

Artículos

Gestión de la complejidad en proyectos de cadenas de suministro manufactureras: un enfoque desde la economía circular*

Complexity Management in Manufacturing Supply Chain Projects: A Circular Economy Perspective

Gestão da complexidade em projetos de cadeias de suprimentos manufatureiras: uma abordagem a partir da economia circular

María Mercedes Bernal Cerquera^a

Universidad EAN, Colombia

mbernalc560@universidadean.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1373-4631>

DOI: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cao38.gcpcsm>

Recibido: 19 noviembre 2024

Aceptado: 17 julio 2025

Publicado: 22 octubre 2025

Milton J. Rueda Varón

Universidad EAN, Colombia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0338-5327>

Maira Alejandra García Jaramillo

Universidad EAN, Colombia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6008-9068>

Resumen:

Las cadenas de suministro hoy en día enfrentan desafíos con una amplia complejidad y es necesario aprovechar la circularidad para mitigarlos. Por ende, esta investigación aborda la pregunta de cómo gestionar los retos de complejidad en proyectos, siendo apoyados por la economía circular. Desde estándares internacionales, se desarrolla un modelo integrado que incorpora variables de circularidad. Metodológicamente, se utiliza un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), con un análisis bibliométrico, una revisión de literatura y un análisis estadístico de correlación de Pearson, basado en un censo de empresas manufactureras colombianas seleccionadas por su complejidad sistémica, liderazgo financiero y su representatividad en el sector. Los principales hallazgos y conclusiones evidencian que las prácticas sostenibles generan ventajas competitivas al reducir residuos y optimizar recursos, destacando la importancia de escenarios optimistas, realistas y pesimistas. También se resalta la variable más influyente del estudio que son los procesos, cuya eficiencia determina el éxito de la circularidad.

Códigos JEL: Q01, Q28, Q56.

Palabras clave: Desarrollo sostenible, proyectos, economía circular, cadenas de suministro, complejidad.

Abstract:

Today's supply chains grapple with extensive complexity, necessitating the leverage of circularity for mitigation. This research explores how to manage complexity challenges in projects, supported by the circular economy framework. Drawing upon the theoretical framework of "Navigating Complexity" and "Project Management" standards, an integrated model is developed that incorporates circularity variables. Methodologically, a mixed-methods approach was employed, combining a bibliometric analysis, a literature review, and an analysis of bivariate relationships based on a census of Colombian manufacturing companies. The main findings and conclusions indicate that sustainable practices generate competitive advantages by reducing waste and optimizing resources, underscoring the importance of optimistic, realistic, and pessimistic scenarios. The study also highlights processes as the most influential variable, as their efficiency critically determines the success of circularity.

Code JEL: Q01, Q28, Q56.

Keywords: Sustainable development, projects, circular economy, supply chain, complexity.

Resumo:

Atualmente, as cadeias de suprimentos enfrentam desafios de grande complexidade, e é essencial aproveitar a circularidade para mitigá-los. Assim, esta pesquisa aborda a questão de como gerenciar os desafios da complexidade em projetos, com o apoio da economia circular. Com base em padrões internacionais, desenvolve-se um modelo integrado que incorpora variáveis de circularidade. Metodologicamente, utiliza-se uma abordagem mista (qualitativa e quantitativa), com análise bibliométrica, revisão de literatura e análise estatística de correlação de Pearson, baseada em um censo de empresas manufatureiras colombianas

Notas de autor

^a Autora de Correspondencia. Correo electrónico: mbernalc560@universidadean.edu.co

selecionadas por sua complexidade sistêmica, liderança financeira e representatividade no setor. Os principais achados e conclusões evidenciam que as práticas sustentáveis geram vantagens competitivas ao reduzir resíduos e otimizar recursos, destacando a importância de cenários otimistas, realistas e pessimistas. Também se resalta a variável mais influente do estudo, que são os processos, cuja eficiência determina o sucesso da circularidade.

Códigos JEL: Q01, Q28, Q56.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável, projetos, economia circular, cadeias de suprimentos, complexidade.

Introducción

Ante la escasez de recursos como reto para las cadenas de suministro y la volatilidad e incertidumbre del mercado actual, las organizaciones deben considerar que la complejidad es un factor esencial que debe ser abordado de manera oportuna con la debida preparación, estando atentos a cualquier interrupción y recuperándose rápidamente. Sus procesos de transformación, especialmente para las cadenas de suministro de manufactura, deben adoptar técnicas sostenibles que apunten a la mejora continua a través de proyectos complejos y circularidad. Es necesario aclarar que esta última por sí misma implica complejidad por la interrelación entre los diferentes actores, recursos y sistemas la que la convierte en un proyecto complejo, así que la toma de decisiones es fundamental para optimizar procesos y aprovechar esta herramienta sostenible.

Por otro lado, las empresas que se fijan objetivos de sostenibilidad y trabajan para tener un menor impacto pueden tener una ventaja competitiva frente a las que no lo hacen (Morell, 2025). En los últimos años, las cadenas de suministro han experimentado una creciente presión para adoptar prácticas más respetuosas con el medio ambiente y socialmente conscientes. Este impulso hacia la sostenibilidad es clave para avanzar hacia la economía circular, un modelo que busca minimizar los residuos y maximizar la utilización de los recursos. Sin embargo, el aumento de la complejidad en estas cadenas de suministro representa uno de los mayores desafíos para las organizaciones que buscan alcanzar sus objetivos de sostenibilidad. Por ello, es fundamental explorar y aplicar prácticas como la economía circular, que pueden ayudar a superar estos retos y fomentar una gestión más eficiente y responsable.

Las organizaciones se enfrentan cada vez más a la presión de cambiar de modelos de fabricación tradicionales a modelos sostenibles (Martín *et al.*, 2018). Para lograr la sostenibilidad, la economía circular se considera una forma adecuada de llevar a cabo esta transición desde los modelos económicos actuales hacia modelos más responsables con el medio ambiente, rentables y que aseguren el bienestar de la sociedad (Parida *et al.*, 2019). La transición a una economía circular es un objetivo importante para las cadenas de suministro, en particular las de fabricación intensivas en recursos. Sin embargo, la complejidad y las interdependencias permiten a las organizaciones no trabajar solas, sino contar con el apoyo, la colaboración y la cooperación de otros, logrando la orquestación dentro del ecosistema (Aelker *et al.*, 2013).

