cantidad de temas, como se presenta en la Figura 50. Reafirmando el abordaje teórico del presente libro y los ejes temáticos del mismo. Entiéndase el tamaño de los círculos como el nivel de representatividad del tema, los colores como la categorización de términos, y las líneas como el número de conexiones existentes entre ellos. De este análisis bibliométrico, se evidencia cómo la sostenibilidad actúa a modo de eje de conexión con una gran cantidad de temas aparentemente dispersos, pero relacionados en su esencia. Exceptuando el tema central, el desarrollo sostenible, marcado con color azul, se destaca en la red con un nivel de participación superior, del cual desembocan diversos temas de menor representatividad, pero que en conjunto fortalecen el adelanto general de la temática, como sostenibilidad corporativa, responsabilidad social, desempeño financiero, educación superior, objetivos de desarrollo sostenible, entre otros. Lo mismo sucede con la evaluación del ciclo de vida, tema identificado con color amarillo, de alta pertinencia en la gerencia de proyectos, el cual genera otro importante número de conexiones enmarcadas dentro de su propia temática con conceptos importantes como energía, producción sostenible y eficiencia. Finalmente, el tercer grupo destacado, identificado con color morado, involucra conceptos de menor participación en la literatura científica como DEMATEL y TOPSIS, sin embargo, aportan al macroconjunto. En general, la sostenibilidad como tema de interés en la comunidad científica se desenvuelve dentro de un amplio conjunto temático debido a la diversidad de temas que toca en su concepción multidisciplinar.

Figura 50. Red de interacción temática asociada a sostenibilidad



Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.1 Sostenibilidad en ingeniería

A partir de los criterios de búsqueda, se obtuvo un total de 71.907 documentos, los cuales, se dividen en 71.183 artículos de investigación y 724 artículos de revisión. En relación con la cantidad de publicaciones, estas han tenido un aumento considerable desde el 2003, pasando las 1.000 publicaciones al año en 2008, 2.000 en 2013, 3.000 en 2015, 5.000 en 2019 y 8.000 en 2021. Así, a continuación, se presentan los resultados de los análisis bibliográficos.

- **Resumen de resultados**

Tabla 10. Resumen ecuación búsqueda N. 1

Variable	Valor
Rango	1985-2023
Número de revistas	4.485
Número de documentos	71.907
Citación promedio por documento	4
Autores	134.700
Autores por documento	1
Cooperación internacional	28.5 %

Fuente: Elaboración propia.

- **Palabras clave**

En total, se analizaron 43.424 palabras clave. El top 5 de las más frecuentes se presentan en la Tabla 11.

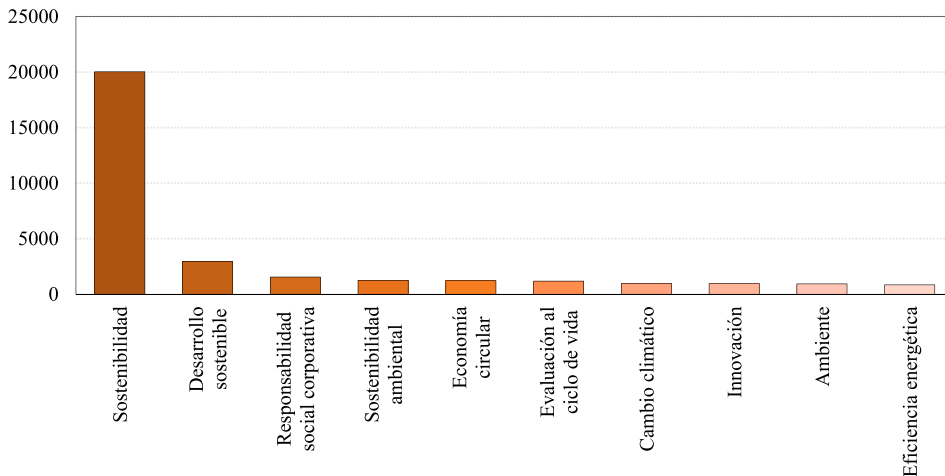
Tabla 11. Top 5 de palabras clave, ecuación de búsqueda N. 1

Palabra clave	Artículos
Sostenibilidad	20.026
Desarrollo sostenible	2.956
Responsabilidad social corporativa	1.549
Sostenibilidad ambiental	1.250
Economía circular	2.214

Fuente: Elaboración propia.

Existen otros conceptos como economía circular, concreto, durabilidad, eficiencia energética e industria de la construcción que poseen un alto impacto. En la Figura 51, se presenta la cantidad de repeticiones del top 10 de palabras clave.

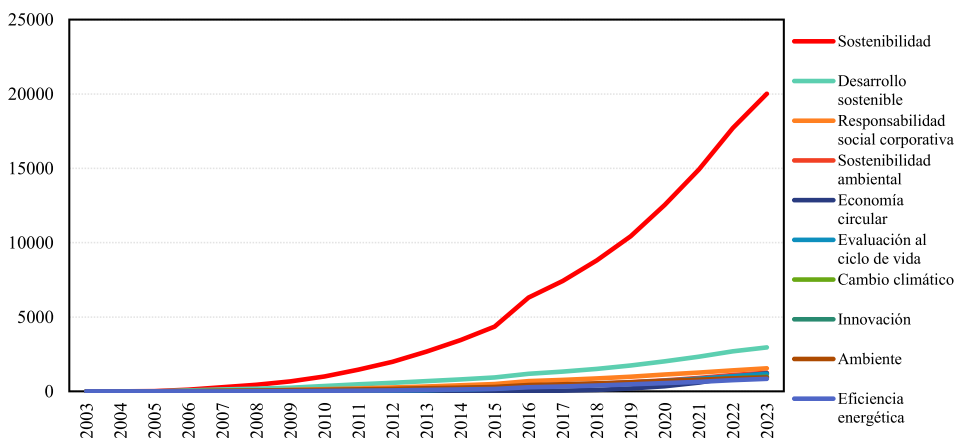
Figura 51. Palabras clave, ecuación de búsqueda N. 1



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, palabras como ambiente, responsabilidad social, COVID-19, evaluación del ciclo de vida del proyecto y resiliencia, resaltan dentro de los conceptos. La representación gráfica se muestra en la Figura 52.

Figura 52. Comportamiento de palabras clave, ecuación de búsqueda N. 1

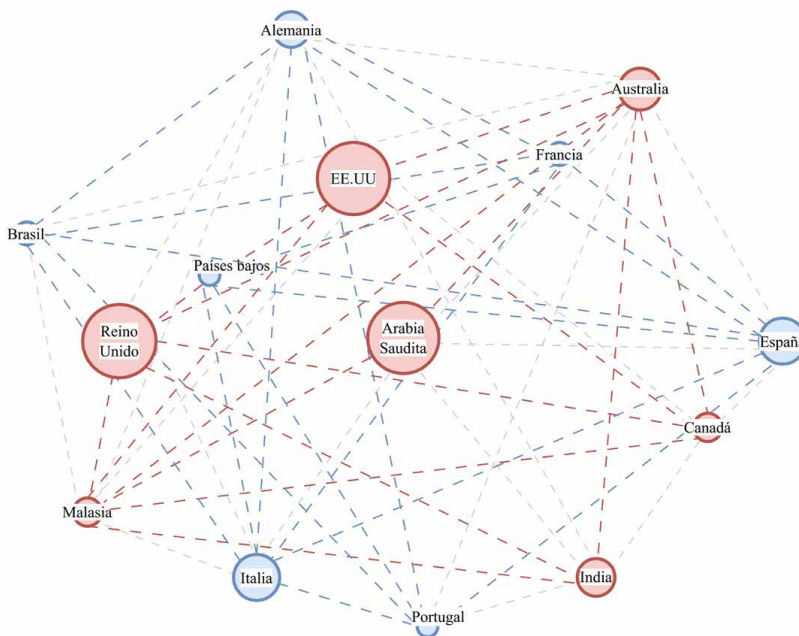


Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis de redes**

Con relación a la publicación y colaboración entre países, las publicaciones se concentran en China, Reino Unido, Estados Unidos, Canadá e India; con una alta colaboración entre estos países. De manera homogénea, existe otro grupo compuesto por España, Italia, Brasil, Alemania y Portugal, el cual es más disperso en relación con su ubicación geográfica, sin embargo, interactúa en su producción documental. Las relaciones descritas se presentan en la Figura 53.

Figura 53. Colaboración entre países, ecuación de búsqueda N. 1



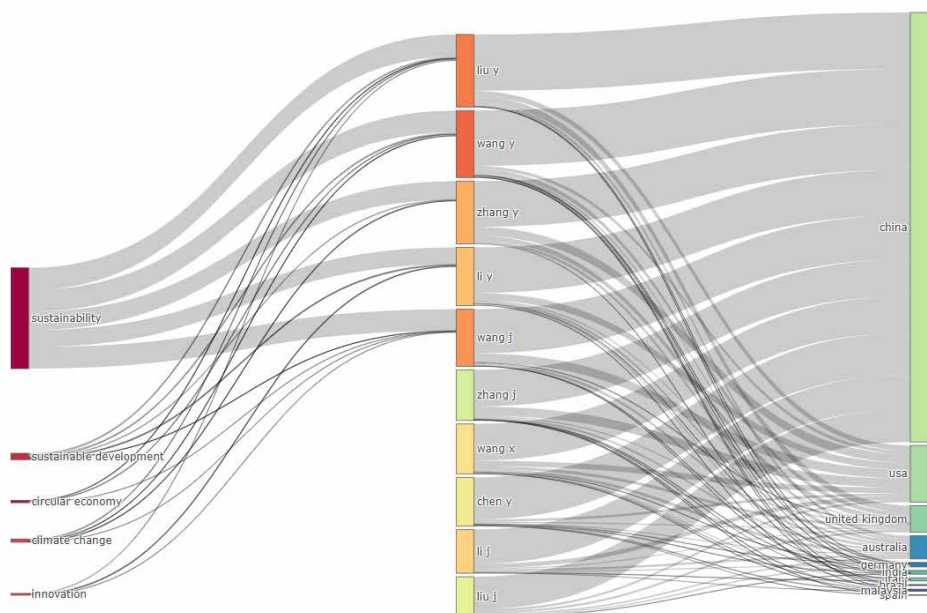
Fuente: Elaboración propia.

