



Modelo de economía circular para valorar una estrategia colaborativa entre cadenas de suministro manufactureras desde una perspectiva de rentabilidad

María Mercedes Bernal Cerquera

Universidad EAN
Facultad de Ingeniería
Bogotá
2024

Modelo de economía circular para valorar una estrategia colaborativa entre cadenas de suministro manufactureras desde una perspectiva de rentabilidad

María Mercedes Bernal Cerquera

Tesis presentada como requisito para optar al título de:
Doctor de Ingeniería de Procesos

Directores:
Dr. Milton J. Rueda Varón
Dra. Maira Alejandra García Jaramillo

Universidad EAN
Facultad de Ingeniería, Doctorado de Ingeniería de Procesos
Bogotá, D.C.
2024

Agradecimientos

Quiero expresar mi inmensa gratitud:

A mi madre la Dra. Ara Mercedes Cerquera, al Ing. Wilver Cortes, PMP, al Dr. Milton Rueda, y a la Dra. Maira García, quienes, con su apoyo incondicional, su guía, sus recomendaciones, y su ejemplo me animaron y me inspiraron desde un inicio a trabajar fuertemente. Me ensañaron que vale la pena el esfuerzo incansable para ver los frutos al final del camino.

¡A todos ustedes un sincero agradecimiento!

Contenido

Lista de Figuras	6
Lista de Ecuaciones.....	8
Lista de Anexos.....	8
Resumen	9
Abstract.....	10
I. Introducción	13
1.1. Realidad problemática	14
1.2. Pregunta de investigación	16
1.3. Justificación e importancia del estudio.....	16
1.4. Información acerca del sector.....	19
1.5. Planteamiento de hipótesis.....	20
1.6. Objetivos	21
1.6.1. Objetivo general.....	22
1.6.2. Objetivos específicos	22
1.7. Estructura de la tesis	22
1.8. Marco teórico.....	23
1.8.1. Revisión conceptual.....	23
1.8.2. Análisis bibliométrico	25
1.8.3. Propuesta preliminar del modelo teórico de economía circular para cadenas de suministro manufactureras.....	37
1.8.4. Conclusiones parciales	40
II. Material y Método.....	42
2. Metodología de la investigación	42
2.1. Tipo y clasificación de la investigación.....	43
2.2. Fases de la investigación	43
2.3. Población y muestra de la investigación	48
2.3.1. Población.....	48
2.3.2. Muestra.....	49
2.3.3. Descripción de técnicas e instrumentos de medición	51
2.3.4. Conclusiones parciales	52

III. Resultados de la investigación	54
3. Resultados.....	54
3.1. Componentes del modelo de economía circular	54
3.1.1. Contextualización de variables financieras.....	56
3.1.2. Contextualización de la variable de circularidad	57
3.1.3. Construcción de la variable circular.....	57
3.1.4. Construcción de las variables financieras.....	58
3.1.5. Transformación de las variables de circularidad y financieras	58
3.1.6. Validación de datos	59
3.1.7. Conclusiones parciales	64
3.2. Caracterización de las cadenas de suministro manufactureras	65
3.2.1. Estructura de la caracterización	66
3.2.2. Perfil demográfico	67
3.2.3. Perfil financiero	74
3.2.4. Perfil circular	77
3.2.5. Perfil de las variables de investigación con transformación.....	78
3.2.6. Aplicación de TOPSIS	82
3.2.7. Clusterización y caracterización de los sectores manufactureros.....	83
3.2.8. Conclusiones parciales	85
3.3. Representación del modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras	88
3.3.1. Entradas del modelo de economía circular.....	88
3.3.2. Fundamentos conceptuales para el diseño del modelo.....	90
3.3.3. Prioridades del modelo.....	91
3.3.4. Relaciones entre cadenas de suministro	93
3.3.5. Salidas del modelo de economía circular	95
3.3.6. Adaptación del modelo de economía circular a un sector manufacturero de la investigación	96
3.3.7. Ejecución del modelo en una organización del sector manufacturero elegido	99
3.3.8. Representación del modelo por medio de un prototipo.....	101
3.3.9. Conclusiones parciales	104
3.4. Validación del modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras	105
3.4.1. Simulación Montecarlo	106

3.4.2. Simulación por escenarios posibles	107
3.4.3. Simulación por supuestos financieros y de circularidad.....	109
3.4.4. Conclusiones parciales	111
3.5. Discusión de resultados.....	112
IV. Conclusiones finales de investigación.....	115
4. Conclusiones, aportes y recomendaciones	115
4.1. Conclusiones.....	115
4.2. Aportes.....	118
4.2.1. Aportes a la comunidad académica.....	118
4.2.2. Aportes a la comunidad industrial.....	118
4.2.3. Publicaciones y participación en eventos científicos	118
4.3. Recomendaciones.....	121
4.3.1. Para la comunidad académica	121
4.3.2. Para la comunidad industrial	121
V. Referencias y Anexos	124
Referencias.....	124
Anexos.....	138

Lista de Figuras

Figura 1. Hoja de ruta del apartado de Introducción.....	13
Figura 2. Diagrama de clústers sobre la relación entre circularidad y finanzas	25
Figura 3. Publicaciones relacionadas entre economía circular y rentabilidad	27
Figura 4. Diagramas causales de relaciones entre circularidad y rentabilidad.....	32
Figura 5. Clústers teóricos del análisis bibliométrico	34
Figura 6. Modelo preliminar de investigación	38
Figura 7. Hoja de ruta del apartado Material y Método.....	42
Figura 8. Fases de la investigación	43
Figura 9. Fase A de investigación	44
Figura 10. Fase B de investigación	45
Figura 11. Fase C de investigación	46
Figura 12. Fase D de investigación	47

Figura 13. Fase E de investigación	48
Figura 14. Componentes de los resultados de investigación.....	54
Figura 15. Hoja de ruta de los componentes del modelo de economía circular	55
Figura 16. Resultados de la ponderación de variables transformadas	60
Figura 17. Estadísticos descriptivos de los indicadores financieros.....	62
Figura 18. Resultados del alfa de Cronbach	62
Figura 19. ACP para reducción de dimensionalidad de variables	63
Figura 20. Hoja de ruta de la caracterización de las cadenas de suministro manufactureras	65
Figura 21. Divisiones de manufactura de la muestra de investigación	68
Figura 22. Caracterización de sectores manufactureros por localización	69
Figura 23. Patrones detectados en la caracterización por localización.....	71
Figura 24. Caracterización por años de vigencia.....	72
Figura 25. Patrones detectados en la caracterización por años de vigencia	73
Figura 26. Perfil financiero de las cadenas de suministro de la muestra	75
Figura 27. Patrones detectados en el perfil financiero.....	76
Figura 28. Caracterización de prácticas circulares para sectores manufactureros	77
Figura 29. Perfil de variables transformadas financieras y circulares	80
Figura 30. Patrones detectados en el perfil de las variables transformadas	81
Figura 31. Selección de los principales 5 sectores manufactureros	82
Figura 32. Clusterización de la muestra de investigación.....	83
Figura 33. Caracterización de los clústeres de la investigación.....	84
Figura 34. Hoja de ruta de la representación del modelo de economía circular.....	88
Figura 35. Entradas del modelo	89
Figura 36. Fundamentos conceptuales para el diseño del modelo.....	91
Figura 37. Prioridades del modelo.....	92
Figura 38. Relaciones entre diferentes grupos de organizaciones	93
Figura 39. Relaciones entre organizaciones por pares.....	94
Figura 40. Salidas del modelo de economía circular	96
Figura 41. Clústers del sector manufacturero de fabricación de productos químicos	97
Figura 42. Visualizaciones para caracterizar los clústeres del sector manufacturero de fabricación de productos químicos	98

Figura 43. Primera parte de la estructura del modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras	99
Figura 44. Segunda parte de la estructura del modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras	100
Figura 45. Primera parte del prototipo del modelo.....	101
Figura 46. Segunda parte del prototipo sobre la caracterización.....	103
Figura 47. Tercera parte del prototipo entre relaciones de cadenas de suministro	103
Figura 48. Hoja de ruta de la validación del modelo.....	105
Figura 49. Distribución del ARI con la simulación Montecarlo	107
Figura 50. Simulación por distribución en escenarios posibles.....	108
Figura 51. Ejemplo de simulación por supuestos financieros	109
Figura 52. Diagrama de flujo de simulación por supuestos financieros	110

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. Muestra para una proporción	45
Ecuación 2. Ajuste de población finita	45

Lista de Anexos

Anexo 1. Fórmulas financieras rentables.....	139
Anexo 2. Formulario de la consulta a expertos	140

Resumen

Considerar la circularidad en las cadenas de suministro manufactureras es una apuesta segura para lograr su sostenibilidad. Es por eso que las estrategias que contribuyan a la transición de una economía lineal a una circular fortalecerán las interacciones entre los stakeholders, y mejorarán sus finanzas y competitividad, gracias a las estrategias colaborativas. Por lo anterior, esta investigación desarrolló un modelo de economía circular para las cadenas de suministro manufactureras que les permitiera identificar un diagnóstico referente a sus variables financieras y de circularidad, con el fin de obtener recomendaciones orientadas a proporcionar diferentes estrategias sostenibles y colaborativas que más se ajustaran a su perfil.

Para lograr lo anterior, se empleó un diseño de investigación mixto y correlacional, que se desarrolló en varias fases. El estudio inició con un análisis bibliométrico, que sirvió como punto de partida y generó una propuesta preliminar que estructuró los diferentes apartados del documento. Además, se realizó un análisis de contenido utilizando fuentes secundarias y revisión de expertos. Posteriormente, se aplicaron técnicas de machine learning no supervisado y análisis estadístico. Finalmente, se utilizaron diferentes simulaciones, como la técnica de Montecarlo, validación por supuestos y escenarios, para corroborar el modelo propuesto. Se encontró que las cadenas de suministro manufactureras pueden mejorar su rentabilidad si trabajan con estrategias colaborativas.

Este estudio ofrece una alternativa para aprovechar una hoja de ruta estratégica dirigida a los líderes de las cadenas de suministro manufactureras, quienes pueden tomar mejores decisiones empleando estrategias colaborativas, y al mismo tiempo actuando efectivamente para llevar a cabo una transición hacia la economía circular. Al detectar los clústeres caracterizados por el foco financiero y circular, el modelo impulsa la integración de redes colaborativas entre cadenas de suministro, permitiendo establecer un camino hacia la sostenibilidad y competitividad. Esto fortalecerá el sector manufacturero colombiano, además de servir como herramienta valiosa para la academia y para la industria.

Palabras claves: modelo, economía circular, procesos colaborativos, cadenas de suministro manufactureras, rentabilidad.

Abstract

Considering circularity in manufacturing supply chains is a safe bet to achieve their sustainability. That is why strategies that contribute to the transition from a linear to a circular economy will strengthen interactions between stakeholders and improve their finances and competitiveness, thanks to collaborative strategies. Therefore, this research developed a circular economy model for manufacturing supply chains that would allow them to identify a diagnosis regarding their financial and circularity variables, to obtain recommendations aimed at providing different sustainable and collaborative strategies that best fit their profile.

To achieve this, a mixed and correlational research design was used, which was developed in several phases. The study began with a bibliometric analysis, which served as a starting point and generated a preliminary proposal that structured the different sections of the document. In addition, a content analysis was carried out using secondary sources and expert review. Subsequently, unsupervised machine learning techniques and statistical analysis were applied. Finally, different simulations were used, such as the Monte Carlo technique, validation by assumptions and scenarios, to corroborate the proposed model. Manufacturing supply chains were found to be able to improve their profitability by working with collaborative strategies.

This study offers an alternative to take advantage of a strategic roadmap aimed at leaders of manufacturing supply chains, who can make better decisions using collaborative strategies, and at the same time act effectively to conduct a transition towards the circular economy. By detecting clusters characterized by a financial and circular focus, the model promotes the integration of collaborative networks between supply chains, allowing the establishment of a path towards sustainability and competitiveness. This will strengthen the Colombian manufacturing sector, in addition to serving as a valuable tool for academia and industry.

Keywords: model, circular economy, collaborative processes, model, manufacturing supply chains, profitability.