Según Graessler & Yang (2013), el impacto de la complejidad debe predecirse de manera efectiva para permitir a los gerentes de la cadena de suministro tomar decisiones optimizadas en función de situaciones complejas. Para Serdarasan (2019) los cambios constantes conducen a un alto nivel de complejidad en las organizaciones. Los cambios pueden ocurrir, tanto en los socios de la cadena de suministro, como en sus relaciones. Mientras que para Sun & Rose (2015), los estudios de complejidad describen la estructura de la cadena de suministro, el número y variedad de sus componentes y la fuerza de las interacciones entre ellos, así como la incertidumbre que involucra aspectos de tiempo y aleatoriedad. Es por ello que las empresas deben adaptar sus comportamientos al entorno ya que muchos cambios traen consigo inevitablemente complejidades y desafíos para la gestión de la cadena de suministro.

Con el paso del tiempo, las cadenas de suministro se han vuelto globales, demandando trabajar arduamente para estar vigentes en diversos mercados y ser sumamente competitivos (Fric *et al.*, 2025). Sin embargo, esta labor no es fácil, pues deben desenvolverse en entornos cada vez más complejos que implican encontrar la manera de actuar con rapidez ante adversidades y situaciones que requieren un manejo distinto al rutinario.

Cuando los proyectos se caracterizan por un alto nivel de incertidumbre enmarcado en la ambigüedad, donde además existen interdependencias que involucran a múltiples equipos y partes interesadas para ejecutarlos dentro de la dinámica del sistema y del comportamiento humano, hablamos de proyectos complejos. Son proyectos que, por sus particularidades, su tamaño, su presupuesto y sus componentes técnicos, requieren del uso de herramientas diferentes a las utilizadas tradicionalmente (PMI, 2017).

Desde una perspectiva de economía circular, las cadenas de suministro deben tender a cerrar sus ciclos, minimizando sus recursos y optimizando la eficiencia de su producción y consumo de materiales. Los proyectos generados en torno a esta economía deben buscar formas de contribuir a procesos que permitan la reutilización de recursos, el reciclaje y el mantenimiento que a su vez promuevan beneficios económicos, ambientales y sociales en un marco de sostenibilidad. Por ello, esta investigación tiene como objetivo proponer un modelo de gestión de proyectos complejos para las cadenas de suministro del sector manufacturero en un marco de economía circular, tomando en consideración desarrollar una revisión de literatura sobre la complejidad de los proyectos dentro de las cadenas de suministro y la circularidad en las mismas. A continuación, se presentará la revisión teórica de autores consultados para cadenas de suministro, economía circular y proyectos complejos.

Cadenas de suministro

Las cadenas de suministro se desarrollan en diferentes sectores económicos. Uno de ellos es el sector industrial o manufacturero. Según Cajal (2019), es el sector donde se obtienen las materias primas para posteriormente realizar procedimientos industriales para transformarlas en bienes o productos distribuidos al consumidor final. Estas industrias manufactureras son especiales y tienen su propia dinámica y problemas de eficiencia (Wallin *et al.*, 2015). Además, trabajan bajo técnicas de fabricación que han permitido la producción en masa, por lo que se ha detonado el desarrollo industrial, la alta disponibilidad de productos y los bajos costos. También cuentan con diferentes recursos y procesos que les ayudan a cumplir sus objetivos (Hagan *et al.*, 2011). Sin embargo, la combinación de una creciente población mundial y la demanda de productos ha provocado una contaminación ambiental paulatina.

Aunado a lo anterior, los recursos naturales son limitados, por lo que no se pueden conciliar las demandas de una población en crecimiento exponencial y la situación de escasez global de recursos. De ello se desprende que las industrias manufactureras, en sus operaciones comerciales diarias, necesitan aprender a gestionar el riesgo en el suministro de recursos, la volatilidad de los precios y las nuevas regulaciones ambientales (Lieder & Rashid, 2016). Es por ello que, en la industria manufacturera, una forma de aumentar la sostenibilidad de sus procesos es a través de la introducción de cadenas de suministro circulares, actuando de manera responsable y buscando opciones donde se tomen en consideración los procesos involucrados en las transformaciones técnicas que permitan contribuir no solo a la retribución económica, sino también social y ambiental (Brunoe *et al.*, 2019).

Economía circular

Las empresas han ido creciendo a lo largo del tiempo, encontrando en su camino nuevos recursos que las han transformado en cadenas de suministro más complejas y con múltiples niveles en sus sistemas. Esta complejidad empieza a percibirse en la medida que las empresas consolidan la manufactura y se expanden a nuevos territorios, donde proliferan sus productos, pero a costa de tener dificultades para expandir sus operaciones. Empiezan a surgir nuevos retos para las cadenas de suministro que evolucionan (Weetman, 2017). Esto se relaciona con la intervención de una economía lineal, donde el objetivo es tomar materias

primas, producir y desechar. Pero dada la complejidad de crear una red de sistemas dentro de esa economía, vemos cómo se van agotando los recursos y se va deteriorando el medio ambiente.

Es por esto que surge la economía circular, la cual se convierte en una alternativa para reducir el uso de recursos primarios tomados de la naturaleza en donde su objetivo es cerrar el ciclo productivo de las cadenas de suministro utilizando la reutilización, reducción de recursos y otras operaciones que le ayuden a lograr su propósito (Weetman, 2017). Por lo tanto, su enfoque comienza a cambiar considerando no solo sus flujos unidireccionales, es decir, desde la obtención de materias primas hasta el consumidor, sino también sus flujos inversos. Se enfoca en la entrega de productos o servicios primarios proporcionando una red de nutrientes en donde recibe y distribuye una amplia gama de materiales y productos renovables o reciclados dentro y fuera de otras organizaciones.

Diversos autores han abordado la definición y el impacto de la economía circular en las cadenas de suministro. Por ejemplo, Tseng *et al.* (2019), afirman que el sistema de economía circular surge de la regeneración de recursos que optimiza su sostenibilidad y el medio ambiente dentro del sistema de circuito cerrado en las cadenas de suministro. Para Kirchherr *et al.* (2017), el sistema de circuito cerrado se refiere al efecto multiplicador en las cadenas de suministro para aumentar la inversión y el consumo. Ahora bien, la superposición entre la cadena de suministro y la economía circular revela sinergias positivas según Genovese *et al.* (2017). Dentro de un contexto ambiental, el objetivo principal es minimizar las consecuencias negativas para el medio ambiente durante todos los procesos de la cadena de suministro. Para implementar la economía circular en una cadena de suministro, es necesario considerar procesos como la reducción de recursos, la recuperación de residuos, el reciclaje, la generación de subproductos, las asociaciones a clústeres de economía circular y las compras verdes (Rizos *et al.*, 2017).