- **Autores y revistas de alto impacto**

En relación con las palabras clave, autores más citados y fuentes de publicación, el concepto de sostenibilidad abarca la mayor parte de las publicaciones y los autores con mayor producción científica, donde estos mismos autores trabajan en temáticas semejantes, sin

embargo, no al mismo nivel de la temática central. Por su parte, otros autores como Zhang J y Wang X, tratan otros temas asociados, sin embargo, su presencia es baja, por lo que no se encuentran entre las palabras clave comúnmente tratadas. Finalmente, en relación con los países, China tiene revistas y autores que concentran las publicaciones, seguido por países angloparlantes como Estados Unidos y Reino Unido. La representación gráfica de las relaciones se presenta en la Figura 54.

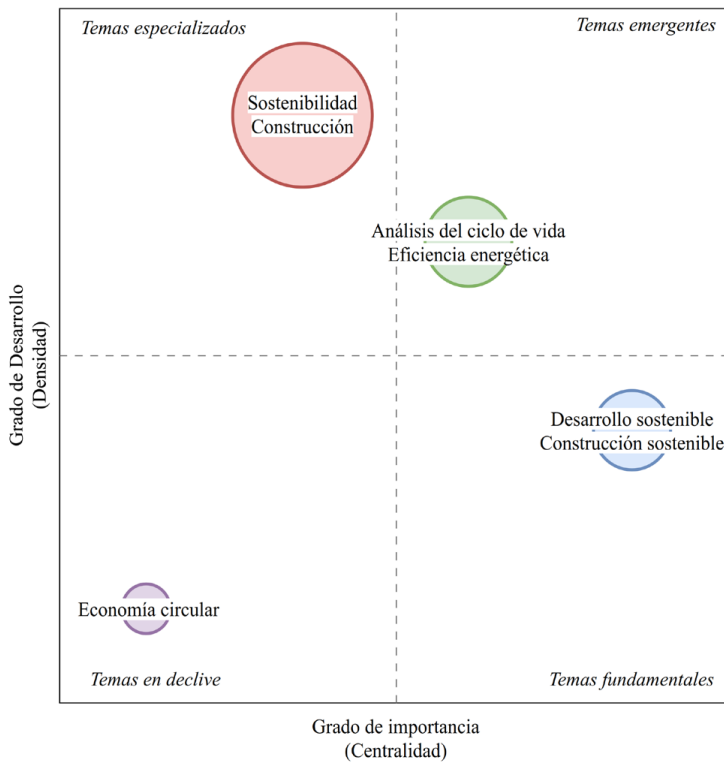
Figura 54. Relación entre palabras clave, autores y países, ecuación de búsqueda N. 1



Fuente: Elaboración propia.

- **Comportamiento estructural**

El concepto de sostenibilidad tiene una amplia gama de aplicaciones. Las temáticas relacionadas con fines medioambientales como el cambio climático y el desarrollo sostenible tienen un alto impacto en las investigaciones. Debido a su alta variedad de temas, no existen temas especializados y temas fundamentales. La Figura 55 presenta la clasificación temática asociada a los conceptos clave.

Figura 55. Tendencias de sostenibilidad en ingeniería

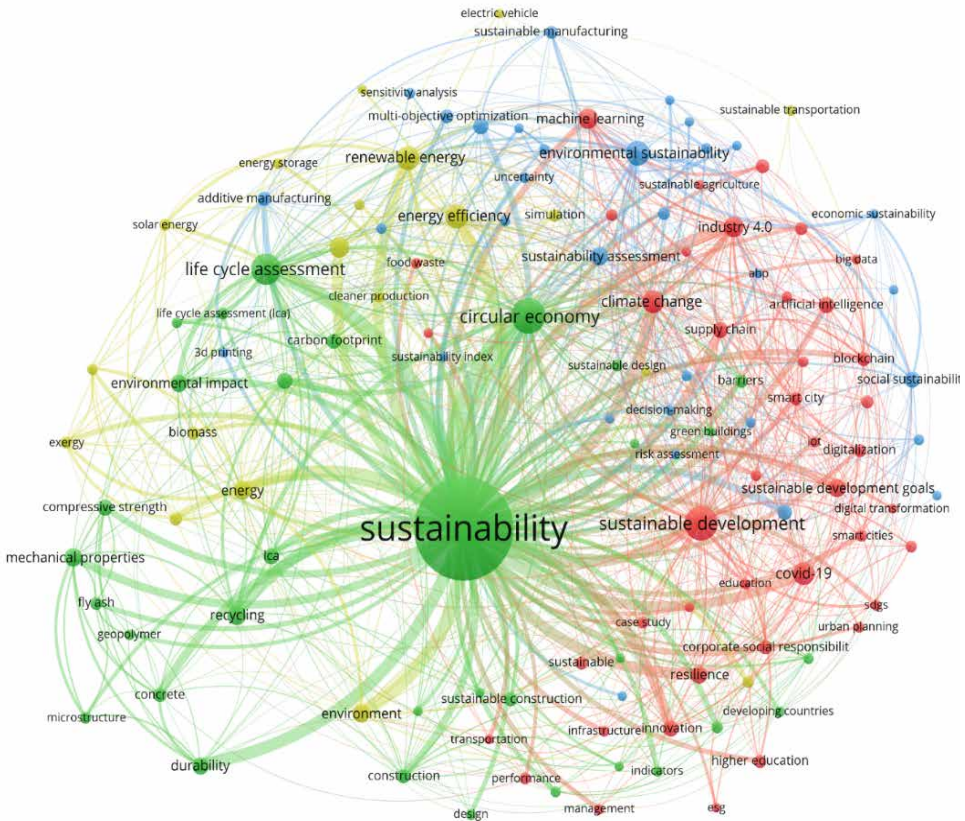
Fuente: Elaboración propia.

La distribución temática que se presenta en el plano presenta temas puntuales por cuadrante. En el primer cuadrante, ubicado en la zona superior derecha, se presenta el análisis del ciclo de vida y la eficiencia energética como temas emergentes con un grado de desarrollo destacable dentro de la temática. Seguido, en el cuadrante inferior derecho, el desarrollo y la construcción sostenible se establecen como temas fundamentales dentro de la sostenibilidad en ingeniería al combinar los temas de principal interés en el área. Por su parte, la economía circular se encuentra en el cuadrante inferior izquierdo, propio de los temas en declive, con una baja participación como palabra clave dentro de la producción documental y, finalmente, la sostenibilidad y construcción resaltan como los temas especializados de mayor desarrollo científico en el campo de la ingeniería.

- **Interacción temática**

El desempeño de la sostenibilidad en la ingeniería se ve marcada por diversos temas de interés como se presenta la Figura 56. En esta se muestran cuatro (4) campos temáticos diferenciables a través del color de tema y líneas de interacción. El primero de ellos, de color verde, destaca los temas principales relacionados con sostenibilidad en ingeniería, así, se presentan términos como reciclaje, propiedades mecánicas, evaluación del ciclo de vida y durabilidad. En el segundo caso, el desarrollo sostenible, de color rojo, acoge términos particulares asociados como cambio climático, ciudades inteligentes, industria 4.0 e infraestructura. En particular, la parte lateral izquierda de la red agrupa términos directamente asociados a la temática energética como energía renovable, eficiencia energética y energía solar. Finalmente, el último grupo, ubicado en la parte superior, demarcado con color azul, relaciona conceptos complementarios como análisis de sensibilidad, producción sostenible y evaluación de la sostenibilidad. En general, la red se caracteriza por una amplia diversidad temática compuesta por conceptos de baja participación en el campo documental, pero, fuertemente interconectados.

Figura 56. Red de interacción temática asociada a sostenibilidad en ingeniería



Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.2 Sostenibilidad en proyectos de construcción

A partir de los criterios de búsqueda, se obtuvo un total de 8.209 documentos, los cuales, se dividen en 7.247 artículos de investigación, 784 artículos de revisión y 178 libros. Por otro lado, la cantidad de publicaciones, demuestran un creciente interés por abordar esta área, se observa un incremento constante desde 2008 hasta 2016, y posteriormente se observa un comportamiento exponencial hasta la fecha. A continuación, se presentan los resultados de los análisis bibliográficos.

- **Resumen de resultados**

Tabla 12. Resumen ecuación búsqueda N. 2

Variable	Valor
Rango	1992-2023
Número de revistas y libros	1.512
Número de documentos	8.209
Citación promedio por documento	20
Producción por año	6
Autores	19.355
Autores por documento	3
Cooperación internacional	26.4 %

Fuente: Elaboración propia.