I. INTRODUCCIÓN



**II. MATERIAL Y
MÉTODO**



III. RESULTADOS



**IV. CONCLUSIONES,
APORTES Y
RECOMENDACIONES**



**V. REFERENCIAS
Y ANEXOS**

I. **Introducción**

I. Introducción

Esta tesis de grado inicia con un capítulo de introducción, el cual incluye la realidad problémica como punto de partida del estudio. Continúa con la pregunta de investigación que direcciona el recorrido de cada apartado para buscar su respuesta. Posteriormente, abarca la justificación, que establece las razones por las cuales se desarrolla este trabajo. Se incluye luego, la información del sector que permite entender los motivos por los cuales se elige manufactura como representante en cadenas de suministro para aplicar el modelo de economía circular. Después se abarca la hipótesis, la cual enmarca el supuesto que se quiere validar con los hallazgos de la investigación. Seguida por el objetivo general y los específicos, que encaminan cada apartado hacia la búsqueda de un motivo en particular para construir el modelo. También se establece la forma en cómo se estructura la investigación de principio a fin. Finalmente, el marco teórico que sienta las bases estructurales teóricas y de literatura sobre los temas a tratar, con una revisión conceptual, análisis bibliométricos, una propuesta de un modelo preliminar, y las conclusiones parciales del capítulo. La hoja de ruta de estos puntos que integran la introducción se aprecia en la figura 1.

Figura 1

Hoja de ruta del apartado de Introducción



Nota. Fuente: Elaboración propia.

1.1. Realidad problémica

Es una realidad que hoy en día, las cadenas de suministro siguen incursionando en una economía lineal a nivel global, lo cual se evidencia en el reporte “The Circularity Gap Report 2023”, creado por un grupo de expertos a nivel mundial sobre economía circular (Circle Economy, 2023), en este se establece que la adaptación de la circularidad en el mundo al 2023, es de un 7.2%. Este dato marca un precedente donde se resalta que los esfuerzos realizados por aquellas organizaciones que impulsan la economía circular no han sido suficiente para lograr una inclusión significativa de cadenas de suministro que trabajen por esta causa. Según Qazi & Appolloni, 2022, Muranko, et al., 2018 y Howard, et al., 2022, uno de los problemas esenciales que se deben atender para abordar la transición hacia una economía circular, es la falta de colaboración entre cadenas de suministro. Desafío que esta investigación aborda como problema a resolver por medio del desarrollo del modelo de economía circular.

Este desafío es determinante para buscar el equilibrio de todas las partes del sistema que se direccionan a un objetivo en común (Bimpizas-Pinis, et al., 2022; Kazantsev, et al., 2023; Fontoura, & Coelho, 2022). Las organizaciones que tienen las intenciones de cambiar su realidad de una economía lineal a una circular, pero no materializan dicho cambio alineándose con otras cadenas de suministro que las puedan potenciar y apalancar, muy seguramente, esa intención se convertirá en una oportunidad perdida, ya que para actuar en pro de una transición, se requiere la cooperación de todas las partes interesadas posibles que permitan mejorar la coordinación e impulsar las mejores prácticas sostenibles y circulares (Graessler & Yang, 2019; Hosseinnezhad, et al., 2023; Katsaliaki, et al., 2024). Solo con el trabajo mancomunado de una red se logran resultados más efectivos que si se buscan los objetivos de forma aislada.

Dentro de un contexto colombiano, la falta de colaboración se evidencia en el bajo desempeño logístico según el reporte oficial del Banco Mundial que publica anualmente el Índice de Desempeño Logístico (LPI), que muestra a nivel global la posición de cada país con respecto a su logística. Los resultados de Colombia no son muy favorables, ya que sus deficiencias en este campo son palpables al descender a la posición 66 para el 2023, estando en la posición 58 cinco años atrás (World Bank, 2023). Con este reporte se puede establecer una comparación con las naciones líderes que trabajan por fortalecer sus operaciones en sus cadenas de suministro. La logística es fundamental para que una organización pueda cumplir sus objetivos estratégicos, y gestiona la circularidad en sus diferentes procesos, por lo tanto, con respecto a Colombia, se infiere

que ese resultado es producto de varios problemas, entre ellos la falta de colaboración entre cadenas de suministro.

Los países que ocupan las primeras posiciones en el reporte LPI son Singapur, Finlandia, Dinamarca, Alemania, Países Bajos y Suiza. Estas naciones han demostrado que, gracias a sus sistemas integrados y avanzadas técnicas logísticas, les permite aplicar la circularidad eficientemente, pero a través de la cooperación de organizaciones que se establecen por un marco regulatorio, políticas e incentivos ofrecidos para lograr la transición de la economía lineal a la economía circular de manera efectiva. La colaboración entre las partes interesadas de los países líderes con relación a la sostenibilidad se ve reflejada por las acciones conjuntas que desarrollan. Al tener una logística eficiente y conectada a través de redes, impulsan la circularidad siendo ejemplo para las otras naciones que desean seguir sus buenas prácticas como Colombia.

Es por esta razón que es necesario revisar la falta de colaboración entre cadenas de suministro para llegar a la transformación circular de manera efectiva. Esto lo exponen Zvezdov, & Akhavan, (2018), Chi, et al., (2020), y Tosi et al., (2024), quienes argumentan que, si se desea tener efectividad en la incursión de la economía circular, es indispensable la colaboración para verla como una realidad. Así mismo, Kristensen et al., (2021), manifiestan dentro del contexto de la circularidad, la relevancia no solo de enfocarse en la cooperación interna para lograr una transformación de buenas prácticas circulares, sino también es necesario considerar la cooperación externa con el fin de encontrar la alineación adecuada con los stakeholders y la organización, para alcanzar las metas estratégicas propuestas, ya que lo exterior complementa todo aquello que se construye internamente en una organización.

Por otra parte, uno de los sectores más influyentes en una economía, es el sector manufacturero según la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONU DI) (2022). Las cadenas de suministro manufactureras son la columna vertebral del desarrollo económico de una nación, por lo tanto, esta investigación aborda el sector de manufactura en Colombia por tener una gama muy amplia de posibilidades para trabajar en sus desafíos con relación a la transición hacia una economía circular. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2022), el sector manufacturero colombiano muestra una tasa de desperdicios en la industria que oscila entre el 13 y 16%. Este es un indicio de una baja incursión en procesos sostenibles y circulares y de una falta de cooperación y alineación entre cadenas de suministro manufactureras. También es importante mencionar que sin una guía que dirija y coordine la alineación entre cadenas de suministro, será un desafío mayor el relacionamiento

entre ellas para que puedan trabajar juntas hacia el desarrollo de prácticas circulares y colaborativas.

1.2. Pregunta de investigación

En articulación con el problema de investigación expuesto anteriormente, se plantea la pregunta que delinearé todo el desarrollo del estudio.

"¿De qué manera el desarrollo de un modelo colaborativo mejora la rentabilidad financiera y facilita la transición hacia una economía circular entre cadenas de suministro manufactureras?"

1.3. Justificación e importancia del estudio

Un modelo de economía circular debe estar respaldado por referentes que hayan marcado la pauta en sus planteamientos encaminados hacia la sostenibilidad y hacia la manufactura sostenible, tales como McDonough y Braungart con su obra seminal Cradle to Cradle, quienes muestran un cambio de paradigma para imitar los ciclos biológicos de la naturaleza en los sistemas de producción, por medio de los ciclos técnicos, que propenderán a abarcar diferentes estrategias circulares con el fin de buscar la recuperación de los productos, creando oportunidades para proteger el medio ambiente y la salud de los seres humanos (McDonough & Braungart, 2002). Múltiples industrias han tomado este referente que apunta a incentivar estrategias de diseño ecológico para comprender el enfoque hacia la sostenibilidad y economía circular.

Hablar de sostenibilidad es involucrar las prácticas de economía circular tales como el reciclaje (Cruz, & Rosado da Cruz, 2023), la logística inversa (Agrawal, et al., 2019), las reparaciones (Prajapati, et al., 2022), las devoluciones (Uhrenholt, et al., 2022), la reutilización (Mallick, et al., 2023), y otras, ya que se enfocan en capturar el mayor valor de los productos, componentes y materiales que podrían contribuir en el ahorro de costos en una organización (Vinayagam R. et al., 2024; Dutta, et al., 2021). Al reemplazar este tipo de recursos reparados, usados, restaurados en la cadena de suministro, se puede dejar a un lado la adquisición de materias primas vírgenes, lo cual habilita trabajar estratégicamente con productos circulares que ayuden a manejar y

gestionar la escasez de recursos (Starostka-Patyk & Grunt, 2022a; Govindan, K., & Soleimani, H. 2017).

Es por eso que la economía circular actúa potenciando a las cadenas de suministro manufactureras y transformándolas para que sean más sostenibles y competitivas. Esto es evidente por las cifras impactantes que revela la Fundación Ellen MacArthur (2013), ya que predice que en el 2030 la implementación de la circularidad podría estar generando en las organizaciones hasta 4.5 billones de dólares valorados en todos los beneficios posibles que esta podría dejar. Actualmente, hay una gran oportunidad en el sector manufacturero de implementar prácticas circulares que optimicen sus procesos de tal forma que obtengan mayores ganancias, y a su vez, actúen en pro del medio ambiente y de la sociedad.

En Colombia, según el octavo informe de Economía Circular del DANE (2023), implementar la circularidad en el sector manufacturero, permitiría contribuir a la reducción de la huella medioambiental y a la adopción de prácticas que apunten a la sostenibilidad. Esto se logra gracias al apoyo y cooperación entre los agentes que integran las cadenas de suministro. Establecer una red colaborativa en Colombia, facilitaría la transformación de los procesos de flujo inverso, y se podría acceder al uso compartido de diferentes materiales, cumpliendo con las regulaciones y políticas establecidas por las partes interesadas. Estas sinergias entre organizaciones desencadenarían resultados económicos representativos para los participantes, junto con la mejora de la competitividad y de una buena imagen.

Por otra parte, las organizaciones que se enfoquen en minimizar sus residuos y comiencen el camino de la circularidad, podrán atender debidamente al cumplimiento de toda normativa y regulaciones medioambientales impuestas en su comunidad (Zeng, et al., 2017; Amoozad Mahdiraji, et al., 2022; Luthra, et al., 2022). Adicional a esto, estarán respondiendo de manera muy asertiva ante los clientes que desean productos amigables con el medio ambiente (Ghanbarzadeh-Shams, et al., 2022), y que quieren contribuir en la construcción de la sostenibilidad (Rico Lugo, et al., 2023). Las cadenas de suministro deben actuar frente a esta situación e implementar prácticas circulares que les permitan mostrar que responden no solo a las necesidades de sus clientes, sino también a las necesidades de la sociedad en general (Wei, et al., 2023).

Además, abordar la circularidad en una organización, facilita el desarrollo de productos y servicios innovadores (Hellström & Olsson, 2024), tendientes a fomentar la utilización de los recursos por más tiempo (Kristensen & Mosgaard 2020), razón por la cual la resiliencia es un factor importante que es impactado favorablemente al impulsar prácticas circulares (Mangers D. et al. 2023). De igual forma, al extender la vida útil de los productos, se estaría atendiendo el desafío que actualmente viven muchas organizaciones y es la escasez de recursos (Stylianopoulou, et al., 2023; Stewart, et al., 2018). En la medida en que se tenga un mecanismo circular, esto permitirá no solo atender el desabastecimiento de productos, sino también proyectarle al cliente una imagen sostenible, lo cual conducirá a una mayor lealtad por su parte (Agrawal, et al., 2023; Calicchio Berardi & Peregrino de Brito, 2021).

Por la misma línea, Pollard et al. (2021) y Lahane & Kant, (2022), enfatizan en obtener una ventaja competitiva a la hora de poner en marcha la innovación y ofrecerle al consumidor productos y servicios que marcan la diferencia con respecto a los tradicionales. Aquellos productos circulares serán considerados como nuevas oportunidades de ingresos, ya que también es muy posible habilitar modelos de negocio disruptivos a partir de la circularidad. Papamichael, et al., (2023), concuerdan con Pollard et al. (2021), validando su postura, pero adicional a esto, exponen que las cadenas de suministro al estar orientadas a la economía circular evitan riesgos con respecto al incumplimiento de regulaciones ambientales, actuando proactivamente y yendo un paso más adelante de las directrices de los gobiernos reguladores que promueven la circularidad, siendo una perspectiva convergente con Senthil, et al., (2018).