Proyectos complejos

Hablar de proyectos complejos es regresar al estándar propuesto por el Project Management Institute (2014), donde las categorías de complejidad se clasifican en comportamiento humano, comportamiento de sistemas y ambigüedad. La complejidad relacionada con el comportamiento humano se enfoca en abordar los comportamientos de las personas que interactúan en un proyecto y se detalla como comportamiento individual, político, grupal y organizacional; comunicación y control; y diseño y desarrollo organizacional. Otra categoría de complejidad es el comportamiento de sistemas, donde los proyectos se enmarcan en sistemas, y estos a su vez dentro de otros. De este comportamiento se derivan la conectividad, la dependencia y los sistemas dinámicos; y la ambigüedad, que podría describirse como un estado que presenta poca claridad (Olofsson *et al.* 2025).

De acuerdo con Meyer & Torres (2019), los proyectos complejos tienen presencia en las cadenas de suministro, donde su éxito depende de la entrega oportuna de ciertas variables que inciden en el cumplimiento de las metas propuestas, donde la calidad, el costo efectivo en la entrega de materiales, sus instalaciones y sistemas son algunas de ellas. Asimismo, están rodeados de muchas personas interesadas, quienes apoyan los proyectos desde diferentes áreas y puntos de la cadena de suministro (Khan *et al.*, 2023). Para hablar de ellos, es importante considerar el aporte de Seuring & Müller (2008), quienes definen la cadena de suministro como la gestión de los flujos de materiales, información y capital, así como la cooperación entre empresas a lo largo de ella, atendiendo los objetivos de las tres dimensiones del desarrollo sustentable: económica, ambiental y social, derivadas de los requerimientos de los clientes y partes interesadas.

Hoy en día, las organizaciones perciben la sostenibilidad como una oportunidad estratégica que puede incrementar su ventaja competitiva en el mercado (Li *et al.*, 2024). Según Deloitte (2014), la cadena de suministro es fundamental para lograr competitividad. Está conformada por la planeación, las estrategias de abastecimiento y adquisición, las operaciones, la logística y la distribución. Además, se requiere de

conocimientos funcionales para ejecutar todos los procesos de negocio, además de los instrumentos para llevar a cabo decisiones tácticas basadas en estrategias (Safi *et al.*, 2023).

En cuanto a la estructura de este documento, inicia con una revisión teórica sobre las cadenas de suministro, el sector manufacturero y la economía circular, complementada con un análisis bibliométrico basado en datos de Scopus (2009-2022) y los estándares del PMI (2017). A continuación, se detalla el diseño metodológico y los pasos para la construcción de un modelo integrado. Este modelo se aplica a una muestra de las empresas manufactureras colombianas más grandes, clasificadas por la Superintendencia de Sociedades (2022), y los resultados estadísticos obtenidos son presentados. El documento finaliza con una discusión de los hallazgos, las conclusiones, recomendaciones y las lecciones aprendidas de la investigación.

Metodología

El diseño metodológico de esta investigación es mixto y correlacional. El estudio se desarrolló en varias fases, la primera de las cuales fue la revisión de literatura y análisis bibliométrico. Fase 2: aplicación del instrumento de medición a las cadenas de suministro manufactureras. Fase 3: análisis estadístico de correlación bivariada. Fase 4: hallazgos y resultados. En primer lugar, se realiza una revisión de literatura junto con un análisis bibliométrico considerando el periodo de 2002 a 2022, que busca analizar los fenómenos en estudio como las cadenas de suministro en el sector manufacturero, la economía circular y los proyectos complejos. Del componente teórico, se recogen los elementos clave que servirán para sustentar teóricamente las variables elegidas.

Con respecto a la bibliometría realizada dentro de esta investigación, se emplea la base de datos de Scopus para capturar un listado completo de investigaciones relacionadas con los principales temas que son proyectos complejos, economía circular y cadenas de suministro manufactureras. Es por esto que la ecuación de búsqueda en esta base de datos es “complexity and circular economy and supply chain”. Posteriormente se realizan filtros más orientados al área de proyectos que para este caso en Scopus se elige la opción “Business Management and Accounting”. También se filtra el idioma a inglés únicamente, y tipos de documentos: “Article”. De esta manera, se extrae un archivo el cual se ingresa al software Vosviewer.

En segundo lugar, se aplica un instrumento desde junio de 2021 a abril de 2022. Este instrumento es de medición tipo cuestionario, evaluado por expertos a las cadenas de suministro seleccionadas para esta investigación, que son las empresas manufactureras colombianas clasificadas en la categoría del sector manufacturero por la Superintendencia de Sociedades (Supersociedades) como las más grandes del país, medidas por sus ingresos operacionales en el año 2022. Se escoge esta población para este estudio, ya que este tipo de organizaciones presentan una amplia complejidad en cuanto a su infraestructura. Son aquellas que se caracterizan por su complejidad sistémica. Adicional a esto, también son líderes en el área financiera, ya que el reporte que presenta Supersociedades, incluye las empresas sobresalientes por sus ingresos a nivel nacional en las diferentes industrias de Colombia. Este es un buen referente para hacer un análisis de economía circular y complejidad entre ellas.

Sumado a lo anterior, se justifica la elección del universo de la investigación, por la representatividad que estas organizaciones tienen a nivel estructural y organizacional, debido a que contienen una cadena de suministro mucho más compleja a nivel estratégico, táctico y operativo, que permite hacer un mejor análisis del fenómeno de estudio. Asimismo, este grupo selecto, cuenta con un mayor grado de madurez en cuanto a la consolidación de sus procesos, razón por la cual se pueden detectar patrones y tendencias a partir de sus buenas prácticas manufactureras. Otros puntos por resaltar son los impactos ambientales y económicos significativos, su participación de redes de suministro más amplias, y la capacidad de innovación y liderazgo sectorial.

En tercer lugar, se realiza una revisión estadística por medio de la correlación de Pearson con un análisis bivariado de los elementos de investigación que aportan a la construcción del modelo de escenarios de

proyectos complejos y circularidad. Para esta representación estructurada, se consideran las variables de estándares internacionales de gestión de proyectos. En cuanto a las de proyectos complejos, se seleccionan las relacionadas con el estándar Navigating Complexity de 2014 (PMI, 2014): comportamiento humano, comportamiento del sistema y ambigüedad. Y también se consideran las variables presentadas en el artículo científico de Hagan, Bover & Smith (2011), como procesos, recursos, personas, objetivos y toma de decisiones, ya que tienen una gran afinidad y relación con las cadenas de suministro, las cuales se asocian con las palabras clave para el análisis bibliométrico.