- **Palabras clave**

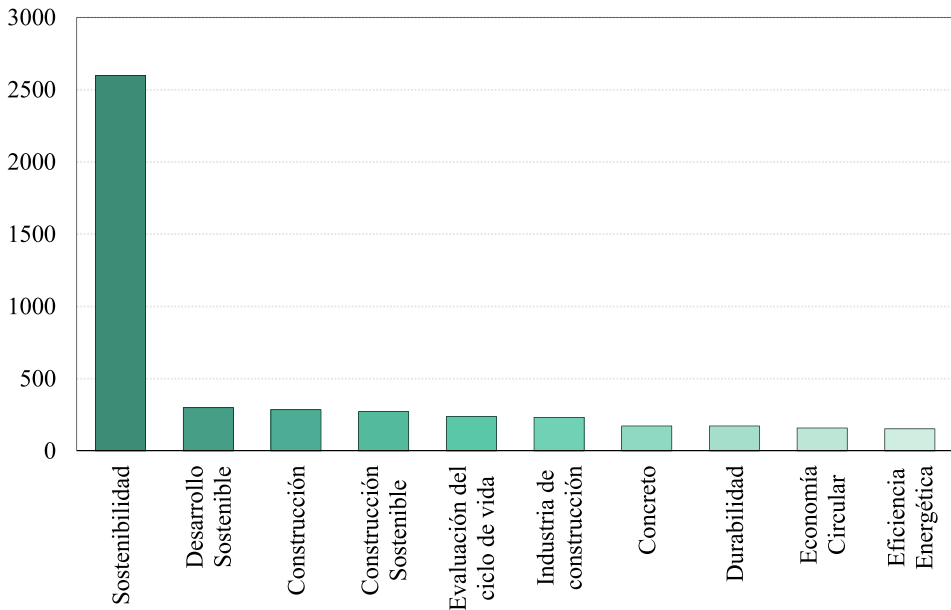
En total, se analizaron 23.129 palabras clave. El top 5 de las más frecuentes se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Top 5 de palabras clave, ecuación de búsqueda N. 2

Palabra clave	Artículos
Sostenibilidad	2.598
Desarrollo sostenible	299
Construcción	285
Construcción sostenible	272
Evaluación del ciclo de vida	238

Fuente: Elaboración propia.

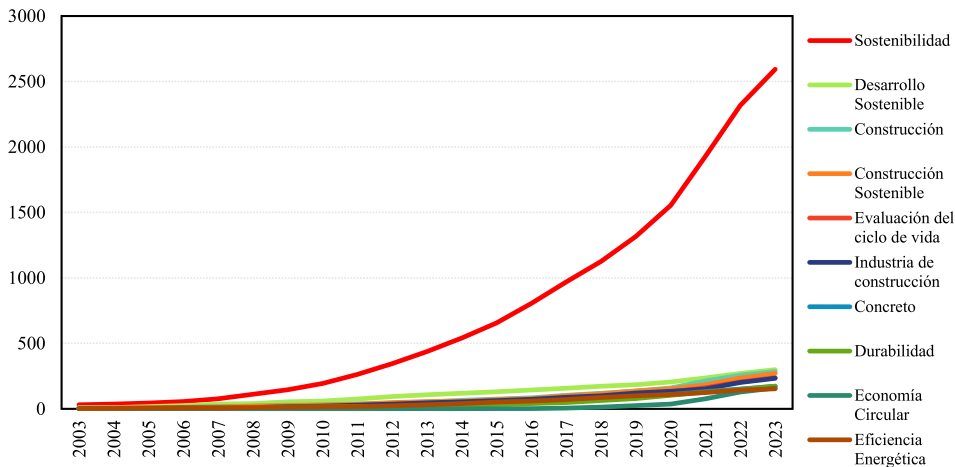
Existen otros conceptos como economía circular, concreto, durabilidad, eficiencia energética e industria de la construcción que poseen un alto impacto. En la Figura 57 se presenta la cantidad de repeticiones del top 10 de palabras clave.

Figura 57. Palabras clave, ecuación de búsqueda N. 2

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, es posible evidenciar que la palabra sostenibilidad juega un papel importante en la cantidad de publicaciones. Las demás palabras clave presentan un comportamiento similar, pero se destacan: desarrollo sostenible, construcción, construcción sostenible y evaluación del ciclo de vida, donde, el de mayor crecimiento corresponde a la sostenibilidad. La representación gráfica se presenta en la Figura 58.

Figura 58. Comportamiento de palabras clave, ecuación de búsqueda N. 2

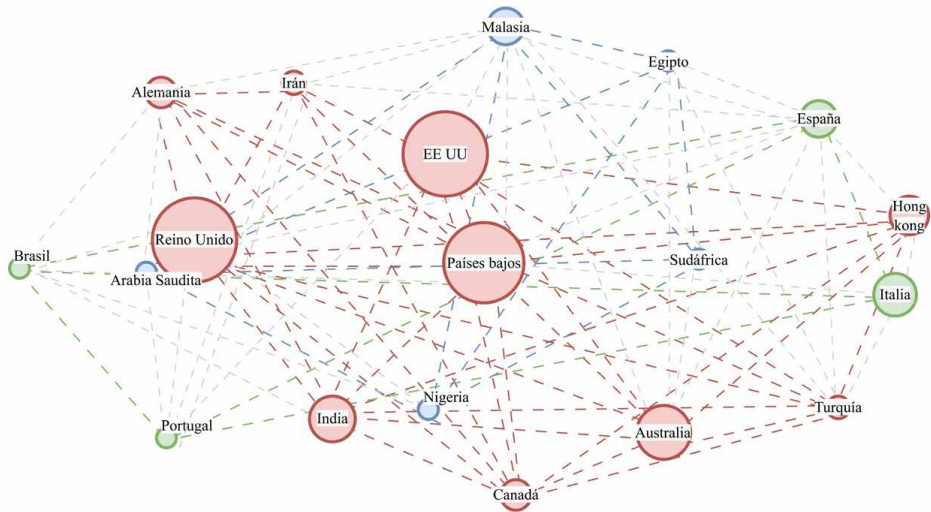


Fuente: Elaboración propia.

• Análisis de redes

Con relación a la publicación y colaboración entre países, las publicaciones se concentran en Estados Unidos, Reino Unido, Holanda y Australia, con una alta colaboración entre estos países. De manera homogénea, existen dos grupos más, el primero, como Nigeria, Egipto, Malasia y Sudáfrica, demuestra la cohesión entre regiones, mientras que el segundo grupo, demuestra disparidad en cuanto a su posición geográfica, pues se compone por Brasil, España, Italia y Portugal. Estas cohesiones se presentan en la Figura 59.

Figura 59. Colaboración entre países, ecuación de búsqueda N. 2

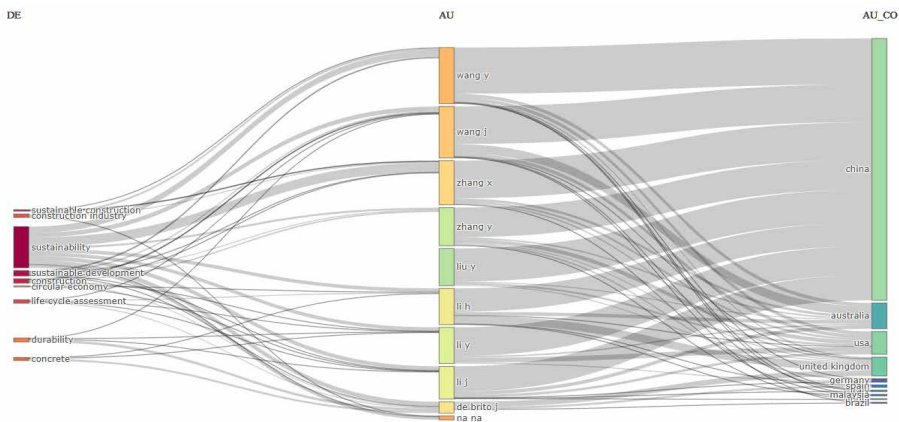


Fuente: Elaboración propia.

- **Autores y revistas de alto impacto**

De acuerdo con lo presentado por la Figura 60, en relación con las palabras clave, autores referentes y países, el concepto de sostenibilidad es ampliamente difundido y se considera como un tema motor; sin embargo, el concepto en sí, propiamente enfocado al impacto de los materiales, es un tema emergente. Por su parte, es evidente que los autores y niveles de publicación se concentran en China, seguido por países desarrollados como Australia, Estados Unidos y Reino Unido, mientras que, resulta notable la presencia de Brasil como país latinoamericano que ha iniciado investigaciones sobre el tema dentro de las condiciones estudiadas. Finalmente, es Tam el referente internacional en sostenibilidad, quien enfoca sus investigaciones en el componente humano y técnico dentro de la dimensión social de sostenibilidad en los proyectos de construcción.