Complementando lo anterior, es importante considerar a Walter Stahel (2010), con su obra seminal "The Performance Economy". Este autor resalta la relevancia de la eficiencia y la sostenibilidad en sistemas industriales. En su escrito, muestra cómo por medio de prácticas circulares tales como la remanufactura y la reutilización, se puede lograr la transición a una economía circular, contribuyendo además al rendimiento financiero, y habilitando que los productos puedan extender su tiempo de vida, tal como también lo mencionan Kristensen & Mosgaard (2020), donde corroboran la posición de Stahel enfatizando en la prolongación de la durabilidad en productos circulares. Igualmente, los autores Aarikka-Stenroos et al., (2022) con la misma perspectiva, manifiestan la interrelación de tres tipos de valor que incrementan la eficiencia por medio de la creación, transferencia y captura de valor que arroje la circularidad.

Otro exponente relevante dentro del contexto de economía circular y líder en la comunidad de la circularidad es la Fundación Ellen MacArthur (2013). Esta fundación ha generado múltiples aportes al tema en cuestión con sus publicaciones y divulgaciones de mejores prácticas de economía circular, estando en línea con Stahel (2010). Enfatizan

en la maximización de la recuperación del valor de productos y minimización del desperdicio. Para Ellen MacArthur Foundation (2013), no debería existir la última parte de la dinámica de economía lineal, es decir, el desperdicio cuando ya el producto se ha utilizado. Es necesario desde el diseño crear productos que no permitan que su ciclo finalice, sino que regrese nuevamente a la cadena de suministro, tal como también lo sustentan Mangers J. et al. (2023) y Maione et al. (2022).

1.4. Información acerca del sector

Uno de los sectores más representativos con relación al consumo masivo de recursos y generación de emisiones de gases de efecto invernadero, es el sector manufacturero (Sajjad et al., 2024). Es aquel que requiere constantemente del ingreso de materia prima, energía y agua a su cadena de suministro (Salmenperä et al., 2021), por lo tanto, es importante buscar mecanismos para trabajar en la reducción del consumo de recursos eliminando el desperdicio. Por esta razón, el sector manufacturero se convierte en un candidato ideal para esta investigación que busca contribuir a la industria con el modelo de economía circular, siendo una forma de minimizar el impacto de los resultados de una economía lineal, la cual es el enfoque desde la revolución industrial de la manufactura. La circularidad en este sector es muy conveniente para contribuir en la reducción de desperdicio y costos, lo que lo habilita a una mejor estabilidad financiera (Sánchez-García et al., 2023; Gao, & Cao, 2020).

Según Mallick, et al. (2023) y Gupta et al., (2021), si se desea contribuir en la sostenibilidad ambiental y económica, una forma efectiva es incursionar en prácticas circulares para buscar la manera de controlar el impacto que tiene la economía lineal y mitigarlo. Por otro lado, con respecto al foco social, el sector manufacturero tiene un peso relevante, ya que proporciona una cantidad importante de empleos e impulsa al desarrollo e innovación de las comunidades (Morseletto, 2023; Primc et al., 2020). Atender estos aspectos, también es velar por la competitividad y por su viabilidad a nivel económico a través de la circularidad (Nagalingam et al., 2013; Martín Gómez, et al., 2018). El sector manufacturero, es un sector con una gama muy amplia de oportunidades en la creación de nuevos modelos de negocio circulares que les permitirá contribuir de mejor manera en su salud financiera (Muranko et al., 2018; Al-Saidi, et al., 2021).

Adicional a lo anterior, si los fabricantes del sector manufacturero desean más fidelidad en sus clientes, y que haya una mejor reputación con respecto a su marca, entonces deberán trabajar por impulsar productos mucho más sostenibles (Qazi &

Appolloni, 2022). Este sector tiene una influencia única dentro de la cadena de suministro desde su fase inicial de la extracción de materias primas hasta la entrega al cliente y viceversa (Rachih et al., 2019). Es por eso que pueden hacer cambios en sus procesos de transformación incorporando prácticas circulares que les permita impulsar desde su interior la circularidad (Monostori, 2021; Sandberg, 2023), tendiendo a la resiliencia y permanencia en un largo plazo de manera productiva y sostenible. Es por eso que tal como lo mencionan Massari, et al., (2022), hoy en día se necesita estar preparados para afrontar las interrupciones inesperadas y la incertidumbre en las cadenas de suministro. La circularidad ayuda a mitigar estos desafíos.

Con respecto a Colombia, el sector manufactura representa una contribución del 12% en el Producto Interno Bruto (PIB) (DANE, 2022), aporte significativo en el país para impulsar prácticas circulares y mejorar la sostenibilidad en su reducción de residuos, que según el octavo reporte del DANE de Economía Circular (2023), los residuos del sector manufacturero han venido creciendo a través del tiempo, prueba de ello es la cifra registrada de un 14.7% entre el 2020 y el 2021. Por lo tanto, hay una oportunidad de aprovechamiento de residuos en este sector de la economía por medio de estrategias colaborativas y circulares que permitan direccionarlos en la vía de recuperación de valor y de cierre de ciclo. También hay un alto potencial para incentivar a las organizaciones a cambiar sus modelos de negocios lineales por circulares con el fin de mejorar su salud financiera y rentable a través de nuevos ingresos generados por prácticas sostenibles.

1.5. Planteamiento de hipótesis

Esta investigación tiene una inclinación en la simbiosis entre lo financiero y sostenible, más específicamente, entre la rentabilidad de una organización y las prácticas circulares y colaborativas que permiten alcanzar la sostenibilidad. Tal como lo plantean Guo, et al., (2022), la sostenibilidad se obtiene solo si se cuenta con la colaboración de las partes interesadas, y esta colaboración incide en la gestión de los recursos necesarios para el buen funcionamiento de las estrategias a implementar. Los costos se pueden compartir entre los que conforman una red, y de esta manera se le apuesta a la rentabilidad de los involucrados. Por otra parte, siempre existirán riesgos e incertidumbre en una cadena de suministro, y esto incluirá costos financieros inciertos (De Lima, & Seuring, 2023), es por eso, que, si se quiere avanzar en estrategias que permitan mitigar dichos costos, es necesario recurrir a prácticas disruptivas, innovadoras, y efectivas a la hora de contrarrestar las dificultades que se han venido afrontando en una economía tradicional lineal (Atabaki. Et al., 2020; Ren, et al., 2023).

Por otra parte, Wu & Chiu, (2018), plantean que la colaboración es esencial en las cadenas de suministro, yendo muy en línea con Grudinski, et al., (2014), quienes adicionalmente mencionan que la colaboración influye en tres aspectos relevantes para cualquier organización que son la comunicación, la confianza y la gobernanza. Exponen que al sincronizar a todos los stakeholders hacia un mismo objetivo, y establecer un vínculo con cada uno de ellos, fluirá de manera efectiva una cooperación sólida entre las partes que permitirá la obtención de los resultados esperados trazados a partir de su planeación. Es por este motivo relevante, hallar una relación saludable de confianza entre cadenas de suministro (Han, et al., 2021). Esto se logra buscando beneficios colectivos como lo exponen Herczeg, et al., (2018), que se basen en prácticas circulares, utilizando los residuos como insumos para generar de manera innovadora subproductos o como parte de un nuevo ciclo de producción (Adams, et al., 2021; Moktadir, et al., 2018).

También Lindsey, et al., (2022) en su investigación, demuestran que hay una marcada ventaja competitiva a la hora de realizar inversiones entre socios estratégicos de las cadenas de suministro, que permitirán establecer una colaboración fortificada entre las partes interesadas. Igualmente, Johnson & Klassen (2022), y Orji & Ojadi, (2023), exponen que, a partir de la colaboración, se pueden crear soluciones innovadoras y novedosas para resolver problemas y obtener mejores resultados con respecto a la sostenibilidad. Así mismo, cuando en una organización no se cuenta con el personal capacitado y experimentado en las habilidades necesarias para desarrollar diferentes estrategias, es inminente que se requiere el apoyo de otros que sí posean las capacidades y habilidades que transmitan ese conocimiento para potenciar a la red en general (Pishchulov, et al., 2022; Patil, et al., (2023; Giannoccaro, 2015).

Por todo lo anterior, se establece esta hipótesis de investigación, que será validada con la obtención de los resultados de este estudio:

“Un modelo de economía circular que integre variables de rentabilidad y circularidad en cadenas de suministro manufactureras, permitirá establecer una estrategia colaborativa entre ellas para mejorar su rentabilidad financiera y facilitar su transición a una economía circular.”

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

El propósito global de esta tesis de doctorado es:

“Desarrollar un modelo colaborativo estratégico entre cadenas de suministro manufactureras, que facilite la transición a una economía circular y permita la mejora de su rentabilidad.”

1.6.2. Objetivos específicos

Como objetivos específicos de esta investigación se consideran los siguientes:

- Identificar las variables del modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras.
- Caracterizar las cadenas de suministro manufactureras a partir de las variables identificadas previamente en el primer objetivo.
- Diseñar el modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras.
- Validar el modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras.

1.7. Estructura de la tesis

Esta tesis se divide en cuatro secciones, las cuales se subdividen por numerales. La primera sección que corresponde a la introducción de la tesis contiene el problema de investigación, la justificación, la información acerca del sector, el planteamiento de la hipótesis, los objetivos, y el marco teórico que aborda las temáticas de la investigación de forma comparativa y gráfica, cerrando esta primera parte con una propuesta de modelo preliminar y unas conclusiones parciales. La segunda sección se enfoca en la explicación detallada de la metodología, abordando el tipo y clasificación de la investigación, población y muestra, descripción de técnicas e instrumentos de medición y conclusiones parciales. La tercera sección describe los resultados, iniciando por los componentes del modelo de economía circular en el numeral 3.1. Luego, se presenta la caracterización de las cadenas de suministro manufactureras en el numeral 3.2.

Posteriormente, se analiza la representación del modelo de economía circular en el numeral 3.3, en donde se relaciona la adaptación del modelo a un sector manufacturero colombiano. En los resultados se evidencia la validación del modelo con técnicas de simulación en el numeral 3.4, y para concluir este apartado, se cierra con la discusión de resultados. La cuarta sección es para las conclusiones, aportes y recomendaciones a la academia y a la industria. Por último, se cierra el documento con las referencias y anexos.

1.8. Marco teórico

Este numeral presenta una revisión de literatura sobre las temáticas fundamentales de la investigación. Hace un recorrido teórico sobre la economía circular, cadenas de suministro, la rentabilidad y los indicadores financieros rentables. Posteriormente, se exponen dos análisis bibliométricos que permiten mostrar las diferentes posturas de los autores consultados referente a las relaciones entre la circularidad y la rentabilidad, además de las estrategias circulares y colaborativas que se derivan de estos temas. Se finaliza con un modelo relacional preliminar en donde se concentran los principales elementos encontrados dentro de los hallazgos de esta revisión de literatura.

1.8.1. Revisión conceptual

En esta primera parte del marco teórico se exponen los términos principales de la investigación como preámbulo a los análisis bibliométricos y propuesta del modelo preliminar del estudio. Se abarca la economía circular, las cadenas de suministro, la rentabilidad y los indicadores financieros de rentabilidad.

1.8.1.1. Economía circular

La economía circular hace parte de la sostenibilidad y se encarga de cerrar el ciclo de un producto o servicio, no generando desperdicio y siendo la contraposición de la economía lineal que representa una dinámica de inicio a fin, llegando a los desperdicios del producto cuando cumple su ciclo establecido. La Fundación Ellen MacArthur (2013), puntualiza que la circularidad debe velar por la maximización del valor de los materiales que circulan en una cadena de suministro, en donde se vuelven regenerativos. Este sistema cíclico apunta a impulsar la eficiencia de los recursos de una organización, incentivando las prácticas circulares (Aarikka-Stenroos et al., 2022; Kumar, et al., 2021),

para lograr un ambiente sostenible que propenda por el bienestar de la comunidad, del ambiente y de lo económico.

1.8.1.2. Cadenas de suministro

La economía circular se desarrolla en cadenas de suministro, y estas son redes de instituciones, entidades, stakeholders, y recursos que trabajan por lograr un mismo objetivo siempre con el enfoque de atender las necesidades del cliente (Ganesan, 2015). Las organizaciones que conforman las cadenas de suministro tienen el papel esencial de transformar un bien o un servicio (Ma, 2022), buscando la reducción de costos en cada una de las actividades que comprenden sus fases, desde la planeación hasta la entrega y retorno por el cliente. También, deben buscar la maximización de valor de todos los recursos que circulan en la cadena (Brunoe, et al., 2019; Moktadir, et al., 2018).