Las variables mencionadas anteriormente, permiten aportar información relevante con sus relaciones bivariadas, ya que habilitan un mejor entendimiento sobre la complejidad en las cadenas de suministro a nivel operativo, táctico y estratégico, y cómo se pueden conectar con la economía circular. Por otra parte, las variables circulares de este estudio comprenden las compras verdes, el reciclaje, la reducción de recursos, la recuperación de residuos y la generación de subproductos, por estar vinculadas con la base teórica de la investigación. Finalmente, como fase de cierre, se obtienen los hallazgos y resultados presentados en el modelo propuesto.

Con el fin de presentar una articulación metodológica con lo expuesto en este apartado, este estudio presenta una conexión entre las fases metodológicas, en donde el análisis bibliométrico no solo antecede el componente cuantitativo, sino que le da estructura por medio de los clústeres detectados, que son operacionalizados posteriormente en el instrumento de medición tipo cuestionario. Por otra parte, la triangulación metodológica empleada en la investigación permite encontrar una mayor validez y profundidad del modelo, y de esta manera extraer constructos y dimensiones teóricas sobre las temáticas que se abordan.

Resultados

El resultado de la aplicación de este instrumento proporciona variables numéricas que son la base para establecer correlaciones bivariadas y aplicar una prueba estadística, para construir diferentes escenarios en función de intervalos de confianza y naturalmente su distribución empírica. Con los resultados de este análisis cuantitativo se crea un modelo integrado de proyectos complejos, considerando además la fundamentación teórica sobre cadenas de suministro, economía circular y proyectos complejos.

El análisis bibliométrico inicia con la búsqueda de las palabras clave ya mencionadas en la metodología de este documento. Se investigan los resúmenes y textos completos desde el año 2009 hasta el 2022. Se revisan cada uno de los escritos para seleccionar los más relevantes para la investigación. Inicialmente se identifican 708 documentos, de los cuales se excluyen aquellos que no están estrechamente alineados con la temática a abordar en el estudio, y finalmente se obtienen 105 finales, los cuales son el resultado de realizar un procedimiento metodológico de exclusión, que comprende el no incluir documentos duplicados, artículos que abordan las temáticas de forma marginal o irrelevante, y citación nula o mínima. Posteriormente se utiliza el software VOSviewer donde el registro de documentos elegidos se ingresa a un archivo de datos con el fin de generar la red de palabras clave de investigación y de esta manera validar sus conexiones dentro de diferentes clústeres que estarán representados por un color en particular.

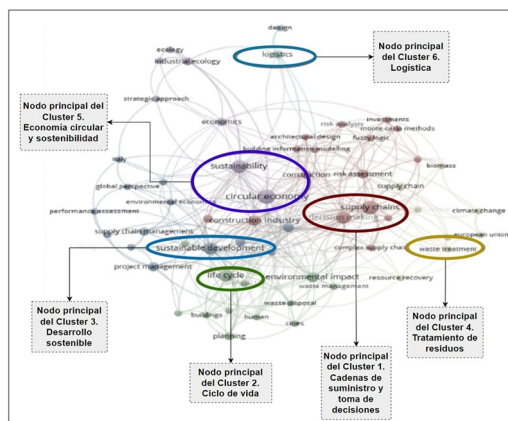


FIGURA 1.

Red de palabras clave a partir del análisis bibliométrico de proyectos complejos y circularidad

Fuente: Software VosViewer, elaboración propia.

En la figura 1 se visualizan 6 clústeres, donde el eje principal es la economía circular, por lo tanto, la investigación recogida en este estudio está mayoritariamente ligada a esta temática. El nodo representativo del clúster 1 en rojo se centra en las cadenas de suministro y la toma de decisiones. Mientras que el representado por el clúster 2 en verde es el ciclo de vida. En el caso del clúster 3 en azul oscuro, el nodo que destaca mucho más que los demás nodos es el desarrollo sostenible. En el caso del clúster 4 en amarillo, se muestran dos nodos representativos como son la eficiencia de los recursos y el tratamiento de residuos. Para el clúster 5 en morado, la sostenibilidad es su eje central característico junto con la economía circular. Por último, el clúster 6, con el menor número de relaciones que todos los demás clústeres, está representado con la logística.

En la red de palabras clave de la figura 1, la economía circular se presenta como un elemento que sincroniza diferentes puntos de todos los clústeres dados por el grafo de VosViewer. Es evidente que la circularidad está involucrada en la investigación de los autores consultados y seleccionados por la base de datos Scopus. En el caso de las cadenas de suministro en la red de palabras, se observa que el nodo que las contiene está muy cerca de la toma de decisiones junto con las cadenas de suministro complejas y la evaluación de riesgos. Estos elementos son característicos de proyectos complejos y se dan en diferentes industrias. También se aprecia la estrecha relación de la gestión de proyectos con el diseño y la metodología junto con el ciclo de vida. Para su ejecución, un proyecto requiere tener presente las diferentes etapas por las que debe pasar y, además de esto, considerar los recursos necesarios para dicha ejecución, como los recursos humanos.

Para la construcción del modelo de gestión de proyectos complejos CDPC se tomaron las variables de los estándares internacionales enunciados y explicados en la revisión del marco teórico. En cuanto a las variables del modelo a considerar, para proyectos complejos se seleccionaron las relacionadas con el estándar Navigating Complexity de 2014: comportamiento humano, comportamiento del sistema y ambigüedad. Y también se consideraron las variables presentadas en el artículo científico de Hagan *et al.* (2011), como procesos, recursos, personas, metas y toma de decisiones, por tener gran afinidad y relación con las cadenas de suministro, las cuales se asocian a su tiempo, con las palabras clave representativas de los clústeres del análisis bibliométrico. En relación con las variables de circularidad se eligieron los clústeres de compras verdes, reciclaje, reducción de recursos, recuperación de residuos, generación de subproductos y economía circular, por estar también ligadas al sustento teórico de esta investigación.

Luego, se realizó un trabajo de campo sobre un censo de empresas del sector manufacturero de la industria alimentaria a quienes se les aplicó un instrumento tipo cuestionario, el cual se basó en calificar con un porcentaje (1– 100%) cada uno de los ítems relacionados con proyectos complejos, cadenas de suministro y economía circular. Posteriormente, los datos fueron tabulados e ingresados en el software R, donde se realizó un análisis estadístico, iniciando con una matriz de correlaciones para determinar la variable que denota una

mayor correlación con el conjunto de variables analizadas. Como bien se sabe, la correlación es la forma numérica en la que se evalúa estadísticamente la relación de dos o más variables, es decir, mide la dependencia de una variable con otras.