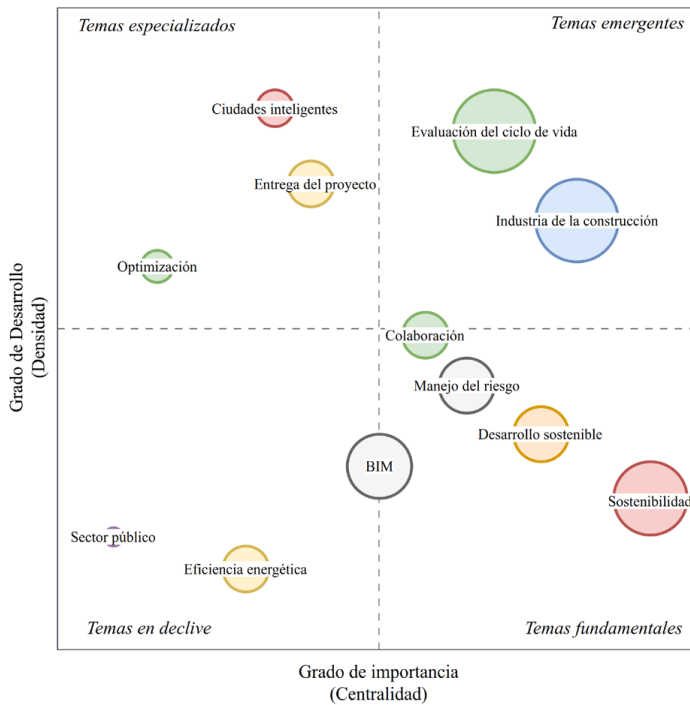
Figura 60. Relación entre palabras clave, autores y países, ecuación de búsqueda N. 2



Fuente: Elaboración propia.

- **Comportamiento estructural**

El concepto de sostenibilidad, enmarcado en los proyectos de construcción, tiene una amplia gama de aplicación. Los temas macro contienen conceptos como eficiencia energética, desarrollo y construcción sostenibles; por su parte, los conceptos especializados, abarcan temas como optimización de materiales, técnicas constructivas y herramientas para el monitoreo de edificaciones. En resumen, la Figura 61 presenta la clasificación temática asociada a los conceptos clave.

Figura 61. Tendencias en proyectos de construcción

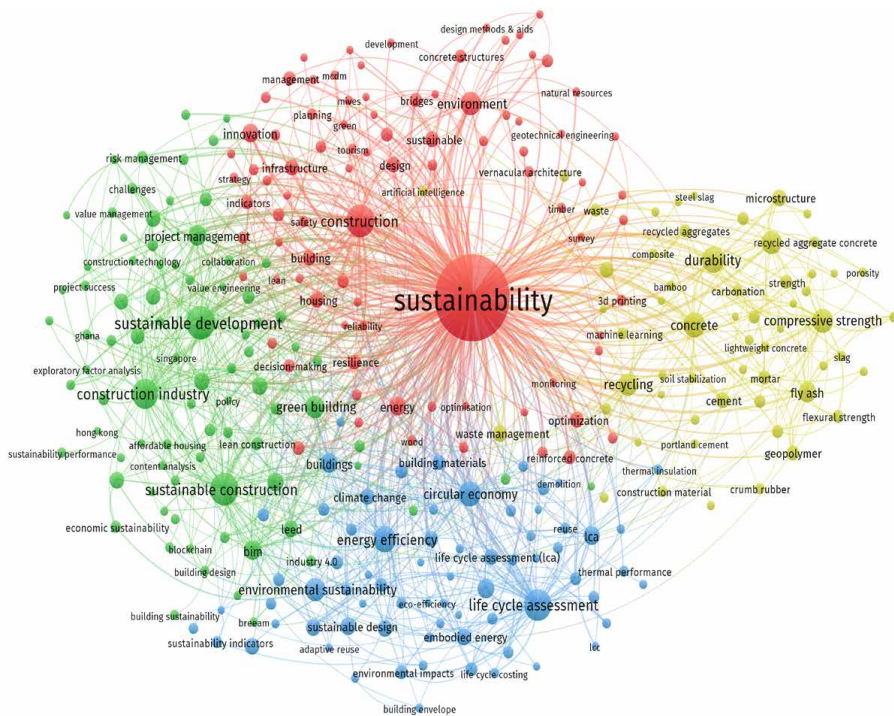
Fuente: Elaboración propia.

En el cuadrante superior derecho, los conceptos de evaluación del ciclo de vida y la industria de la construcción son temas emergentes, como conceptos relacionados con la sostenibilidad en infraestructura urbana (Bianchini & Hewage, 2012; Sierra et al., 2016). El cuadrante inferior derecho comprende temas fundamentales, destacando la sostenibilidad y el desarrollo sostenible en compañía de temáticas como manejo del riesgo, BIM y colaboración (Kisku et al., 2017; Vinod et al., 2020). Por su parte, en el cuadrante inferior izquierdo, se encuentran conceptos de eficiencia energética y sector público como temas en declive y de baja importancia, mientras que, en el cuadrante superior izquierdo se ubican temas especializados, los cuales, comprenden temáticas asociadas a ciudades inteligentes, optimización y entrega del proyecto (Ahn et al., 2013; Tam et al., 2018; Wangler et al., 2019).

• Interacción temática

Como se ha mencionado en diversas ocasiones, la sostenibilidad se presenta como un eje transversal que involucra diferentes disciplinas y, por ende, diferentes temáticas relacionadas (Kotob, 2011). Según se evidencia en la presente investigación en la Figura 62, la sostenibilidad es el constante centro conector de las temáticas comúnmente tratadas en la ecuación de búsqueda N. 1, asociada a proyectos de construcción.

Figura 62. Red de interacción temática asociada a proyectos de construcción



Fuente: Elaboración propia.

Materiales, procesos, industria y desarrollo sostenible, son los cuatro grupos principales de desenvolvimiento temático identificados con color amarillo, azul, verde y rojo, respectivamente; a su vez, estos implican conceptos particulares de aplicación en los documentos científicos consultados, cuyo nivel de participación se representa a través del tamaño

de los círculos. Así, excluyendo el eje temático central, se destacan conceptos como construcción, concreto, durabilidad, desarrollo sostenible, construcción sostenible, análisis del ciclo de vida, eficiencia energética, entre otros, los cuales se destacan dentro de la red de conexiones con círculos medianos, es decir, tienen un nivel de participación superior dentro de los documentos científicos a diferencia de conceptos como reutilización adaptativa, gestión del valor, planificación, estabilización de suelos, etc., que se encuentran presentes, pero su contribución no es significativa dentro del área. En general, se evidencia homogeneidad en los conceptos, pues son muy pocos los que se destacan en tamaño y, a su vez, presentan múltiples interconexiones entre ellos.

4.1.1.3 Sostenibilidad en gerencia de proyectos de construcción

A partir de los criterios de búsqueda, se obtuvo un total de 2.135 documentos, los cuales se dividen en 1.830 artículos de investigación, 245 artículos de revisión y 60 libros. Por otro lado, la cantidad de publicaciones, demuestran un creciente interés por abordar esta área, se observa un incremento constante desde 2007 hasta 2018, y posteriormente se observa un comportamiento exponencial hasta la fecha. A continuación, se presentan los resultados de los análisis bibliográficos.

- **Resumen de resultados**

Tabla 14. Resumen ecuación búsqueda N. 3

Variable	Valor
Rango	1992-2023
Número de revistas y libros	631
Número de documentos	2.135
Citación promedio por documento	21
Producción por año	6
Autores	5.865
Autores por documento	3
Cooperación internacional	27.4 %

Fuente: Elaboración propia.

• **Palabras clave**

En total, se analizaron 5.636 palabras clave. El top 5 de las más frecuentes se presentan en la Tabla 15.

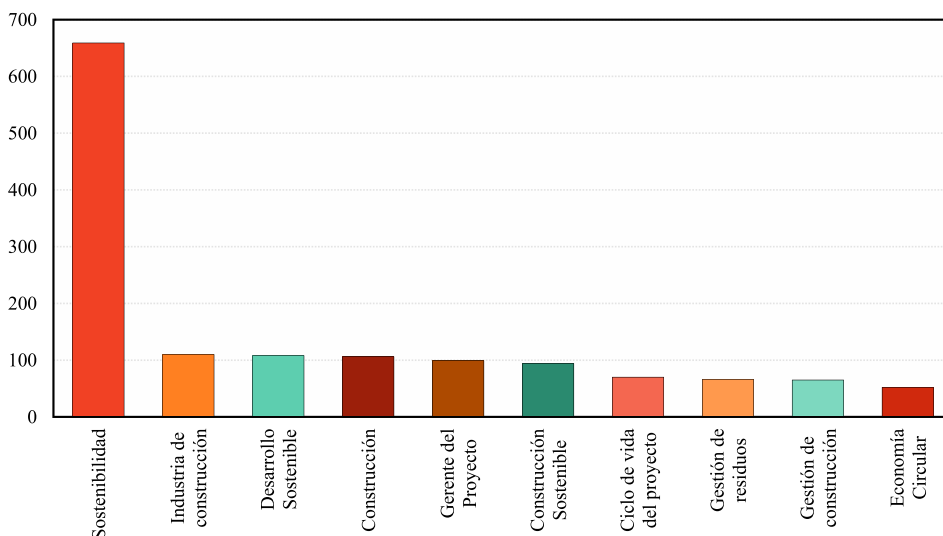
Tabla 15. Top 5 de palabras clave, ecuación de búsqueda N. 3

Palabra clave	Artículos
Sostenibilidad	659
Industria de la construcción	110
Desarrollo sostenible	108
Construcción	106
Gerente de proyectos	99

Fuente: Elaboración propia.