1.8.1.3. La rentabilidad

La rentabilidad es la capacidad que tiene una organización para generar ganancias y hace parte del análisis financiero el cual aporta una valoración con relación a su salud financiera. Cuando se habla de una organización rentable, es porque trabaja por ser eficiente y sus indicadores demuestran una buena gestión y planeación en las finanzas. Esto se evidencia cuando hay una muy buena actuación en la reducción de costos y maximización de utilidades. Para poder medir la rentabilidad, se deben calcular los indicadores financieros rentables tales como el Return on Assets (ROA), el Return on Equity (ROE), el margen neto, el margen bruto, el Earnings Before Interest and Taxes (EBIT) y, por último, como un complemento a los anteriores, se realiza un análisis de Dupont que descompone el margen de utilidad, la rotación de activos, y el apalancamiento financiero (Pereira et al., 2022; Herczeg et al., 2018).

1.8.1.4. Indicadores financieros de rentabilidad

Los indicadores de rentabilidad evalúan los activos con respecto a las ventas (Return on Assets (ROA)); el capital que igualmente se revisa con relación a los ingresos (Return on Equity (ROE)); los márgenes brutos corresponden a los ingresos menos los costos de bienes vendidos; los márgenes netos están conformados por las ganancias netas versus las ventas; las ganancias antes de intereses e impuestos (Earnings Before Interest and Taxes (EBIT)) toman las ganancias operacionales con los ingresos; y el análisis Dupont es la multiplicación del margen del beneficio por la rotación de activos y finalmente por un apalancamiento financiero (Herczeg et al., 2018), (ver anexo 1).

1.8.2. Análisis bibliométrico

En esta segunda parte se abordan dos análisis bibliométricos que permiten direccionar la investigación hacia la revisión de la relación entre la circularidad y la rentabilidad, además de detectar las principales prácticas circulares y estrategias colaborativas, agrupándolas en conglomerados, con el fin de aprovechar sus resultados para generar un modelo teórico preliminar.

1.8.2.1. Revisión bibliométrica 1.

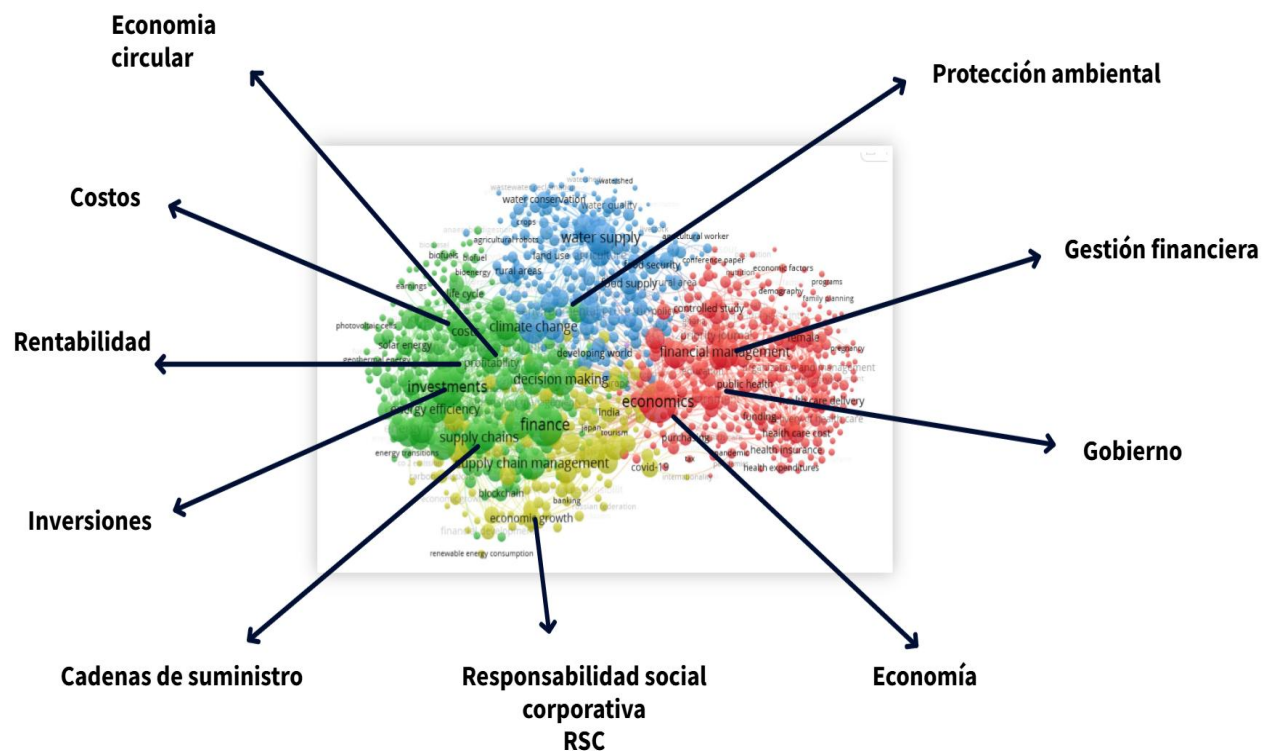
1.8.2.1.1. Análisis de clusterización bibliométrica 1.

El primer análisis está enfocado en investigar sobre la relación entre la economía circular y la rentabilidad. Para ello, en la base de datos de Scopus, se consultan las palabras claves en inglés: "Finanzas, Procurement, Circularidad, Economía circular, Cadenas de suministro, cierre de ciclo, modelos de negocios circulares, y sostenibilidad". Esta consulta se realiza para los últimos 10 años desde el 2014 al 2024. De esta búsqueda, los archivos se filtran por área, y se elige: "Business Management and Accounting", documentos que estén en inglés, y documentos de tipo artículo científico. Se exporta un csv para llevar a cabo el análisis en los softwares VosViewer y Bibliometrix, en donde se realiza limpieza de datos hasta obtener la figura 2.

En la base de datos Scopus se consulta y se ingresa la siguiente ecuación de búsqueda: "Finance" OR "Procurement" OR purchas* OR sourc* OR "supply" AND "circularity" OR "circular economy" OR "circular supply chain*" OR "closed-loop supply chain*" OR "green supply chain*" OR "circular business model" OR "green" OR sustainab*.

Figura 2

Diagrama de clústers sobre la relación entre circularidad y finanzas



Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 2 se resalta la sinergia entre la economía circular y el área financiera. Se visualizan cuatro clústers muy definidos. El clúster verde se destaca por enfatizar en los beneficios financieros a la hora de implementar prácticas circulares. Es una opción rentable el apostarle a la circularidad en las cadenas de suministro. Por lo general las organizaciones realizan inversiones en pro de la sostenibilidad obteniendo ganancias al reducir sus costos y maximizando el valor de sus recursos. El clúster rojo por su parte representa ese equilibrio que debe existir entre la gestión financiera, la gobernanza y la economía a la par con los principios circulares.

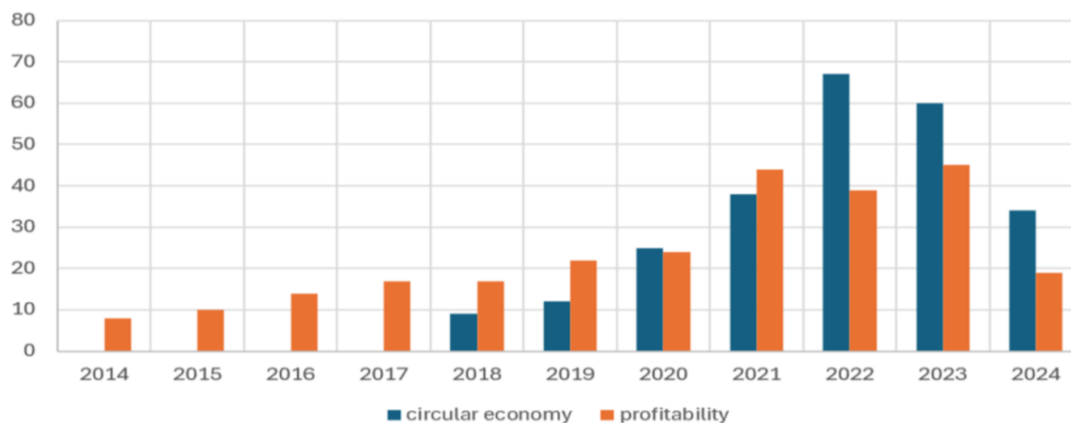
Cuando las cadenas de suministro gestionan adecuadamente sus recursos, ven una gran ventaja al atender no solo sus objetivos financieros, sino también los ambientales y los que están enfocados a la sociedad. Esto permite que sean estratégicos para alcanzar la sostenibilidad. Por otra parte, el clúster azul, está más inclinado por el foco ambiental, razón por la cual actualmente la economía circular se vuelve indispensable para proteger el medio ambiente a nivel global. Es por eso que los recursos como el agua y la energía deben ser optimizados, siendo las organizaciones las entidades principales para mitigar su desperdicio con una gestión activa de eficiencia productiva.

En la parte inferior del gráfico, se encuentra el clúster de color amarillo que representa la responsabilidad social corporativa. Su enfoque principal es el apoyo en el crecimiento económico a través de planes estratégicos sostenibles que se enfoquen en adoptar la circularidad en las comunidades, habilitándolas para que puedan dejar a un lado la economía tradicional lineal, cambiando el desechar los productos y materiales, por recuperar su valor, y reintegrando la inversión depositada al darle una mayor vida a esos recursos circulares. Al mismo tiempo, se crean más puestos de trabajo de tipo circular siendo un significativo aporte para la sociedad.

Otro de los análisis que se realiza en este primer enfoque bibliométrico, se hace a partir de la figura 3, la cual muestra una gráfica de barras combinada, en donde las barras de color azul representan las publicaciones sobre economía circular y las de color naranja, las publicaciones sobre rentabilidad.

Figura 3

Publicaciones relacionadas entre economía circular y rentabilidad



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Se evidencia en la figura 3, una tendencia creciente de ambas ramas tanto de la economía circular como de la rentabilidad a través de los últimos diez años en que se hace la búsqueda. Se observa que el tema inicial de interés es el de rentabilidad que ha venido creciendo con el tiempo desde el 2014 hasta llegar a sus picos más altos en los años 2021 y 2023, mientras que los investigadores en la base de datos Scopus, le empiezan a dar relevancia al tema de la circularidad a partir del 2018. Este foco de sostenibilidad muestra una tendencia mayor a la del tema de rentabilidad y su punto más alto se presenta en el 2022 con 70 publicaciones. Es por eso que se infiere con este estudio, que las investigaciones a través del tiempo les han dado cada vez más

importancia a las prácticas circulares a la par con su rentabilidad, con el fin de apostarle al desarrollo sostenible en respuesta a las políticas impuestas por la sociedad (Widmer, et al., 2018).

En el 2018 se marca la tendencia creciente por la economía circular, debido a la legislación y políticas internacionales que se establecen principalmente en Europa. En este continente, se marca la pauta en el establecimiento de políticas públicas que orienten a la comunidad entera a trabajar por la circularidad. De la misma manera, se incrementa la presión de los consumidores y empresas por el cuidado del medio ambiente, lo que lleva a la sociedad a elegir productos que sean eco-amigables. Por lo tanto, las cadenas de suministro se enfocan con más énfasis en la economía circular y en prácticas responsables y sostenibles para satisfacer las nuevas necesidades de sus clientes. Por otra parte, en Colombia, también se publica la Política Nacional de Economía Circular en el 2018, dirigida para reducir, reutilizar y reciclar los materiales en diferentes líneas de flujo de recursos en el país. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2019).

1.8.2.1.2. Relación entre la circularidad y rentabilidad a partir de la bibliometría

Tal como se evidencia en la figura 2, hay una relevancia en las investigaciones de la economía circular y financieras rentables en los últimos tiempos. Al implementar prácticas de economía circular se mejora el rendimiento financiero por las posibilidades de ahorrar costos al extender la vida útil de los productos y trabajar por la eficiencia de recursos en la implementación de técnicas de recuperación del valor de los materiales. Cheng et al., (2022), exponen que la rentabilidad es crucial en una cadena de suministro. Los autores se enfocan en la complejidad de redes y analizan la importancia de considerar el foco económico como fundamental para poder desarrollar la competitividad (Zhang & Cao, 2018).