Se aplicó el test t basado en el estadístico t a la variable más significativa, que, análogamente, permite determinar un intervalo de comportamiento compuesto por un límite inferior y uno superior, siendo este la referencia para determinar escenarios de referencia pesimistas y optimistas para el resto de las variables, en línea con la probabilidad. Tras este proceso, se verificó la media de cada variable para validar si se encontraba dentro o fuera del rango dibujado por la variable más significativa (el intervalo de comportamiento). A continuación, se clasificaron los escenarios para cada uno según su medida de centralidad. Por otro lado, las correlaciones obtenidas en el análisis estadístico sirven para clasificar las variables economía circular y complejidad en algunos de los escenarios del modelo. La figura 2 muestra el desglose de conexiones entre las variables consideradas en este estudio.

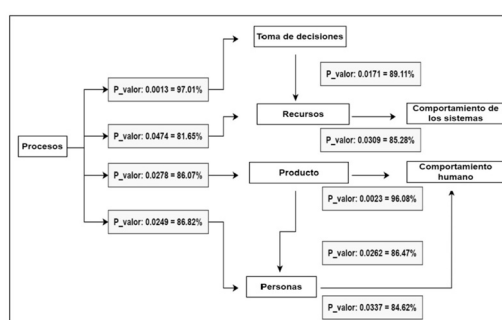


FIGURA 2.
Correlaciones entre variables de proyectos complejos
Fuente: elaboración propia.

Se establecen correlaciones entre las variables de proyectos complejos como procesos, toma de decisiones, recursos, producto, personas, comportamiento del sistema y comportamiento humano. Estas correlaciones permiten encontrar la fuerza de la asociación entre variables. El estudio identifica dentro de sus resultados que la variable proceso es la que obtiene el mayor número de correlaciones como lo demuestra su nivel de significancia y peso porcentual. En particular, presenta una alta conexión con la variable toma de decisiones, mostrando un 97.01%; con la variable personas explicada en un 81.65%; con la variable producto en un 86.07%; y, por último, con un 86.82%, la variable personas del estudio.

Otras correlaciones importantes del estudio se ven entre la variable comportamiento humano y producto con un peso porcentual del 96,06%. Asimismo, la variable toma de decisiones se conecta con recursos mostrando una asociación bivariada del 89,11%. Y con un nivel menor de la misma medida de referencia, se encuentran las variables comportamiento de sistemas con recursos, comportamiento humano con personas y producto con personas. De esta forma y como se mencionó anteriormente, a partir de esta variable se establecerá un escenario criterio para el resto de las variables, mediante la técnica de T-test para una muestra (ver figura 3), determinándose un escenario optimista y pesimista gracias a su intervalo de confianza que marcará la pauta en la creación de estos escenarios.

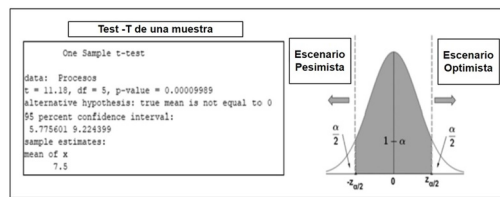


FIGURA 3.
Prueba t de una muestra
Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los escenarios, las variables que tengan una media inferior al límite inferior del intervalo del proceso se considerarán dentro de un escenario pesimista y si su media supera el límite superior de la variable más significativa del ejercicio, entonces su escenario será considerado optimista. Lo que se espera es que las variables correlacionadas se encuentren al menos dentro del intervalo establecido como referencia, que en ese caso será un escenario realista o que supere su límite superior. La variable que se encuentre en un escenario pesimista será aquella en la que se deberá poner más atención en la organización para que esté al nivel de las demás. Luego de determinar estadísticamente los diferentes escenarios para cada variable, se procede a su ubicación y relación en el modelo, como se observa en la figura 4.

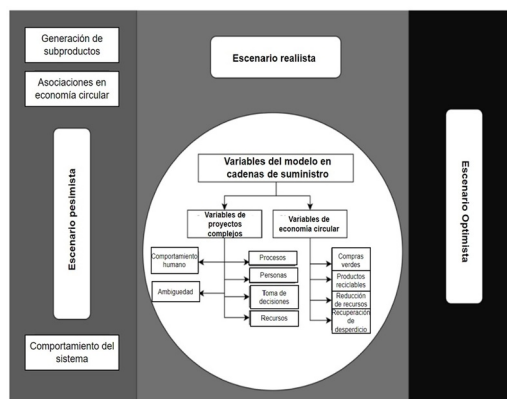


FIGURA 4.
Modelo propuesto con variables en cada escenario
Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, el modelo propuesto con variables en cada escenario, evidencia que dentro del espectro realista, la variable líder que encabeza el diagrama interno es procesos. Igualmente, esta consideración también se manifiesta a nivel estadístico. Es aquella que está conectada dentro del grupo de proyectos complejos, y es esencial para establecer una relación de circularidad en cualquier organización. En la misma línea se menciona que los procesos son aquellos que permiten obtener un resultado tangible a partir de una transformación de insumos, así que, para que las actividades que involucren estos cambios sean exitosas, es necesario contar con el resto de las variables alineadas a este grupo tales como personas, toma de decisiones y recursos. De manera paralela, se cuenta con las variables circulares que van a permitir una transformación de cierre de ciclo y de sostenibilidad. Para este modelo, se representan por las compras verdes, productos reciclables, reducción de residuos y recuperación de desperdicios.

Discusión de resultados

Es evidente la relación entre los hallazgos obtenidos en el análisis estadístico y bibliométrico, en donde las tendencias se inclinan en la sostenibilidad aunada con la economía circular dentro de las cadenas de

suministro, las cuales requieren una completa transformación en sus procesos dentro de una complejidad sistémica. Además de contar con el apoyo de su estructura logística para poder conseguir resultados sostenibles a corto, mediano y largo plazo en sus procesos, la toma de decisiones basada en el enfoque de la eficiencia de recursos permitirá que la economía circular tenga un papel fundamental dentro de las organizaciones con una estructura compleja. Así como lo mencionan Cicerelli & Ravetti (2024), dentro de los sistemas productivos es palpable la complejidad. Esto se alinea con la postura de Eskantar *et al.* (2024), quienes se enfocan en la necesidad de adoptar estrategias para evaluar los diferentes impactos en cadenas de suministro con respecto a este fenómeno.

Al respecto, Larrea-Gallegos *et al.* (2022), exponen sobre el manejo de la resiliencia para afrontar proyectos complejos, y mencionan que es esencial contar con el apoyo tecnológico en modelos computacionales que permitan determinar qué procesos podrían mejorarse. Por otro lado, Estoque (2023), se enfoca en darle importancia a la integración e interconexión de los diferentes recursos de las cadenas de suministro. Muestran cómo a partir de esto se logra potenciar la economía circular dentro de ambientes complejos manufactureros. Esta postura va muy conectada con la perspectiva de Guzzo *et al.* (2023), quienes se inclinan por demostrar que la gestión dinámica en las organizaciones permitirá un mejor desarrollo circular y sostenible. Por otra parte, Safi *et al.* (2023) mencionan que, si no se controla la complejidad, es muy posible tener inconvenientes con la eficiencia del uso de recursos.