Existen otros conceptos, alineados con el ciclo de vida de los proyectos, la construcción sostenible y la gestión de residuos, que han tenido un alto impacto recientemente. En la Figura 63 se presenta la cantidad de repeticiones del top 10 de palabras clave.

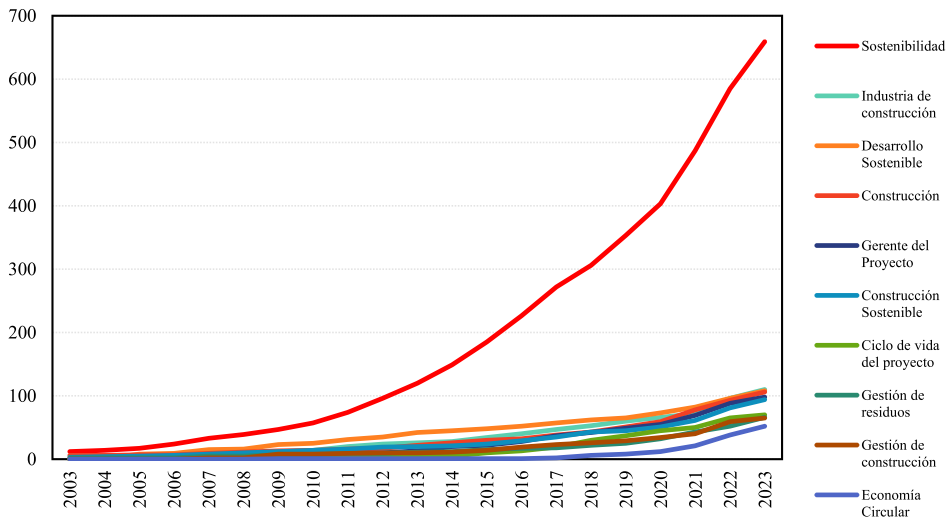
Figura 63. Palabras clave, ecuación de búsqueda N. 3



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, es posible evidenciar la evolución de conceptos de aplicaciones de la sostenibilidad en la ingeniería, entre los que se destacan las habilidades del gerente del proyecto, la construcción sostenible y la gestión de residuos en la construcción; este fenómeno se evidencia en la variación de publicaciones por año, pues estos conceptos triplicaron la producción en los últimos 4 años. La representación gráfica se presenta en la Figura 64.

Figura 64. Comportamiento de palabras clave, ecuación de búsqueda N. 3

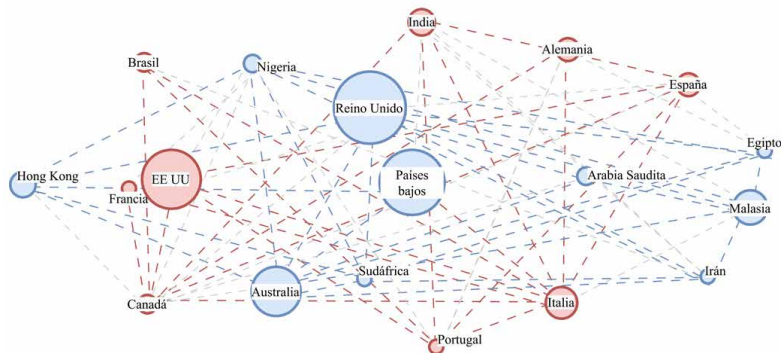


Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis de redes**

Los países con mayor producción son China, Reino Unido, Estados Unidos y Australia, pues, cada uno de ellos, ha publicado más de 100 artículos sobre el tema, mientras que, en Latinoamérica, Brasil tiene la mayor cantidad de publicaciones. Con relación a la colaboración, existen 2 grupos definidos. El primero, compuesto por autores de Estados Unidos, Brasil, Italia y Canadá. El segundo, compuesto por Reino Unido, Australia, Holanda y Malasia, donde este último posee una red de colaboración más estructurada. Estas cohesiones se presentan en la Figura 65.

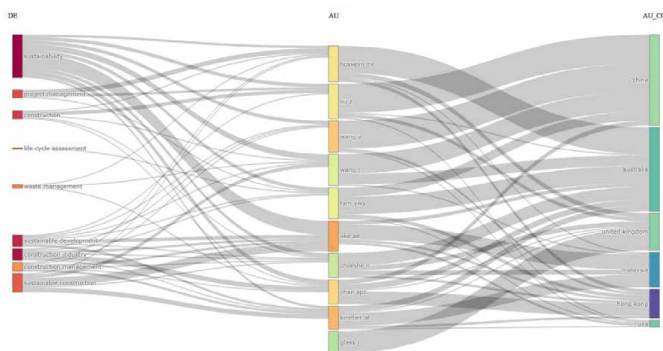
Figura 65. Colaboración entre países, ecuación de búsqueda N. 3



Fuente: Elaboración propia.

Según se presenta en la Figura 66, la relación entre palabras clave, autores y países es variada en la temática particular tratada: sostenibilidad en gerencia de proyectos de construcción. Como se evidencia, existen temas como sostenibilidad, desarrollo sostenible, construcción sostenible, industria de la construcción y gestión de la construcción, que abarcan gran parte de la producción documental de los autores. Estos, a su vez, cooperan internacionalmente, ya que presentan diversas interconexiones con países como China, Australia y Reino Unido, los cuales se llevan la mayor cuota en producción científica.

Figura 66. Relación entre palabras clave, autores y revistas, ecuación de búsqueda N. 3

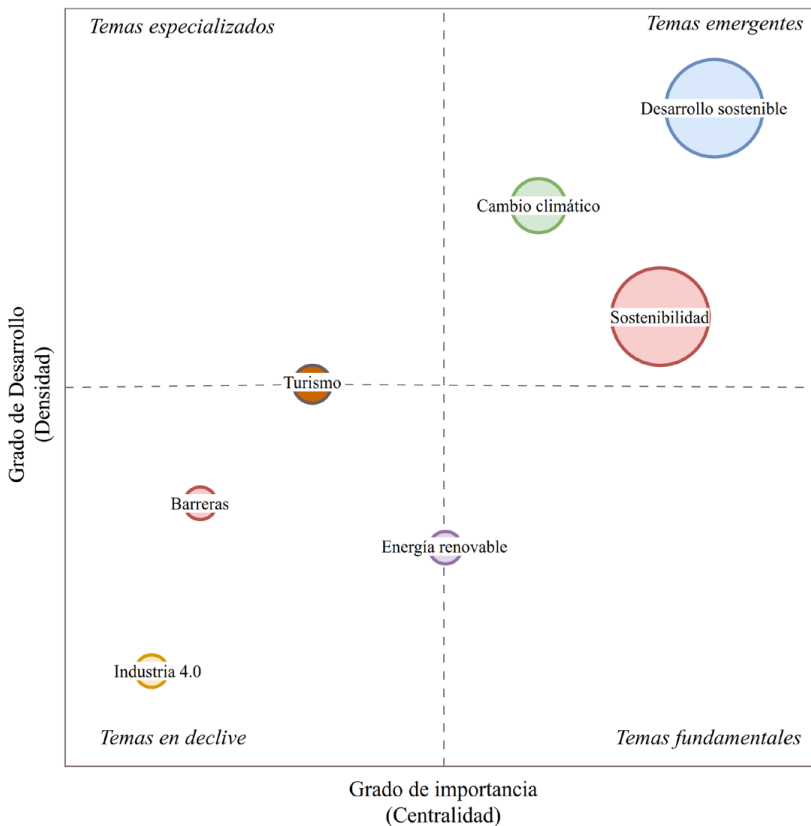


Fuente: Elaboración propia.

- **Comportamiento estructural**

El concepto de sostenibilidad, enmarcado en la gerencia de proyectos de construcción, tiene múltiples enfoques. En este sentido, en la Figura 67, se presenta la clasificación temática asociada a los conceptos clave. A partir de ellos, se establecen cuáles son los temas que impulsan la investigación actual y cuáles son poco analizados en los diferentes campos del conocimiento. La repetición de al menos 2 veces la palabra en la base de datos es el único filtro usado en el análisis. Por otro lado, el volumen de los círculos corresponde a la cantidad de documentos que contienen la palabra clave.

Figura 67. Tendencias en gerencia de proyectos de construcción



Fuente: Elaboración propia.

En el cuadrante superior derecho, se pueden identificar los conceptos emergentes. Desarrollo sostenible, cambio climático y sostenibilidad han impulsado las investigaciones sobre la gerencia de proyectos de construcción recientemente, y de manera importante, pues se asocian con una alta densidad de producción documental. Ahora, en el cuadrante inferior izquierdo, se ubican los conceptos asociados a temas poco investigados o en retroceso, como es el caso de industria 4.0 y barreras, los cuales, al ser tan puntuales, cierran su posible campo de aplicación. Finalmente, los conceptos de borde, como energía renovable y turismo, se presentan como temas de gran importancia, sin embargo, su aplicación o densidad no es fuerte al ubicarse en el sector izquierdo inferior.