De manera análoga, Wong et al. (2015), muestran que para tomar mejores decisiones y tener un mejor desempeño de rentabilidad, es necesario realizar una integración efectiva de la información en las cadenas de suministro que quieren transitar hacia la circularidad. Afirman que la rentabilidad es fundamental para alcanzar mejores resultados según los objetivos trazados por las organizaciones. Por otro lado, Bai & Sarkis (2013), investigan sobre la incidencia de la logística inversa en cadenas de suministro y destacan que es esencial para ellas el fruto obtenido de las ganancias con respecto a prácticas circulares, permitiendo ser más rentables y ayudando a que tengan

una mejor adaptación a los cambios en sus actividades logísticas que se direccionen hacia la economía circular.

Otros autores que también exponen la importancia de la gestión efectiva financiera rentable, son Mazzucchelli, et al. (2022), quienes investigan las transformaciones de los cambios de una economía lineal a una circular, analizando sus beneficios económicos que esta transformación deja, y además, cómo incide optimizar los recursos y trabajar por la reducción del desperdicio, si se quiere alcanzar la circularidad. McDougall et al. (2022) por su parte, destacan la obtención de una ventaja competitiva a la hora de abordar prácticas sostenibles circulares. Muestran cómo influyen los incentivos y beneficios que proporcionan este tipo de prácticas en las cadenas de suministro, y cómo las potencia y motiva para superarse.

Para Zikopoulos & Tagaras (2022), reconocen que es esencial maximizar el desempeño financiero y lo demuestran por medio de los efectos que tienen las redes de recolección y clasificación de los retornos. Esta parte fundamental de la logística inversa en la economía circular debe ser planificada de manera efectiva para obtener procesos eficientes (Coşkun, & Kazan, 2023). A su vez, Ullah et al. (2022), se enfocan en mejorar la rentabilidad, pero de la mano con la resiliencia en las organizaciones. Entienden que las cadenas de suministro en algún momento van a tener que enfrentar una crisis y deben estar preparadas desde todos los focos incluida la estabilidad financiera y las buenas prácticas en la gestión operativa.

A la par con lo anterior, es importante aprender a reducir costos en una cadena de suministro ya que puede habilitar nuevos modelos de negocios con esos ahorros acumulados por implementar prácticas circulares (Feng & Goli, 2023). Si una organización pone en práctica el reciclaje, la remanufactura, la reutilización, el reuso, el repensar nuevos productos y servicios circulares, entre otros, en primer lugar, estará apuntando hacia la sostenibilidad por velar en la reducción del desperdicio, y viéndolo desde otra perspectiva que es, cuál es el valor de los desechos, y cómo pueden contribuir en una economía en contraposición con la lineal (Hysa et al., 2020). En segundo lugar, el desempeño financiero mejoraría a la hora de apostarle por técnicas diferentes a las tradicionales que permitan hacer recaudos que no hayan considerado dentro de la economía lineal (Gonçalves et al., 2022).

Otro punto para resaltar en este apartado es la relevancia del posicionamiento de las organizaciones en el mercado junto a su valoración de la marca (de Souza, et al., 2022). Los clientes elegirán productos que estén apoyando la sostenibilidad y por lo tanto lo recordarán en sus compras aumentando de esta manera las ventas para las compañías

que le apuesten a este tipo de prácticas sostenibles. Son muy bien valoradas por el consumidor en la actualidad ya que hay una preocupación por el cuidado del medio ambiente que se inclina en compras de productos y servicios que hayan sido fabricados de una forma no convencional sino circular (Feng & Goli, 2023).

1.8.2.1.3. Relaciones entre la circularidad y las estrategias colaborativas

La relación entre la economía circular y las estrategias colaborativas desencadenan una cooperación tendiente al desarrollo de la sostenibilidad a un nivel de asociaciones y alianzas que permiten coordinar esfuerzos comunes (Vegter, et al., 2023). Algunos autores que destacan la colaboración en prácticas circulares son Herczeg et al. (2018), mostrando la eficiencia de los recursos y reducción de costos, a través de la simbiosis industrial entre organizaciones. Son beneficios importantes en la consecución de la circularidad a la hora de establecer relaciones con otros pares que puedan aportar y estén en línea con los mismos propósitos. De manera similar, Agrawal, et al., (2023) y Acosta-Santoyo, et al., (2024), exponen sobre la optimización de procesos y mejora de la eficiencia, a través de la colaboración digital entre las partes interesadas. Herrador & Van (2024), se centran en enfoques colaborativos para demostrar que son aportes valiosos en la sostenibilidad.

En este contexto, las estrategias colaborativas pueden impulsar y habilitar la circularidad en las organizaciones a través de diferentes actividades que se pueden concretar al establecer cooperaciones entre pares tales como redes de reciclaje, asociaciones y alianzas con instituciones académicas y de investigación que estén motivadas por darle énfasis a la innovación en las mejores prácticas sostenibles (Van Eechoud & Ganzarlo, 2023), y todo esto desencadenando la optimización de procesos tanto de una logística inversa como la convencional y reducción de costos en las cadenas de suministro (Alamerew & Brissaud 2020). Otros autores que presentan en su investigación cómo se puede abordar la eficiencia, la innovación y la optimización de procesos a través de prácticas colaborativas son Asif, et al., (2018). Mientras que para Atabaki et al., (2020), la optimización colaborativa es una estrategia efectiva a la hora de hacer una transición de la economía lineal a la circular uniendo esfuerzos entre diferentes organizaciones para a su vez mejorar su desempeño económico.

Por otra parte, al hablar de acciones colaborativas, se resalta también el hecho de compartir beneficios y riesgos a la hora de trabajar en conjunto entre organizaciones e instituciones de investigación que apoyen la innovación, y la gestión en generar ahorros importantes por cambios en los procesos (Assid et al., 2023; Debnath & Sarkar, 2023). Se requiere una planificación sincronizada y una buena coordinación, que permita tener

éxito en las estrategias colaborativas que se establezcan entre cadenas de suministro que estén interesadas en ser más sostenibles y eficientes, consumiendo la menor cantidad posible de recursos, y a la vez, valorando cada material, producto, e insumo que fluya por su organización de manera convencional o inversa, y también por la de las organizaciones asociadas (Bag et al., 2021).

Igualmente, los anteriores autores consideran que, para llegar a obtener negocios resilientes y competitivos, también es necesario apoyarse de las estrategias colaborativas para capacitar a todas las partes interesadas en el desarrollo y resultados de prácticas circulares en cooperación con otros (Agyabeng-Mensah, et al., 2021). Cuando los stakeholders están enterados y tienen conciencia de las acciones que se llevan a cabo en sus cadenas de suministro, es más probable que puedan aportar, apoyar y ayudar a la causa. Pero si no hay ese conocimiento previo de porqué es importante apostarle a la sostenibilidad a través de la economía circular, entonces, las acciones de los pocos contribuyentes a este fin no podrán ser cosechadas a través del tiempo y se perderá el esfuerzo realizado. Es por esta razón muy conveniente programar regularmente orientaciones y capacitaciones, junto con experimentaciones a todo el personal sobre prácticas circulares colaborativas (Bocken, et al., 2018).

Es importante resaltar con relación a la orientación colaborativa, la teoría de Supply Chain Orientation (SCO), ya que está muy alineada al tema de esta investigación porque relaciona la colaboración y coordinación que tienen todas las partes interesadas tanto interna como externamente. Esta teoría apoya la sincronización que se puede establecer dentro de las cadenas de suministro a través de sus áreas de trabajo, fortificando sus prácticas y políticas que se enfocan en trabajar por la eficiencia de los recursos, la efectiva comunicación entre las partes, y alinea de manera estratégica los objetivos que se han propuesto (Patel, et al., 2013).

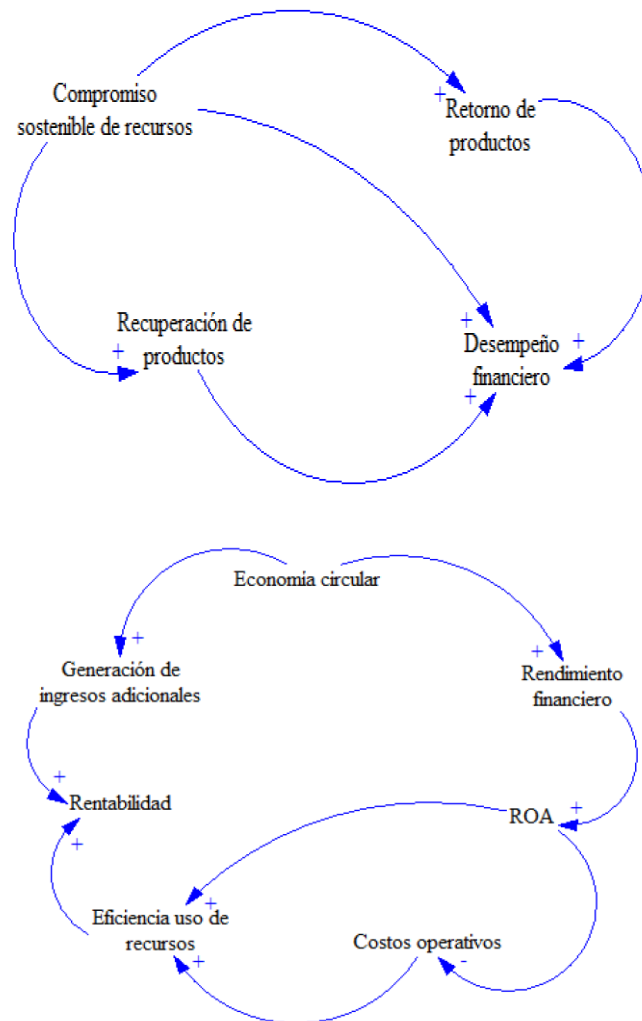
1.8.2.1.4. Relaciones entre indicadores de rentabilidad y circularidad

Con relación al desempeño financiero, las prácticas circulares son un aporte significativo a la hora de reducir costos y mejorar la eficiencia operativa gracias a la regularización de los residuos y desperdicios ocasionados en una organización a través de la circularidad (Gu et al., 2024; Mazzucchelli et al., 2022). Según los autores Karali & Shah, 2022 y Lucas & Noordewier, 2016, las cadenas de suministro que implementan la economía circular en sus organizaciones demuestran indicadores financieros más altos que si no lo hacen. Esto debido a los beneficios económicos que tiene el acoger estas mejores prácticas sostenibles en la recuperación del valor de aquello que en una economía lineal simplemente se desecha.

Si se desea una buena salud financiera que represente estabilidad en una organización, y con una buena gestión y desempeño a nivel económico (Agrawal et al., 2022; Konar & Cohen, 2001; Lewandowski, 2016; Blasi et al., 2021), es necesario reducir los costos de eliminación, y trabajar por el desarrollo e investigación en nuevos productos, impulsando la innovación y el enfoque por procesos eficientes. Esta eficiencia desencadena tener la preparación suficiente para ser resilientes y flexibles (Blome, et al., 2014), además de contar con el apoyo de la circularidad para alcanzar la sostenibilidad en las cadenas de suministro en sus procesos y prácticas rutinarias (Zhou et al., 2022; He et al., 2022; Lüdeke-Freund et al., 2019; Horbach & Rammer, 2020).

Figura 4

Diagramas causales de relaciones entre circularidad y rentabilidad



Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4, se representan dos diagramas de bucle causal, uno con retroalimentación positiva y otro con negativa. El de retroalimentación positivo demuestra el incremento en todas sus variables relacionadas, mientras que el negativo, en algunas de ellas hay signos inversos, es decir, el aumento de una de las variables implica la disminución de la siguiente. El primer diagrama causal desencadena un mayor retorno de productos a través del compromiso que tengan las organizaciones con relación a la sostenibilidad, y a su vez, aumenta el desempeño financiero en la medida en que ese retorno se le saque provecho rescatando el valor que tiene la devolución al considerar prácticas circulares para lograr su recuperación efectiva (Gu et al., 2024; Mazzucchelli et al., 2022).