Todo lo anterior muestra que la complejidad en las cadenas de suministro según los autores mencionados anteriormente es el fenómeno que debe atenderse con prioridad para evitar contratiempos y dificultades que se puedan presentar al querer ser más sostenible. La economía circular que hace parte de la sostenibilidad es una herramienta muy útil para lograr la eficiencia de los recursos, pero si no se tiene claro cómo todos los procesos dentro de un panorama sistémico se van a interrelacionar interna y externamente, es muy probable que no se alcance el éxito deseado en su implementación. Por lo tanto, la toma de decisiones influye en los resultados que se obtienen, pero para ir por el camino correcto en donde todos los integrantes del sistema entiendan cómo deben funcionar los procesos circulares, se requiere colaboración, tal como lo mencionan Guzzo *et al.* (2023) y Fric *et al.* (2025).

Conclusiones

Para la construcción de nuestro modelo integrado de proyectos complejos y economía circular, iniciamos con una exhaustiva revisión bibliográfica. Nuestro objetivo fue identificar las variables más pertinentes, alineándonos con estándares internacionales en gestión de proyectos complejos. En este sentido, consideramos las dimensiones propuestas por el estándar Navigating Complexity (PMI, 2014), a saber: comportamiento humano, comportamiento del sistema y ambigüedad. Adicionalmente, incorporamos los elementos fundamentales de la investigación de Hagan *et al.* (2011), titulada “Managing complex projects in multiproject environment”, cuyo enfoque se centra en el contexto de la cadena de suministro en el sector manufacturero.

Los resultados de la investigación cumplieron con el objetivo propuesto de identificar los escenarios pesimistas, realistas y optimistas de proyectos complejos y circularidad. En estos escenarios se ubicaron las variables según el análisis estadístico. El hecho de que una variable se encuentre en el escenario pesimista implica que no se encuentra al mismo nivel que el más representativo. Esto significa que la organización debe trabajar en planes de acción para que todo lo relacionado con esta variable presente mejoras y avances significativos.

Tomando como base las palabras clave del análisis bibliométrico del marco teórico, y relacionándolo con los resultados del análisis estadístico, se determina que las variables de economía circular que se encuentran en un escenario pesimista como la generación de subproductos y las asociaciones de circularidad

entre organizaciones, deben ser fortalecidas mediante la adaptación de la simbiosis industrial, palabra clave del clúster de análisis bibliométrico al que pertenecen estas variables circulares. Las empresas deben identificar qué materiales y recursos podrían ser transferidos a otras empresas, como la generación de residuos o subproductos que puedan ser materias primas para otras organizaciones, de tal forma que se genere cooperación entre ellas y se reduzca su complejidad. Esto se traduciría en la ejecución del concepto de simbiosis industrial, elemento fundamental de la economía circular (Chen *et al.*, 2022).

Por otra parte, la variable proceso, cuyo resultado estadístico permitió demostrar su alta correlación con las variables toma de decisiones y personas, y además ubicada en un escenario realista, se puede asociar a los clusters uno y dos del análisis bibliométrico de donde se extraen las palabras claves relacionadas con proyectos complejos como riesgo (Bode & Wagner, 2015), cadenas de suministro complejas (Wong *et al.*, 2015) y gestión de recursos humanos (Graessler & Yang, 2019; Sun *et al.*, 2016). Para gestionar la complejidad en las cadenas de suministro, es necesario adecuarlas con una estructura organizacional apropiada (Modrak & Marton, 2012), donde se potencien los recursos humanos (Chatha & Jalil, 2022), dentro de un entorno dinámico (Serdarasan, 2013), y exista una comunicación efectiva, para así lograr los objetivos en cada uno de los procesos de la cadena de suministro trazados y de esta manera apuntar a la competitividad como plantea Deloitte (2014).

Según Ma & Wang (2014), para que una empresa sea competitiva, necesita ser flexible dentro del complejo entorno actual. Esta flexibilidad debe responder a los cambios inesperados que se puedan presentar a lo largo del tiempo y tomar decisiones correctas considerando la integración de todos los sistemas y los actores que los afectan es fundamental para superar fenómenos complejos (Cheng *et al.*, 2014). La presencia de complejidad en estas cadenas requiere que los líderes se enfoquen en las metas propuestas (Ekinci *et al.*, 2022), teniendo presente la flexibilidad y la resiliencia (Giannoccaro, 2015), puntos relevantes al momento de enfrentar con diligencia el comportamiento humano, el comportamiento del sistema y la ambigüedad, elementos representativos de proyectos complejos (PMI, 2017). Asimismo, el personal debe estar preparado para aplicar el pensamiento crítico (Gupta *et al.*, 2021), y de esta manera poder tomar mejores decisiones ante la complejidad en una cadena de suministro.

En la validación del trabajo de campo se encontró que las variables de los proyectos complejos en un escenario pesimista fueron el comportamiento de los sistemas, productos y metas; y respecto a las variables de economía circular, la generación de subproductos y las asociaciones con el clúster de economía circular se clasificaron en ese grupo. El resto de las variables se encontraron en el escenario realista, es decir, su media se encontró en el intervalo del límite inferior al límite superior.

Es importante resaltar que la variable procesos a nivel estadístico fue la más representativa del grupo de variables del estudio. Dentro de un contexto de complejidad en cadenas de suministro, es necesario sincronizar cada uno de los recursos que fluyen a nivel interno y externo. Ahora bien, si la economía circular se involucra en el sistema, entonces su implementación en un ambiente complejo debería alinearse con la eficiencia de los recursos y la toma de decisiones en las operaciones, de tal forma que sea evidente la transformación hacia la sostenibilidad en las organizaciones. Esta investigación detectó dentro de un escenario realista que las empresas grandes colombianas que fueron objeto de estudio le están apostando a dinámicas sostenibles contrarias a las dinámicas tradicionales por medio de las compras verdes, el reciclaje, y los mecanismos para reducir los desperdicios. Estas acciones ayudarán progresivamente a Colombia para empezar a crear una cultura de circularidad.