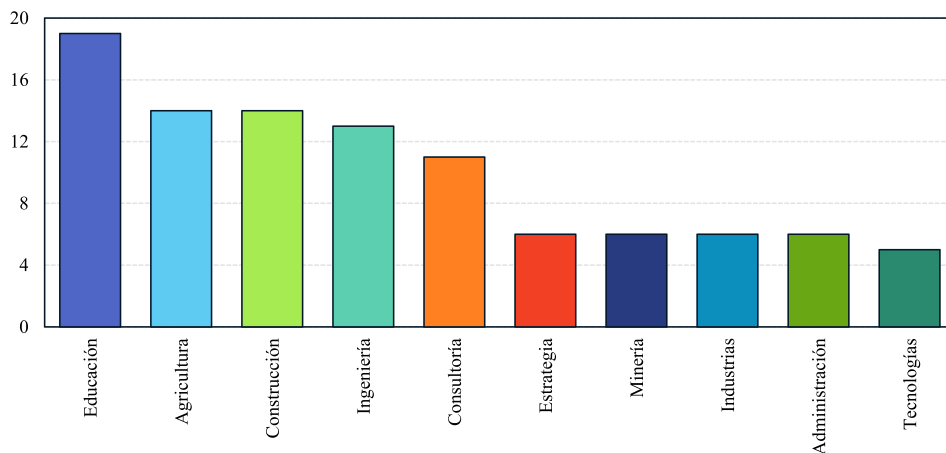
- **Interacción temática**

La interacción temática que se presenta para la tercera ecuación de búsqueda es coherente con los términos que la componen. En la Figura 68, la sostenibilidad se presenta como el eje central y común denominador de las temáticas tratadas en los 2.135 documentos consultados. De este derivan cinco grupos principales, representados por un color particular: sostenibilidad (rojo), gerencia (amarillo), construcción (verde), factores (azul) y procesos (morado). Todos estos se componen a su vez de conceptos particulares estrechamente relacionados con el eje de cada grupo, evidenciando su nivel de participación a través del tamaño de los círculos, donde los de mayor tamaño representan mayor cantidad de documentos científicos asociados al término, y viceversa.

4.2.1 Perfil de los encuestados

En primer lugar, la Figura 69 ilustra los sectores productivos donde se desempeñan los encuestados. Ellos, con su experiencia y a través de la técnica de juicio de expertos, tienen mayor experiencia académica e investigativa. Los sectores con mayor participación son: Educación (19 %), Agricultura (14 %), Construcción (14 %) e Ingeniería (13 %), cuya suma representa el 60 % de la muestra. Lo anterior, demuestra que los resultados corresponden a expertos que trabajan en diferentes sectores, permitiendo mantener la confiabilidad, aplicabilidad y validez del proceso investigativo realizado dentro del marco epistemológico seleccionado de carácter mixto. En relación con la muestra, el instrumento se aplicó a 55 de los 120 expertos que comprendían la población, dado que la población varió en términos de defunciones, no continuidad laboral u otras variables externas al control de la investigación.

Figura 69. Interacción según tipo de industrial (PIB regional) con el que se relaciona sus investigaciones

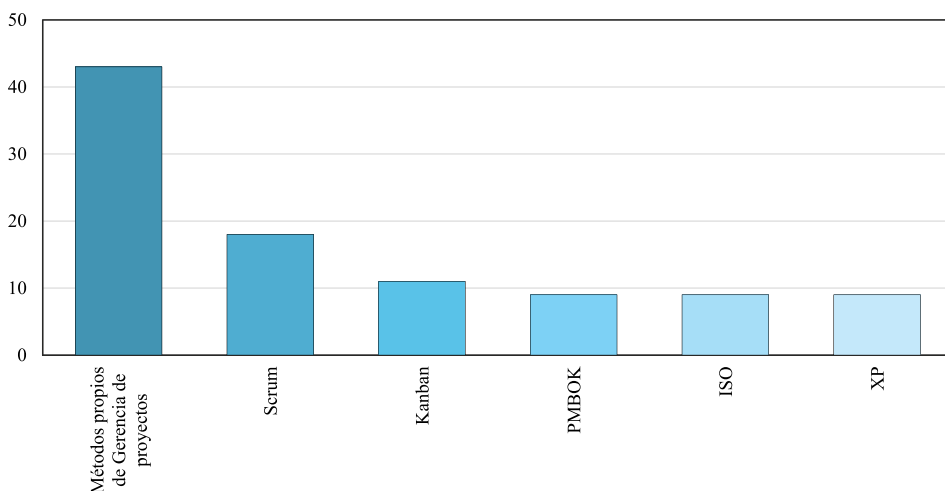


Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, indagando sobre los cuerpos de conocimientos, metodologías, *frameworks*, *aproxches* y métodos de gerencia de proyectos aplicados en la industria, la Figura 70 presenta los resultados del juicio de expertos. De acuerdo con lo anterior, los expertos que trabajan con

empresas de mayor aportación al PIB regional diseñan e implementan prácticas propias de gerencia de proyectos. Lo anterior, puede presentarse por múltiples razones, entre las que destacan: insuficiencia en cumplir con las necesidades por la pluralidad de los proyectos desarrollados y falta de conocimiento de prácticas específicas de acuerdo con las necesidades de los proyectos. Por otro lado, se destaca el conocimiento de prácticas ágiles como Scrum, Kanban y XP y en las tradicionales como las del PMBOK y la ISO.

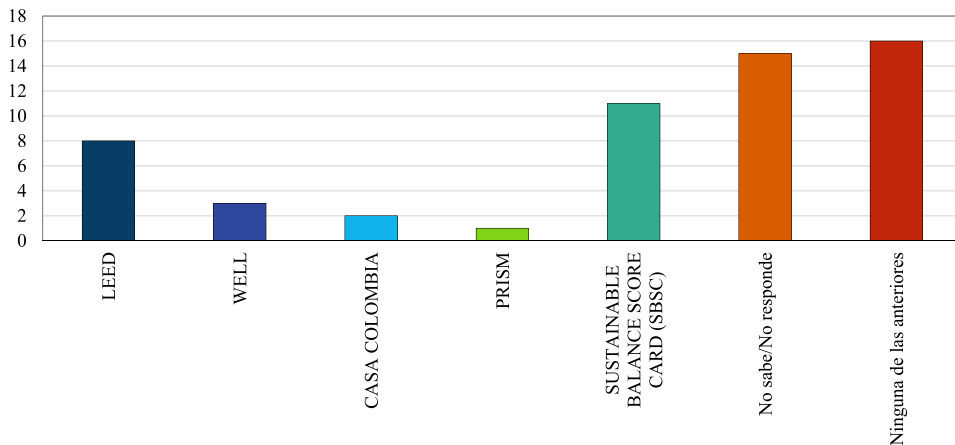
Figura 70. Prácticas utilizadas en la gerencia de proyectos en los sectores con mayor contribución al PIB regional



Fuente: Elaboración propia.

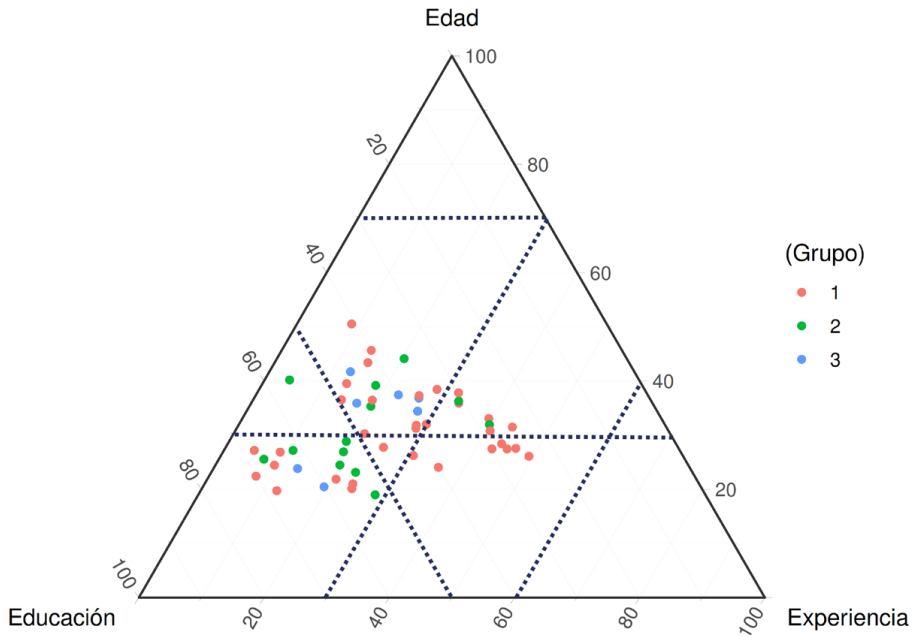
Dentro de la identificación de certificaciones en proyectos sostenibles se evidencia una clara tendencia orientada al desconocimiento, donde la mayoría de las respuestas se ubican dentro de las opciones de este tipo, como se evidencia en la Figura 71. Seguido, dentro de los participantes que reconocen algún método, se destaca el SBSC, seguido por LEED, WELL, CASA Colombia y PRiSM. Aunque CASA Colombia sea un programa de certificación nacional, adaptado a las necesidades del país, los gerentes de proyectos e interesados, se orientan más por las certificaciones de carácter internacional.