Adicional a lo anterior, dentro de un contexto de circularidad, y con respecto al último diagrama causal de la figura 4, las prácticas circulares van a aumentar la generación de ingresos adicionales por sus nuevos modelos de negocios a través de la innovación y del repensar los procesos tradicionales. A su vez, mejorarán los indicadores financieros tales como el ROA, el ROE, los márgenes Bruto y Neto, el EBIT y el Dupont, ya que hay una incidencia directa entre la reducción de costos y mejora de eficiencia operativa y los ingresos, costos de bienes vendidos y márgenes. Al reducir costos en una organización, implica un aumento de márgenes tanto a nivel operacional como neto, por lo tanto, su desempeño financiero mejorará significativamente (Karali & Shah, 2022; Lucas & Noordewier, 2016; Agrawal et al., 2022; Blasi et al., 2021).

En conclusión de este primer análisis bibliométrico, se revela la estrecha relación en las cadenas de suministro entre la rentabilidad y la circularidad, ancladas por las estrategias colaborativas. Hay un impacto significativo implementando prácticas circulares en las organizaciones en la reducción de costos que es esencial dentro del foco financiero, junto con la relevancia que tienen la responsabilidad social y ambiental en las cadenas de suministro. Igualmente, los indicadores financieros enfocados en la rentabilidad tales como la rotación de activos y de capital, junto con los márgenes, mejoran considerablemente al adoptar la economía circular, incrementando la eficiencia en sus operaciones, además de la innovación como elemento fundamental para proponer ideas circulares novedosas que ayuden a alcanzar la sostenibilidad.

1.8.2.2. Revisión bibliométrica 2.

Se realiza una segunda revisión bibliométrica con el fin de detectar en los últimos 10 años, las principales prácticas de economía circular, y cómo se pueden agrupar entre sí de acuerdo con sus características similares. Además, se desea relacionar las prácticas

circulares con las estrategias colaborativas. La consulta en la base de datos Scopus trae las palabras clave que relacionan las prácticas circulares consultadas por los autores que hacen mención de ellas, tales como el reciclaje, el reducir, el repensar, el rediseñar, el reusar, la remanufactura, el restaurar, el reparar, el renovar, el retornar. Los filtros que se emplean coinciden con la práctica del primer análisis bibliométrico realizado en los anteriores numerales.

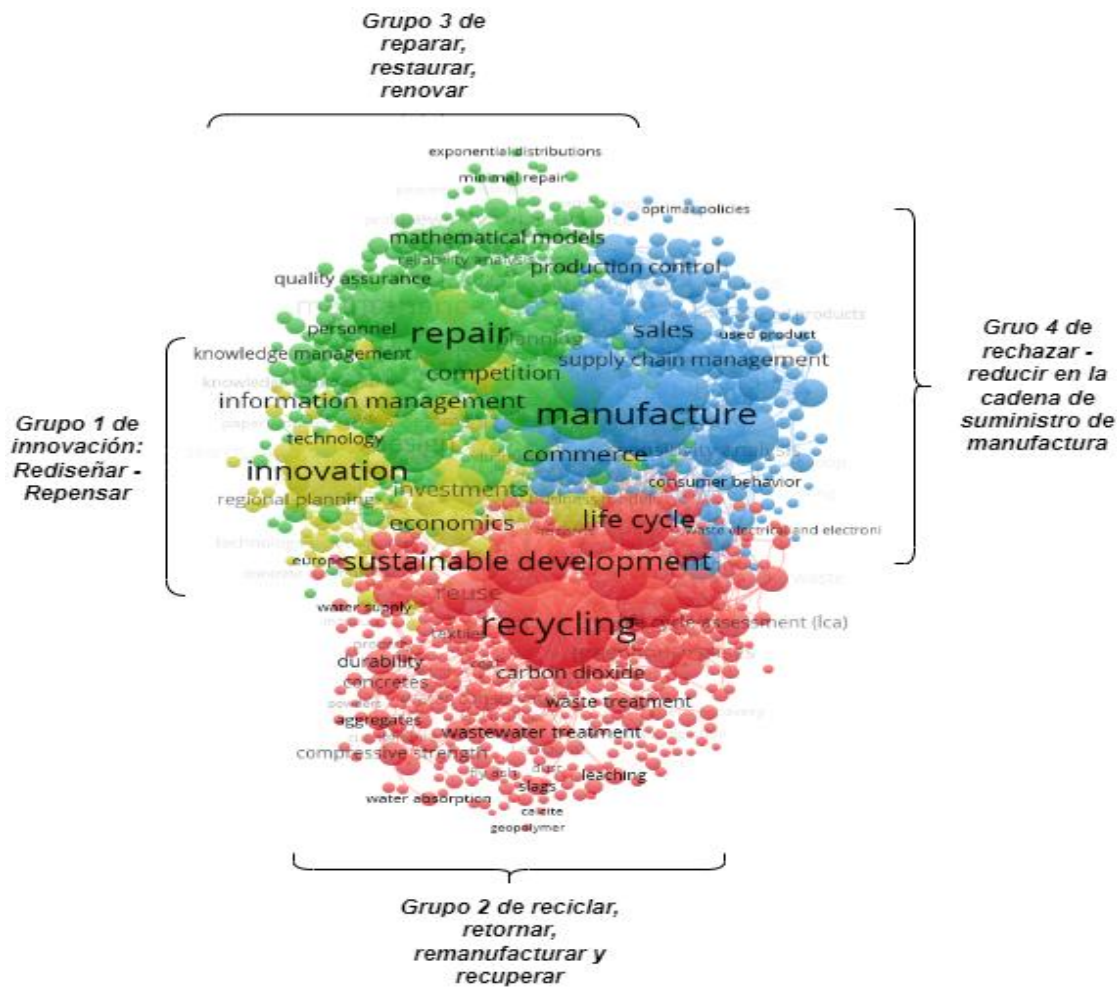
En la base de datos Scopus, se consulta con la siguiente ecuación de búsqueda para los años del 2014 al 2024. "Circular economy" OR "circular business model" OR "recycle" OR "recycling" OR "remanufacture" OR "reduce" OR "reuse" OR "rethink" OR "redesign" OR "restore" OR "repair" OR "renew" OR "return." Se consideran los mismos filtros de la revisión bibliométrica 1, que son el filtro por área: "Business Management and Accounting", el filtro de documentos tipo "Article" y el filtro del lenguaje en "English".

1.8.2.2.1. Análisis de clusterización bibliométrica 2.

Con el software VosViewer, se pueden apreciar cuatro grupos muy bien definidos, codificados por colores diferentes en la figura 5. Este es un gráfico que reúne las temáticas claves de las investigaciones relacionadas con las prácticas circulares incluidas en la ecuación de búsqueda en la base de datos de Scopus. La agrupación que presenta cada uno de los clústers se rige por la similitud en temas específicos referentes a la circularidad. Se quiere hacer un análisis de las características más significativas con respecto a los temas tendencia que representan los conglomerados de esta clusterización.

Figura 5

Clústeres teóricos del análisis bibliométrico



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Se evalúa el grupo de palabras clave por cada clúster de la figura 5, y se relaciona con las prácticas circulares y con las estrategias colaborativas, que son los temas de interés de esta investigación. Se visualiza una agrupación de color amarillo en menor proporción que las demás, pero resalta la innovación como tema líder para este conglomerado. Se infiere que el enfoque de este clúster está relacionado con “repensar” y “rediseñar”, ya que se inclina a ejecutar desde las etapas iniciales procesos de eficiencia y de nuevos procesos que tiendan a alcanzar la sostenibilidad (Roh, et al., 2014). Es por eso que, si desde el diseño y desde las fases de inicio se considera hacer una transición hacia la economía circular, será más efectivo ese direccionamiento desde este punto que si se toma al final del camino (García-Reyes, et al., 2022). Como estrategias colaborativas, se encuentra dentro del grupo de Innovación que las asociaciones con instituciones de investigación y desarrollo como las universidades y empresas de tecnología, son las más alineadas para generar nuevas ideas y propuestas con el fin de crear modelos de negocio encaminados a la circularidad (Abideen, et al., 2023).

El clúster de color rojo en la figura 5, es el más prominente de todos y con la mayor cantidad de palabras clave. Esto indica que la mayoría de las publicaciones relacionadas con la economía circular en la base de datos de Scopus, han investigado sobre las prácticas circulares tales como el reciclaje, el retornar, remanufacturar y recuperar, y este fenómeno revela que desde los primeros años que se registran publicaciones de economía circular, los autores se han enfocado en profundizar sobre dichas técnicas porque su implementación viene desde décadas atrás. En este clúster por las tendencias detectadas, se enfatiza en devolver al ciclo de producción los componentes que se consideren de valor, por lo tanto, con respecto a las estrategias colaborativas, va muy de la mano este conglomerado con las redes de reciclaje, la inversión conjunta en infraestructura, logística compartida y trabajar de manera cooperativa con todos los stakeholders para gestionar los retornos eficientemente (Herrador & Van, 2024).

Por parte del clúster de color verde, se identifica la palabra líder “reparar” y se asocia con su grupo de tendencias, las destinadas a extender la vida útil del producto mediante la restauración y la reparación. El objetivo es que el valor encontrado en el bien evaluado dure por más tiempo dentro de una economía circular. Es decir, se requieren las estrategias colaborativas para coordinar esfuerzos conjuntos y apoyarse en programas de reparación por todas las partes interesadas. Es importante que las prácticas de renovación se lleven a cabo compartiendo recursos para buscar la manera de estandarizar las mejores actuaciones en la industria, y así velar por la eficiencia de los procesos circulares colaborativos. También se relaciona a este conglomerado los incentivos y programas de fidelización que se pueden crear para que los clientes se sientan motivados y estimulados a buscar las reparaciones, restauraciones y renovaciones de los productos que fluyen por toda la cadena de suministro (Asif et al., 2018).

El último clúster de color azul se relaciona con rechazar una economía lineal, y reducir en la cadena de suministro el uso ineficiente de los recursos. En este punto, se encuentra que el rechazo está focalizado en tener una conciencia de transformación circular. Si hay esa mentalidad hacia la circularidad, se podrán generar diferentes actividades que conduzcan a cerrar el ciclo de la cadena y se pueda rescatar el valor que en una economía lineal es sencillamente desperdicio dirigido a los vertederos. En este conglomerado se resalta la necesidad apremiante de capacitar y generar concientización a todos los interesados dentro y fuera de la cadena de suministro, en la relevancia de llevar a cabo la transición a una economía circular. Por lo tanto, las estrategias colaborativas están más asociadas a realizar convenios para educar a los consumidores y stakeholders sobre el tema. Las cooperaciones se dirigen a ONGs, entidades

gubernamentales, instituciones académicas y comunidades que atiendan a la circularidad (Debnath & Sarkar, 2023).

Para concluir este segundo análisis bibliométrico, se consideran las diferentes perspectivas detectadas en la figura 5, que derivan a un relacionamiento estratégico de tipo circular y colaborativo, permitiendo identificar cuatro tipos diferentes de conglomerados tendientes a dar aportes significativos en el desarrollo de prácticas sostenibles. Las instituciones de investigación, la tecnología, las redes colaborativas, la inversión conjunta en infraestructura y logística compartida, programas de fidelización y concientización, son los enfoques más representativos que se destacan en este apartado, ligados a estrategias circulares que deberían implementarse en las cadenas de suministro manufactureras.

1.8.3. Propuesta preliminar del modelo teórico de economía circular para cadenas de suministro manufactureras

A partir de los resultados de los análisis bibliométricos, se propone un modelo preliminar que está conformado por los componentes destacados en esta investigación y que se puede visualizar en la figura 6. Se mantienen las cuatro clusterizaciones de los análisis bibliométricos, y se les asigna un grupo de características según los hallazgos encontrados en este con respecto a las temáticas del estudio. Se le da relevancia a las características financieras, circulares y colaborativas para definir el perfil de cada clúster del modelo preliminar. Para destacar lo representativo circular, se consideran las prioridades sostenibles en cada perfil.

El primer clúster, es el correspondiente al grupo 1 llamado “Rediseñar y Repensar”. Está representado por altos índices financieros dentro del foco de las finanzas. Son aquellas organizaciones que tienen un desempeño líder en esta área, y por lo tanto, pueden hacer inversiones a largo plazo, enfocándose principalmente en la innovación y en los nuevos modelos de negocios que pueden derivarse de rediseñar nuevos procesos, productos o servicios circulares. Sus estrategias colaborativas que más los representan, son las asociaciones con entidades enfocadas a la investigación y desarrollo, las alianzas con empresas conjuntas, y consorcios industriales que habiliten un mecanismo mucho más sólido en la construcción de la circularidad en red.