Con relación a las limitaciones del estudio, se considera que a nivel metodológico se abordan empresas grandes colombianas extraídas del informe oficial de la Superintendencia de Sociedades por el alcance establecido, pero se pueden presentar sesgos de este tipo de empresas que no se encuentran en el reporte. Por otra parte, solo se analiza el sector manufacturero, pero para futuras investigaciones, se recomienda ampliar el espectro industrial para poder entender con mayor amplitud la asimilación de la circularidad en cada uno de los sectores dentro de ambientes complejos, y de esta manera determinar las diferentes relaciones que

podrían existir. Igualmente, a nivel estadístico esta investigación tiene en cuenta análisis bivariados, pero si se quiere ampliar el entendimiento de la conexión entre variables, se podría utilizar la aplicación de modelos de ecuaciones estructurales que permitirían más insumos de información que enriquecerían el estudio.

Declaraciones de ética y transparencia

Consideraciones éticas. Esta investigación no requirió aval de un comité de ética, ya que no implicó la participación directa de seres humanos o animales, ni el uso de información sensible que pudiera afectar la integridad de personas o instituciones.

Contribución de los autores. Todos los autores participaron activamente en el diseño metodológico, la recolección y análisis de los datos, así como en la redacción y revisión del manuscrito.

Financiación. El desarrollo de esta investigación y la elaboración del artículo se realizaron sin apoyo económico externo, utilizando únicamente recursos propios de los autores.

Conflictos de interés. Los autores manifiestan que no existe ningún conflicto de interés que haya influido en el desarrollo de la investigación, en la interpretación de los resultados o en la presentación de este manuscrito.

Declaración de uso de herramientas de inteligencia artificial (IA). Los autores declaran que no se emplearon herramientas de IA para la generación de texto, análisis de datos o elaboración de imágenes. Todo el contenido del artículo es producto del trabajo intelectual de los investigadores.

Referencias

- Aelker, J., Bauernhansl, T., & Ehm, H. (2013). Gestión de la complejidad en las cadenas de suministro: un análisis de los enfoques actuales en el ejemplo de la industria de semiconductores. *Procedia CIRP*, 7, 79–84. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2013.05.014>
- Ahmad, M., & Satrovic, E. (2023). Role of economic complexity and government intervention in environmental sustainability: Is decentralization critical? *Journal of Cleaner Production*, 418, 138000. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138000>
- Bode, C., & Wagner, S. M. (2015). Impulsores estructurales de la complejidad de la cadena de suministro ascendente y la frecuencia de las interrupciones de la cadena de suministro. *Journal of Operations Management*, 36, 215–228. <https://doi.org/10.1016/J.JOM.2014.12.004>
- Brunoe, T. D., Andersen, A. L., & Nielsen, K. (2019). Sistemas de fabricación cambiables que respaldan las cadenas de suministro circulares. *Procedia CIRP*, 81, 1423–1428. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2019.05.007>
- Cajal, J. (2019). *Sectores económicos de Colombia: primario, secundario y terciario*. <https://www.lifeder.com/sectores-economicos-colombia/>
- Cicerelli, F., & Ravetti, C. (2024). Sustainability, resilience and innovation in industrial electronics: A case study of internal, supply chain and external complexity. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 19(3), 343–372. <https://doi.org/10.1007/s11403-023-00396-7>
- Chatha, K. A., & Jalil, M. N. (2022). La complejidad de la red de la cadena de suministro de tres escalones y el desempeño operativo de la empresa de fabricación. *Computers & Industrial Engineering*, 169, 108196. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2022.108196>
- Chen, J., Zheng, J., Zhang, T., Hou, R., & Zhou, Y. W. (2022). Complejidad dinámica de los precios y nivel ecológico para una cadena de suministro diádica con restricciones de capital. *Mathematical and Computational Simulation*, 195, 1–21. <https://doi.org/10.1016/J.MATCOM.2021.12.015>
- Cheng, C. Y., Chen, T. L., & Chen, Y. Y. (2014). Un análisis de la complejidad estructural de las redes de la cadena de suministro. *Applied Mathematical Modelling*, 38(9–10), 2328–2344. <https://doi.org/10.1016/J.APM.2013.10.016>

- Dabbous, A., Aoun Barakat, K., & Tarhini, A. (2024). Digitalization, crowdfunding, eco-innovation and financial development for sustainability transitions and sustainable competitiveness: Insights from complexity theory. *Journal of Innovation & Knowledge*, 9, 100460. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2023.100460>
- Deloitte (2014). *Cadena de suministro y operaciones: Aproveche la columna vertebral de su negocio como fuente de ventaja competitiva*. Recuperado de <https://www2.deloitte.com>
- Ekinci, M. I., Mangla, S. K., Kazancoglu, Y., Sarma, P. R. S., Sezer, M. D., & Ozbiltekin-Pala, M. (2022). Medición de resiliencia y complejidad para cadenas de suministro globales energéticamente eficientes en eventos disruptivos. *Technological Forecasting and Social Change*, 179, 121634. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2022.121634>
- Eskantar, M., Zopounidis, C., Doumpos, M., Galariotis, E., & Guesmi, K. (2024). Navigating ESG complexity: An in-depth analysis of sustainability criteria, frameworks, and impact assessment. *International Review of Financial Analysis*, 95, 103380. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2024.103380>
- Estoque, R. C. (2023). Complexity and diversity of nexuses: A review of the nexus approach in the sustainability context. *Science of the Total Environment*, 854, 158612. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158612>
- Fric, U., Levnajic, Z., Modic, D., & Roncevic, B. (2025). Industrial symbiosis networks supporting circularity: Understanding complexity, cyclicity and resilience. *Environmental Technology & Innovation*, 37, 104026. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104026>
- Genovese, A., Acquaye, A. A., Figueroa, A., & Koh, S. C. L. (2017). Gestión sostenible de la cadena de suministro y la transición hacia una economía circular: evidencia y algunas aplicaciones. *Omega*, 66, 344–357. <https://doi.org/10.1016/J.OMEGA.2015.05.015>
- Giannoccaro, I. (2015). Cadenas de suministro adaptativas en distritos industriales: un enfoque científico complejo centrado en el aprendizaje. *International Journal of Production Economics*, 170, 576–589. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2015.01.004>
- Graessler, I., & Yang, X. (2013). Un enfoque holístico de evaluación de la complejidad para el desarrollo de variantes de productos mecatrónicos y sus redes de cadena de suministro. *IFAC-PapersOnLine*, 15, 533–540. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2019.11.687>
- Graessler, I., & Yang, X. (2019). Un enfoque holístico de evaluación de la complejidad para el desarrollo de variantes de productos mecatrónicos y sus redes de cadena de suministro. *IFAC-PapersOnLine*, 52(15), 277–282. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2019.11.687>
- Gupta, H., Kumar, A., & Wasan, P. (2021). Industria 4.0, producción más limpia y economía circular: un marco integrador para evaluar el desempeño empresarial ético y sostenible de las organizaciones manufactureras. *International Journal of Production Economics*, 295, 126253. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126253>
- Guzzo, D., Walrave, B., & Pigosso, D. C. A. (2023). Unveiling the dynamic complexity of rebound effects in sustainability transitions: Towards a system's perspective. *Journal of Cleaner Production*, 405, 137003. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137003>
- Hagan, G., Bover, D., & Smith, N. (2011). Gestión de proyectos complejos en entornos de múltiples proyectos. En *Procs 27th Annual ARCOM Conference* (pp. 787-796). Bristol, Reino Unido.
- Khan, I., Wang, P., Zhu, B., & Hassan, S. T. (2023). The impact of economic complexity, technology advancements, and nuclear energy consumption on the ecological footprint of the USA: Towards circular economy initiatives. *Gondwana Research*, 113, 237–246. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.11.001>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualización de la economía circular: un análisis de 114 definiciones. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.09.005>
- Larrea-Gallegos, G., Benetto, E., Marvuglia, A., & Navarrete Gutiérrez, T. (2022). Sustainability, resilience and complexity in supply networks: A literature review and a proposal for an integrated agent-based approach. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 946–961. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.01.009>