Figura 71. Metodologías, estándares y certificaciones sostenibles conocidos o implementados en proyectos



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la Figura 72 presenta la agrupación de variables de la muestra indagada con el propósito de validar en un primer escenario el instrumento usado y en segundo, la pertinencia de la selección de estos como objetos de estudio en relación con su conocimiento académico e investigativo en los sectores con mayor contribución al PIB regional, involucrando aspectos como títulos de posgrado (maestría o doctorado), edad y experiencia profesional. A partir de ello, es posible inferir la presencia de un conjunto de expertos con título mayoritariamente de carácter doctoral, con menos de 20 años de experiencia y con edades que oscilan entre 35 y 50 años. Este hallazgo es importante porque reafirma la validez de la muestra seleccionada a nivel de los expertos en términos de formación y conocimientos y, a su vez, su influencia por temas actualizados y su pertinencia investigativa-académica profesional con los sectores.

Figura 72. Triangulación de características de los expertos

Fuente: Elaboración propia.

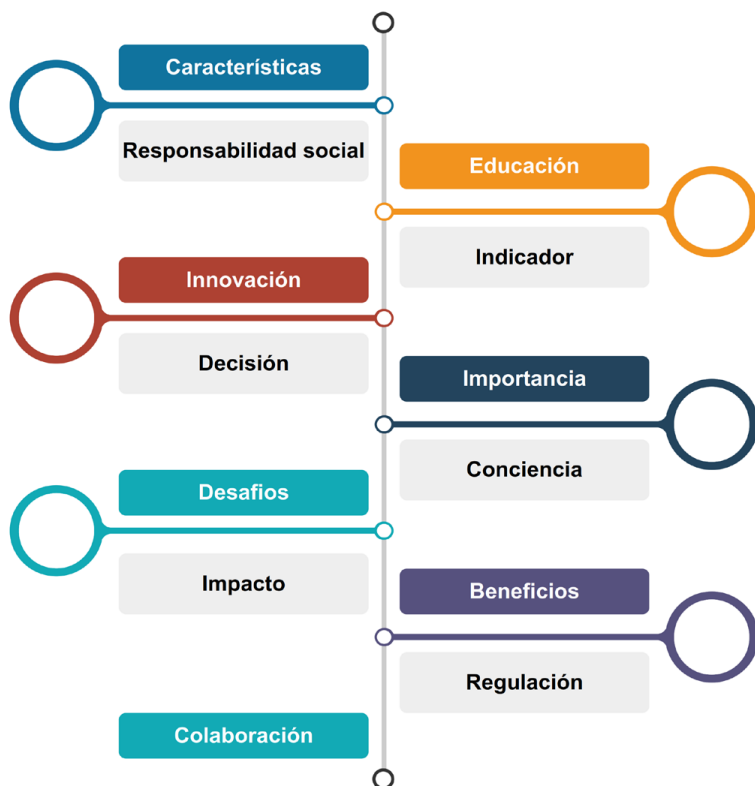
4.2.2 Conceptualización

Uno de los elementos indagados en el instrumento propendía por la caracterización de las asociaciones presentes en los sectores productivos sobre sostenibilidad, sostenibilidad en gerencia de proyectos y sostenibilidad en proyectos de construcción; de esta manera, fue posible determinar que se relaciona el concepto de sostenibilidad con elementos como desarrollo sostenible, equilibrio, medioambiente, conservación y economía. Así, partiendo de la caracterización anterior en las respuestas abiertas obtenidas, se permite generar definiciones del concepto individual de sostenibilidad, al igual que el de sostenibilidad al interior de los proyectos de construcción, basados en los elementos recopilados y en el procesamiento estadístico por R y de manejo de datos.

4.2.3 Caracterización del instrumento

El instrumento se diseñó basado en la conceptualización teórica con el fin de conocer varios conceptos de los componentes de la sostenibilidad, desde esa visión multidisciplinar, compleja y dimensional. El instrumento se aplicó a un conjunto de expertos académicos-investigadores con incidencia en los sectores productivos con mayor aporte a PIB regional, en calidad y en concordancia con la técnica de gerencia de proyectos, juicio de expertos. Es así como el instrumento abarca las dimensiones expuestas en la Figura 73.

Figura 73. Dimensiones estructurantes vinculantes en el instrumento de investigación para la evaluación de la sostenibilidad en proyectos



Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 Análisis estadísticos

De acuerdo con lo descrito en la metodología, se hizo un análisis de componentes principales (PCA) (Jolliffe & Cadima, 2016), con el fin de identificar las características más importantes en cada dimensión a partir del compilado de respuestas del instrumento. A continuación, se presentan los resultados para cada dimensión.

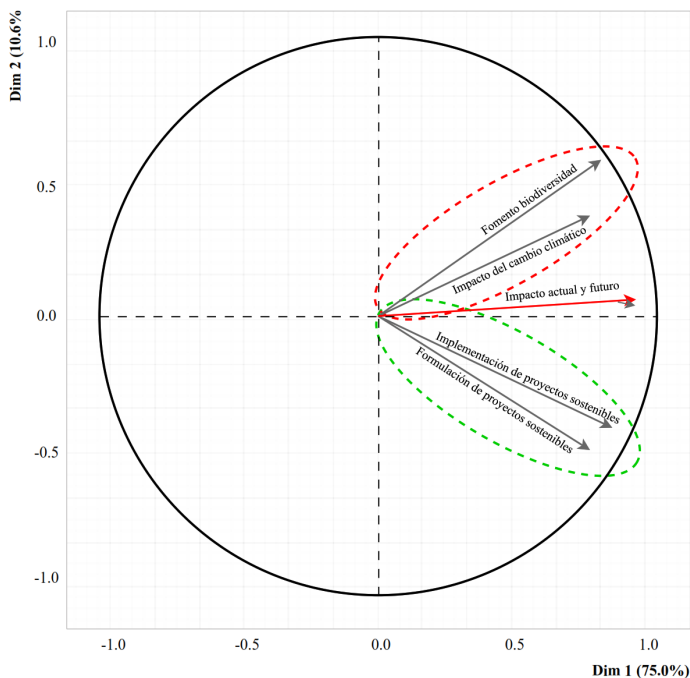
- **Características**

Esta dimensión comprende variables como el fomento de la biodiversidad, el cambio climático, el impacto actual y futuro, la implementación de prácticas empresariales y la formulación de proyectos sostenibles. A partir de los resultados expuestos en la Figura 74, el impacto actual y futuro representa, con un alto porcentaje, las características de este conjunto de datos. De forma paralela, los componentes de biodiversidad y formulación de proyectos forman una ortogonalidad, lo cual, demostrando su independencia, concluye que la biodiversidad no es un componente en la formulación de proyectos sostenibles. Finalmente, existen 2 grupos claramente definidos. El primero relaciona variables medioambientales, mientras que el segundo relaciona variables empresariales.

Como resultado, se determinó la siguiente ecuación para evaluar la dimensión de características:

$$\text{Características} = 0.228 \text{ Impacto actual y futuro} + 0.221 \text{ Implementación de proyectos sostenibles} + 0.207 \text{ Formulación de proyectos sostenibles} + 0.176 \text{ Fomento biodiversidad} + 0.168 \text{ Impacto del cambio climático.}$$

Figura 74. Componentes principales de la dimensión de características



Fuente: Elaboración propia.

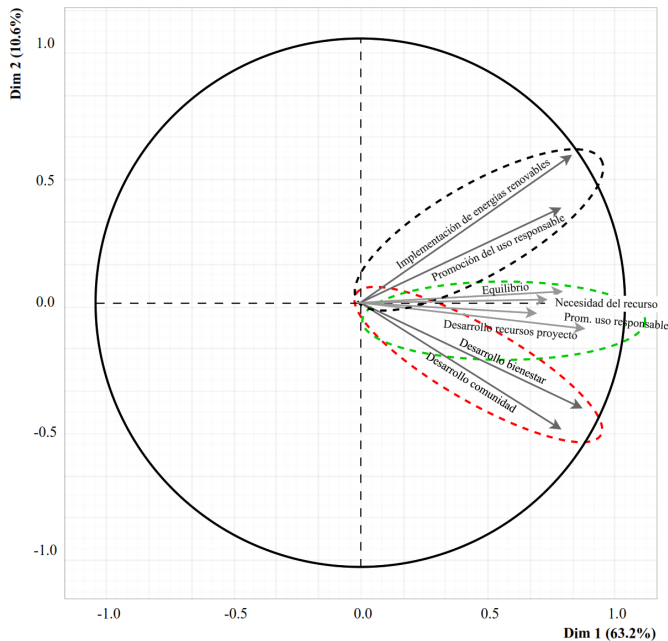
- **Responsabilidad social**

Esta dimensión comprende variables relacionadas con la implementación y uso de energías renovables, la importancia de las comunidades y los recursos. Los resultados del análisis de componentes se presentan en la Figura 75. A partir de ella, se evidencia la agrupación de las variables en 3 conjuntos. El primero, compuesto por variables de energía renovable y la promoción del uso responsable. Este conjunto de datos es ortogonal al tercer conjunto, el cual relaciona variables como el desarrollo de comunidades y su bienestar. A partir de la relación de conjuntos, es posible afirmar que, en la búsqueda de estrategias del desarrollo de las comunidades, no se tiene en cuenta elementos de infraestructura de energías renovables. Por último, en el tercer conjunto de variables se encuentra el equilibrio, los recursos y las estrategias de promoción de la responsabilidad social.

Como resultado, se determinó la siguiente ecuación para evaluar la dimensión:

$$\text{Responsabilidad social} = 0.143 \text{ Necesidad del recurso} + 0.138 \text{ Equilibrio} + 0.131 \text{ Promoción de responsabilidad social} + 0.129 \text{ Promoción del uso responsable} + 0.128 \text{ Desarrollo bienestar} + 0.126 \text{ Desarrollo de comunidad} + 0.122 \text{ Desarrollo de recursos del proyecto} + 0.080 \text{ Implementación de energías renovables.}$$

Figura 75. Componentes principales de la dimensión de responsabilidad social



Fuente: Elaboración propia.