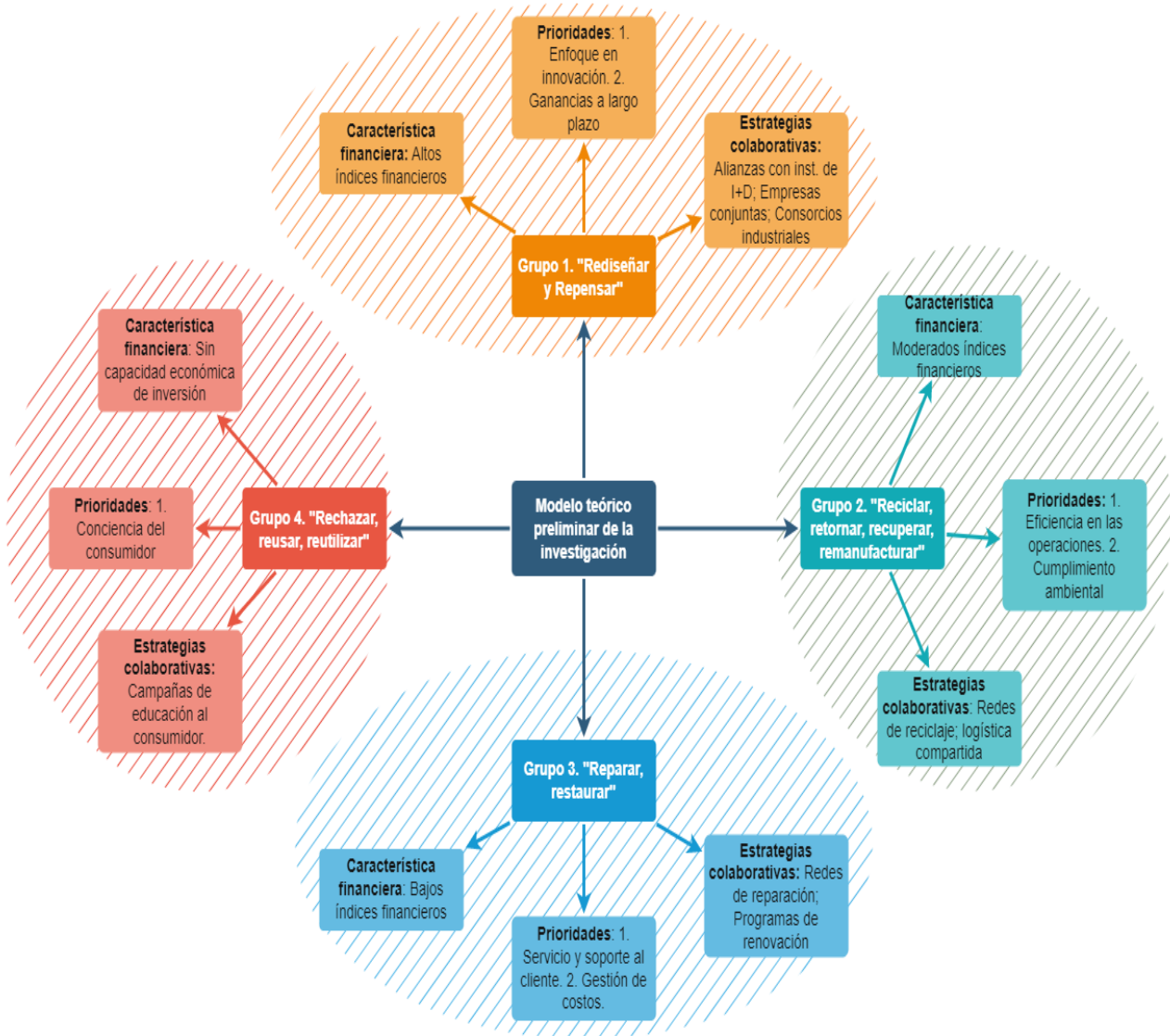
El segundo clúster, es asignado al grupo 2, cuyo nombre es “Reciclar, Retornar, Remanufacturar, Recuperar”. Su característica a nivel económico es el desempeño moderado financiero reflejado en sus indicadores rentables. No presenta un liderazgo en esta área, pero no se encuentra con problemas financieros. Es un grupo con prioridades en la eficiencia de las operaciones y cumplimiento ambiental, orientado a realizar prácticas circulares que permitan la recuperación del valor del producto. Este clúster, busca la reducción de costos con la circularidad, en la medida en que extiende la vida útil del producto para que fluya por más tiempo en la cadena. Con respecto a las estrategias colaborativas, su enfoque es a partir de la construcción de redes compartidas de reciclaje y de logística inversa que fortalezcan las buenas prácticas sostenibles.

El tercer clúster, es para el grupo 3, llamado “Reparar y Restaurar”. Este es un grupo de organizaciones que no cuentan con un buen rendimiento financiero. Su desempeño es bajo y, por lo tanto, tienen que actuar de manera efectiva para poder superarse ante este desafío. Las prácticas circulares que los ayudan y apalancan para avanzar son las reparaciones y restauraciones que no impliquen mucha inversión en su consecución. Sus prioridades están basadas en el servicio y soporte al cliente y gestión de costos. Esto porque es a partir del apoyo con el cliente que se pueden generar estrategias de reparación y restauración. Con relación a las estrategias colaborativas, se consideran las redes de reparación entre todos los interesados dentro y entre cadenas de suministro, y programas de renovación que partan de las habilidades compartidas en cooperación con los stakeholders.

El último clúster, corresponde al grupo 4 llamado “Rechazar, Reusar y Reutilizar”. Es un grupo caracterizado por la incapacidad económica de inversión debido a su muy bajo rendimiento financiero. Este tipo de organizaciones tiene que comenzar a enfocarse por crear una conciencia en el consumidor sobre la circularidad, y a partir de la capacitación, empezar a surgir con el apoyo de otras organizaciones e instituciones que permitan un importante apalancamiento. Con relación a las estrategias colaborativas, se destacan las campañas de educación al consumidor (Dutta, et al., 2021), pero no solo en las cadenas de suministro de forma aislada, sino de manera cooperativa con otras que las apoyen y muestren sus ejemplos de buenas prácticas, para que, por medio del liderazgo de otras, las organizaciones del grupo 4, puedan mejorar en cada uno de sus desafíos tanto financieros como de gestión.

Figura 6

Modelo preliminar de investigación



Nota. Fuente: Elaboración propia.

El modelo preliminar de la figura 6, integra las teorías expuestas en la revisión de literatura, en donde se establece una relación entre la economía circular y la rentabilidad. Las posturas de los diferentes autores convergen en que se incrementan los beneficios financieros a la hora de implementar prácticas circulares, y estos beneficios se evidencian en el incremento de los indicadores rentables tales como el ROA, ROE, Margen bruto, Margen Neto y EBIT. Así mismo, la integración de teorías en esta primera parte de la investigación muestra la importancia de la colaboración entre las cadenas de suministro, haciendo alusión a las estrategias que entre ellas pueden llevar a cabo para potenciar la transición hacia una economía circular.

1.8.4. Conclusiones parciales

En este apartado se hace un recorrido en primer lugar de una revisión de literatura que comprende las principales temáticas de la investigación tales como la economía circular, las cadenas de suministro, la rentabilidad y sus indicadores como un preámbulo del marco teórico. Posteriormente, se presentan dos análisis bibliométricos a través de unas gráficas obtenidas por el software VosViewer que representan la clusterización tanto de la relación entre la economía circular y el área financiera, como los diferentes conglomerados entre prácticas circulares. El desglose de estos ejercicios de revisión de literatura desencadena una propuesta de modelo relacional preliminar cuyos hallazgos se enfocan en presentar el relacionamiento entre las estrategias circulares y colaborativas, sus prioridades, junto con su respectivo alineamiento por las características financieras que tienen las organizaciones en cuatro grupos representativos de la investigación.

Por otra parte, con este apartado teórico se evidencia la correlación entre la optimización de procesos en las organizaciones, la reducción de costos por prácticas circulares y la eficiencia operacional por estrategias sostenibles, con el alto rendimiento financiero rentable. Por medio de las investigaciones referenciadas, se puede demostrar que la rentabilidad de una organización mejora en la medida que se implemente la circularidad. Es por eso necesario realizar la transición de una economía lineal a una circular con el fin de no solo atender a los cambios y beneficios medioambientales, sino también, lograr mejoras significativas en los indicadores financieros tales como la rotación de activos, la rotación del capital, el margen bruto, el margen neto y las ganancias antes de impuestos (Karali & Shah, 2022; Gu, et al., 2024).

Igualmente, con la propuesta preliminar se identifican dentro de los hallazgos recogidos por el análisis bibliográfico que hay unas prácticas circulares que son más estratégicas que otras, como es el caso de las encaminadas a la innovación y también la enfocada a repensar los procesos desde el diseño. Las cadenas de suministro que tengan la posibilidad de invertir a largo plazo en procesos de diseño circulares tendrán resultados satisfactorios a un nivel sostenible, y mucho más, si estos resultados se logran con la colaboración de sus pares. Cuando se integran todos los stakeholders, hay una mayor probabilidad de tener una mejor actuación y beneficios en la implementación de la economía circular junto con estrategias colaborativas para alcanzar un buen rendimiento financiero.

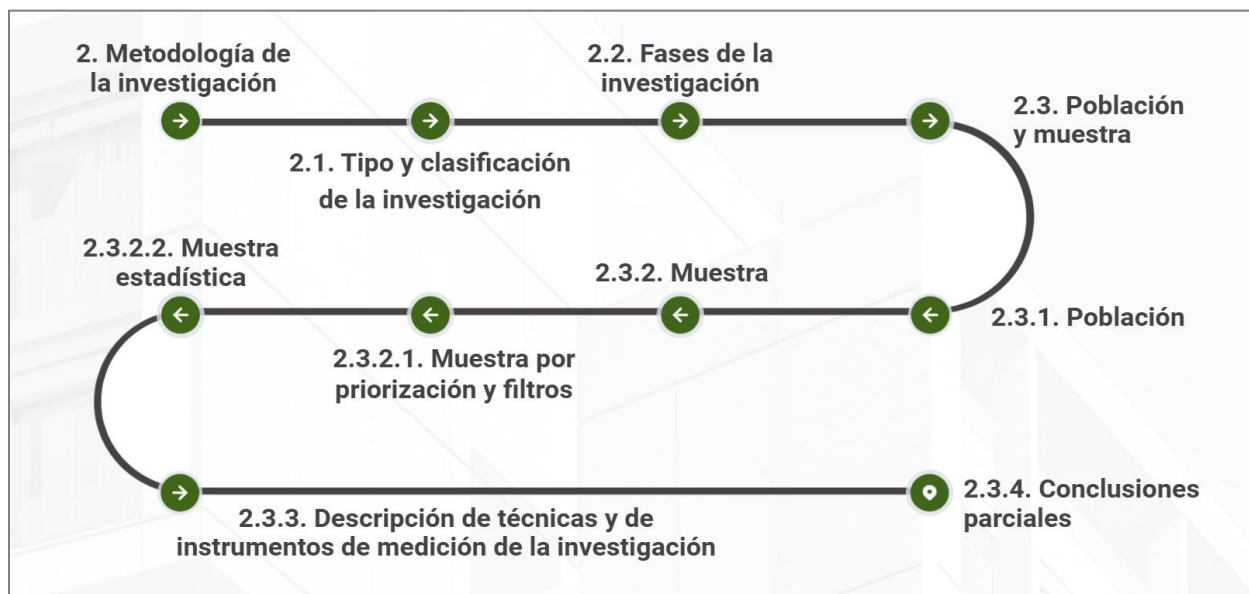
II. Material y Método

II. Material y Método

El segundo capítulo de esta investigación expone todos los elementos metodológicos que se requieren para alcanzar los objetivos propuestos del numeral 1.6. Este apartado incluye el tipo y clasificación del estudio, las fases, la población y la muestra. Se utilizan dos métodos diferentes para calcularla, que convergen al mismo resultado. Esto se realiza para validar de una manera más confiable los procedimientos empleados, y buscar la coherencia en lo obtenido dentro de este numeral. Los dos tipos de muestras que se consideran al querer encontrar una mayor fiabilidad y robustez son: por priorización y filtros, y por estadística. Finalmente, se cierra el capítulo con la descripción de técnicas y de instrumentos de medición del estudio, y con las conclusiones parciales respectivas que retoman lo esencial de este apartado.