- Li, Z., Dogan, B., Ghosh, S., Chen, W.-M., & Balsalobre Lorente, D. (2024). Economic complexity, natural resources and economic progress in the era of sustainable development: Findings in the context of resource deployment challenges. *Resources Policy*, 88, 104504. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104504>
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Hacia la implementación de la economía circular: una revisión integral en el contexto de la industria manufacturera. *Journal of Cleaner Production*, 115, 36-51.
- Ma, J., & Wang, H. (2014). Análisis de complejidad de modelos de juegos dinámicos no cooperativos para una cadena de suministro de circuito cerrado con recuperación de productos. *Applied Mathematical Modelling*, 38(23), 5562–5572. <https://doi.org/10.1016/J.APM.2014.02.027>
- Martín Gómez, A., González, A., & Bárcena, M. (2018). Parques ecoindustriales inteligentes: una implementación de economía circular basada en el metabolismo industrial. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 58–69. <http://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.08.007>
- Meyer, C. M., & Torres, E. L. G. (2019). Factores de éxito para proyectos de gestión de la cadena de suministro: un análisis empírico. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 153–158. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2019.11.168>
- Modrak, V., & Marton, D. (2012). Modelado y evaluación de la complejidad de los sistemas de la cadena de suministro de ensamblaje. *Procedia Engineering*, 48, 428–435. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2012.09.536>
- Moreau, V., Sahakian, M., Griethuysen, P., & Vuille, F. (2017). Cerrando el círculo: por qué las dimensiones sociales e institucionales son importantes para la economía circular. *Journal of Industrial Ecology*, 3, 497-506.
- Morell, J. A. (2025). Characteristics of sustainability: A complexity-based view to inform evaluation. *Evaluation and Program Planning*, 111, 102561. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2025.102561>
- Olofsson, K. L., Fitzgerald, J. B., & Hossain, M. B. (2025). Assessing multi-dimensional complexity through sustainability modeling: A whole community approach. *Environmental Science and Policy*, 164, 104002. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2025.104002>
- Parida, V., Visnjic, T., & Wincent, J. (2019). Orquestación del ecosistema industrial en la economía circular: un modelo de transformación en dos etapas para grandes empresas manufactureras. *Journal of Business Research*, 101, 715–725. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2019.01.006>
- PMI (2014). *Navegando por la complejidad*. Pensilvania: Project Management Institute.
- PMI (2017). *Una guía de los conocimientos sobre gestión de proyectos (Guía PMBOK®) - Sexta edición*. Pensilvania: Project Management Institute.
- Rizos, V., Tuokko, K., & Behrens, A. (2017). *La economía circular. Una revisión de los procesos de definiciones y sus impactos*. CEPES.
- Safi, A., Wei, X., Montesinos Sansaloni, E., & Umar, M. (2023). Breaking down the complexity of sustainable development: A focus on resources, economic complexity, and innovation. *Resources Policy*, 83, 103746. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103746>
- Serdarasan, S. (2013). Una revisión de los factores de complejidad de la cadena de suministro. *Computers & Industrial Engineering*, 66(3), 533–540. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2012.12.008>
- Serdarasan, S. (2019). Una revisión de los factores que impulsan la complejidad de la cadena de suministro. *Computers & Industrial Engineering*, 66, 277–282. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2012.12.008>
- Seuring, S., & Müller, M. (2008). De una revisión de la literatura a un marco conceptual para la gestión sostenible de la cadena de suministro. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699–1710. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2008.04.020>
- Sun, D. O., Rose, T., Ehm, H., & Herbig, T. (2016). Intercambio de mejores prácticas para la gestión de la complejidad en las cadenas de suministro de la industria de semiconductores. *Procedia CIRP*, 41, 538–543. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2015.12.004>
- Sun, C., & Rose, T. (2015). Complejidad de la cadena de suministro en la industria de semiconductores: evaluación desde la perspectiva del sistema y el impacto de los cambios. *IFAC-PapersOnLine*, 48, 1210–1215. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2015.06.249>

- Superintendencia de Sociedades (2020). *Informe de las 1000 empresas más grandes del país*. Recuperado el 10 de noviembre de 2024, de <https://www.supersociedades.gov.co>.
- Tseng, M. L., Islam, M. S., Karia, N., Fauzi, F. A., & Afrin, S. (2019). Una revisión de la literatura sobre gestión de la cadena de suministro verde: tendencias y desafíos futuros. *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 145–162. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2018.10.009>
- Wallin, J., Parida, V., & Isaksson, O. (2015). Comprensión del desarrollo de capacidades de innovación de sistemas de productos y servicios para empresas manufactureras. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 5, 763-787.
- Weetman, C. (2017). *A Circular Economy Handbook for Business and Supply Chains*. Londres: KoganPage.
- Wong, C. W. Y., Lai, K. H., & Bernroider, E. W. N. (2015). El desempeño de las contingencias de la integración de la información de la cadena de suministro: los roles de la complejidad del producto y del mercado. *International Journal of Production Economics*, 165, 1–11. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2015.03.005>

Notas

* Artículo de investigación

Licencia Creative Commons CC BY 4.0

Citar como: Bernal Cerquera, M. M., Rueda Varón, M. J., & García Jaramillo, M. A. (2025). Gestión de la complejidad en proyectos de cadenas de suministro manufactureras: un enfoque desde la economía circular. *Cuadernos de Administración*, 38. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cao38.gcpcsm>