- **Importancia**

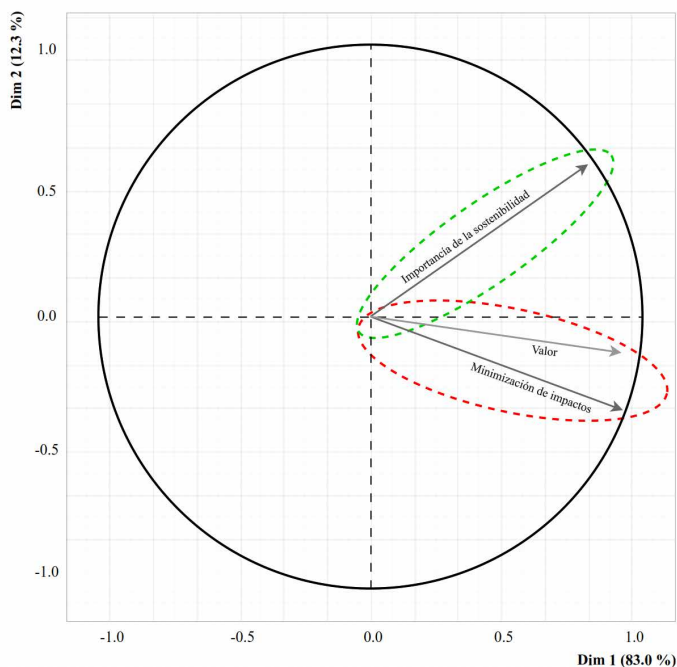
Las variables como implementación, valor y la minimización de impactos hacen parte del componte de importancia de la aplicación de gerencia de proyectos. En la Figura 76 se presenta la agrupación e importancia de dichas variables al interior del componente. De manera paralela, es evidente la existencia de 2 tendencias. La primera, sobre

la importancia de la sostenibilidad de los proyectos sostenibles y la segunda, compuesta por la minimización de impactos y el valor. A partir del comportamiento de los componentes es posible afirmar que algunos expertos no consideran relevante el valor como dato en la importancia de los proyectos. Finalmente, este segundo grupo, que relaciona los componentes económicos directos e indirectos (minimización de impactos) tiene una alta importancia para los expertos, relacionado alrededor del 70 % de ella.

Como resultado, se determinó la siguiente ecuación para evaluar la dimensión:

$$\text{Importancia} = 0.360 \text{ Valor} + 0.341 \text{ Minimización de impactos} + 0.299 \text{ Importancia de sostenibilidad.}$$

Figura 76. Componentes principales de la dimensión de importancia



Fuente: Elaboración propia.

- **Indicador general de sostenibilidad**

Producto del análisis de los componentes principales, se obtuvieron los resultados expuestos en la Figura 77. A partir de ella, es posible inferir la presencia de 3 grupos. El primero, compuesto por la colaboración, regulación, desafíos e impactos. Este conjunto presenta elementos que se superponen entre ellos, es decir, que funcionan como sinónimos. Esto demuestra que su interpretación es dependiente del experto. Por otro lado, el segundo conjunto relaciona la importancia, decisión y conciencia donde, estos 3 elementos, son los que mejor representan el concepto de sostenibilidad de acuerdo con el juicio de los expertos. Por último, el tercer grupo absorbe los componentes de carácter, educación, innovación e indicadores. A partir del comportamiento de este grupo, es posible afirmar que la gestión empresarial del futuro no solo busca la eficacia y el cumplimiento de regulaciones, sino que se enfoca en la creación de un impacto social positivo, la promoción de la justicia social y el compromiso con la sostenibilidad en todas sus dimensiones, a través de prácticas éticas y el trabajo en equipo.

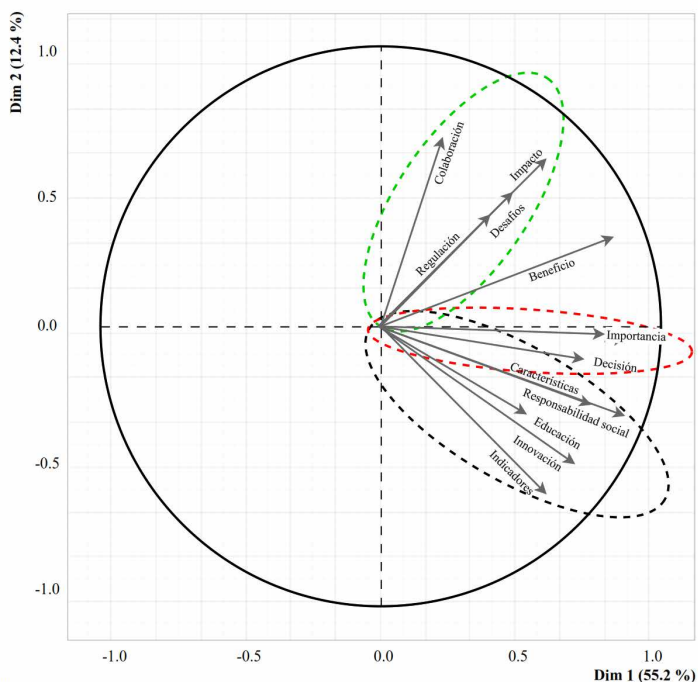
Al analizar los componentes de acuerdo con el valor en la dimensión 2, es posible identificar dos visiones sobre la evaluación de la sostenibilidad. La primera, con una alta importancia en variables medioambientales y la responsabilidad social. En la misma visión, existe el conjunto de expertos que observan el impacto, desafíos y regulación como oportunidades de mejora y la colaboración a nivel internacional. La gestión de impacto se centra en lograr un retorno positivo en términos de bienestar social y en la protección de los recursos naturales. Para ello, se promueve la transparencia en la toma de decisiones, la interdisciplinariedad y la práctica de actividades ambientalmente sostenibles. Por su parte, la segunda visión, independiente a la primera, comprende las organizaciones con responsabilidad social, innovación, educación y con decisiones enfocadas a la implementación de indicadores de sostenibilidad. Además, se apunta a la investigación constante para socializar resultados y adaptar normativas que garanticen un desarrollo económico, social y ambiental equilibrado. En relación con la aplicación de estándares, este grupo aplica la ISO, Kanban, tal como se complementa en la Figura 78.

Finalmente, de acuerdo con la distribución de los componentes, es posible afirmar que el instrumento está bien construido, ya que no existen variables en orden inverso o que se encuentren en la zona negativa del eje x.

Como resultado, se determinó la siguiente ecuación para evaluar la sostenibilidad:

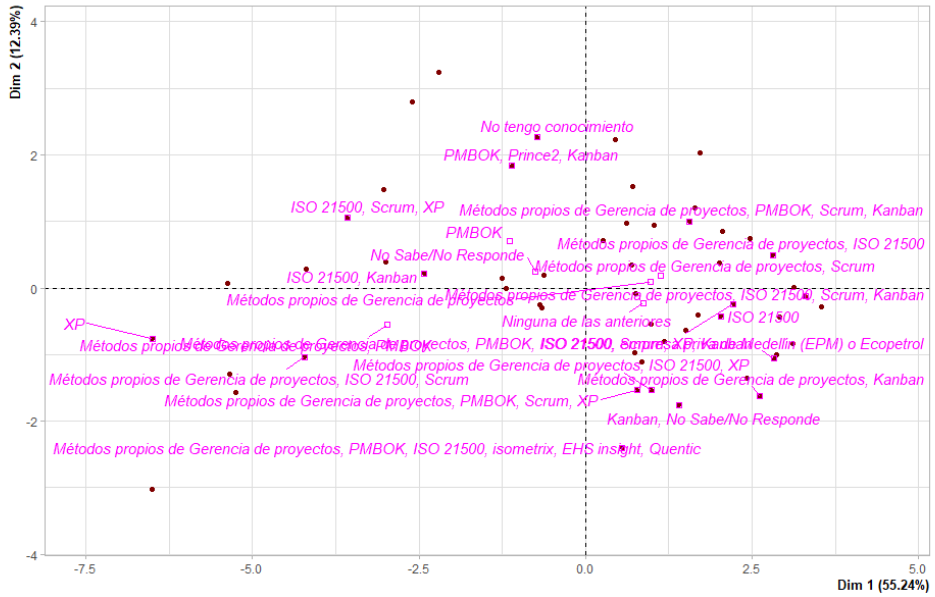
$$\text{Sostenibilidad} = 0.107 \text{ Importancia} + 0.101 \text{ Decisión} + 0.096 \text{ Responsabilidad social} + 0.094 \text{ Características} + 0.093 \text{ Beneficio} + 0.086 \text{ Conciencia} + 0.086 \text{ Innovación} + 0.076 \text{ Educación} + 0.073 \text{ Impacto} + 0.066 \text{ Indicadores} + 0.059 \text{ Desafíos} + 0.044 \text{ Regulación} + 0.019 \text{ Colaboración}.$$

Figura 77. Componentes principales del instrumento



Fuente: Elaboración propia.

Figura 78. Métodos de gerencia de proyectos



Fuente: Elaboración propia.