Figura 7

Hoja de ruta del apartado Material y Método



Nota. Fuente: Elaboración propia.

2. Metodología de la investigación

En la metodología de la investigación, se presenta el diseño y las fases metodológicas empleadas para llevar a cabo de principio a fin este estudio. Se considera la descripción

detallada de las diferentes técnicas utilizadas, procedimientos y actividades para responder a los objetivos específicos trazados, que permitan contribuir al desarrollo del modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras.

2.1. Tipo y clasificación de la investigación

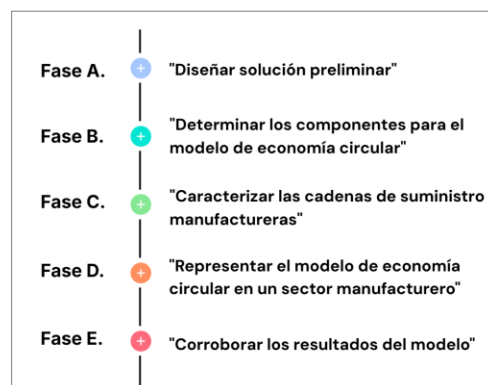
La investigación se describe de tipo mixta y correlacional. En donde se manifiestan técnicas para realizar diferentes experimentos de los fenómenos que se quieren identificar, tales como agrupaciones entre las variables por medio de machine learning con prácticas de aprendizaje no supervisado de clusterización Kmeans, combinado con el análisis de componentes principales, buscando la reducción de la dimensionalidad, que más representen la varianza explicada de los datos del estudio. El resultado de los conglomerados es caracterizado con profundidad para detectar patrones importantes que permitan derivar conclusiones con relación al modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras. Por lo anterior, también se argumenta que la investigación es de tipo experimental.

2.2. Fases de la investigación

El estudio se divide en 5 fases principales, tal como se presenta en la figura 8. Se compone del diseño de la solución preliminar, el hallazgo de los componentes del modelo, la caracterización de las cadenas de suministro manufactureras, la representación del modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras, y finalmente, la validación del modelo de investigación. Adicional a esto, en las figuras 9, 10, 11, 12, y 13, se describe el “qué” y el “cómo” con texto de color rojo, sobre el detalle de cada una de las fases de investigación.

Figura 8

Fases de la investigación

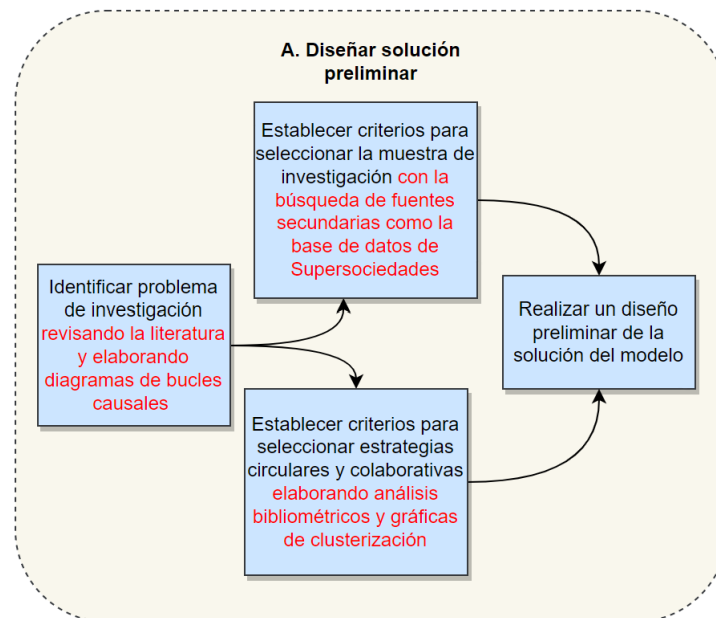


Nota. Fuente: Elaboración propia.

La primera es la fase A. “Diseñar solución preliminar”. Es una fase inicial que comienza con la identificación del problema de investigación. A partir de la revisión de literatura se plantea una problemática que delinea cada parte de este estudio y lo enfoca para responder a una pregunta de investigación. De esto se deriva el establecimiento de criterios para seleccionar la muestra de trabajo de cadenas de suministro. Paralelamente, se establecen las estrategias circulares y colaborativas desde la revisión teórica y bibliométrica. El resultado de estos componentes de la fase A, direccionan la realización de un diseño preliminar de la solución del modelo, cuyo resultado final del estudio reflejará estos hallazgos teóricos en la experimentación práctica utilizando diferentes técnicas cuantitativas (ver figura 9).

Figura 9

Fase A de investigación



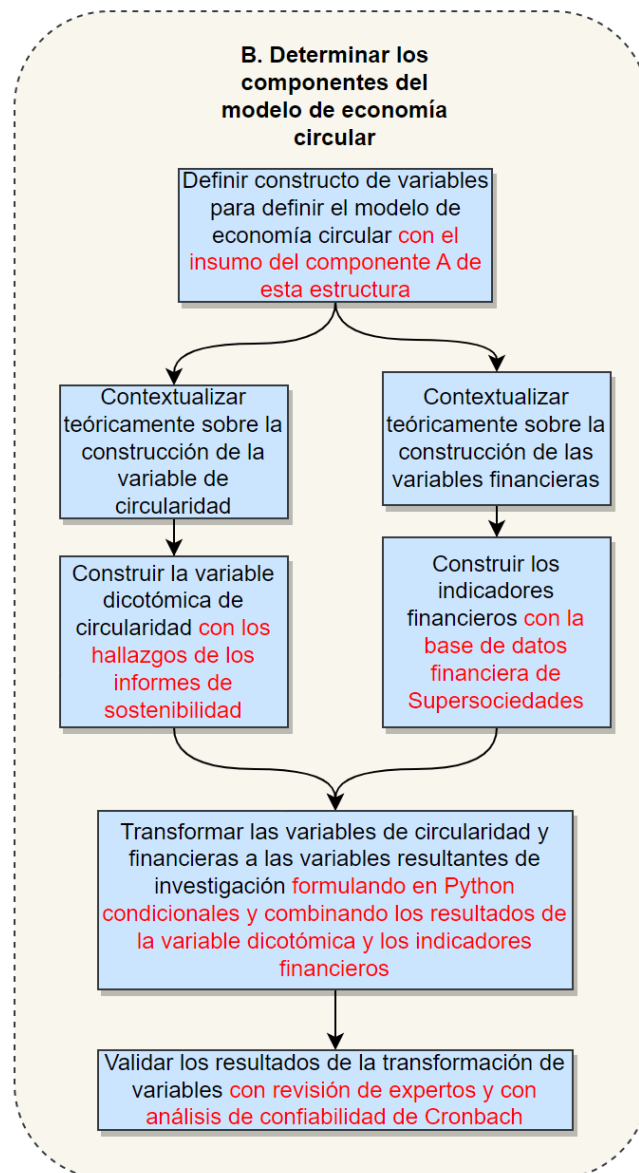
Nota. Fuente: Elaboración propia.

La fase B, “Determinar los componentes para el modelo de economía circular”, parte de la definición del constructo de variables derivadas de los resultados de la fase A. Se hace una contextualización teórica sobre la construcción de la variable de circularidad y las variables financieras. Con estos elementos, se construye una variable

dicotómica de economía circular, y de manera conjunta, se formulan los indicadores financieros de rentabilidad tales como el ROA, ROE, Margen neto (MN), y EBIT. Con estos dos grupos de variables, circular y financieros, se lleva a cabo una transformación a partir de unas condiciones de las características de las variables. Finalmente, en esta fase, se validan los resultados de la transformación de variables con análisis de confiabilidad y con una consulta a expertos (ver figura 10).

Figura 10

Fase B de investigación

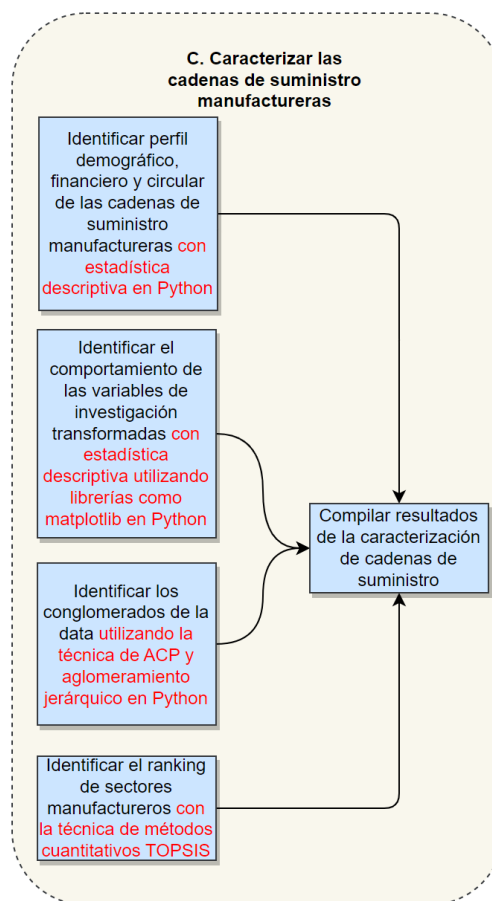


Nota. Fuente: Elaboración propia.

La fase C, “Caracterizar las cadenas de suministro manufactureras, es el apartado de la investigación en donde se indaga acerca del perfil demográfico dividido por la caracterización de localización y de años de vigencia de las cadenas de suministro manufactureras de la muestra. También se realiza un análisis del perfil financiero y circular como primera parte de esta caracterización. Luego, se identifica el comportamiento de las variables transformadas y se buscan patrones por medio de la estadística descriptiva. Posteriormente, se lleva a cabo la identificación de clústers gracias a las técnicas de machine learning con aprendizaje no supervisado de Kmeans y ACP (Análisis de Componentes Principales). Se cierra la fase, aplicando la técnica de métodos cuantitativos TOPSIS (Técnicas para el Ordenamiento de Preferencias por Similitud con la Solución Ideal) para determinar los sectores más destacados y poder elegir uno de ellos (ver figura 11).

Figura 11

Fase C de investigación

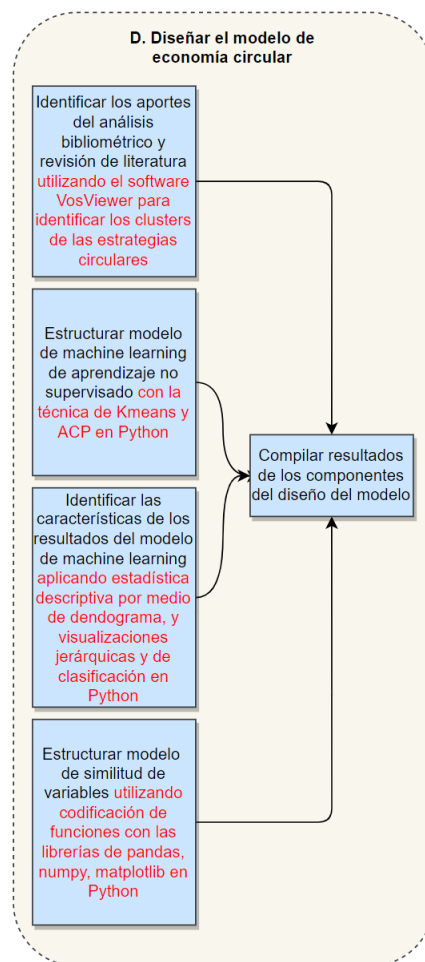


Nota. Fuente: Elaboración propia.

La fase D, “Diseñar el modelo de economía circular en un sector manufacturero”, se basa en identificar los aportes de las fases A, B y C. A partir de estos hallazgos, se estructura la dinámica del modelo teniendo en cuenta las condiciones que se requieren para que sus entradas puedan ser transformadas, y alineadas a lo que se espera obtener con sus salidas a través del apartado de la representación del modelo de economía circular. Se utilizan librerías en Python como Pandas, Numpy, Seaborn y Matplotlib, para configurar el modelo, de tal forma que compile los resultados de todos los componentes necesarios para relacionar las cadenas de suministro manufactureras, de acuerdo con sus características identificadas en la investigación, a través de la función creada para establecer una similitud de variables en el lenguaje de programación Python. Estas relaciones desencadenan una conexión con las estrategias circulares y colaborativas derivadas del primer capítulo (ver figura 12).

Figura 12

Fase D de investigación

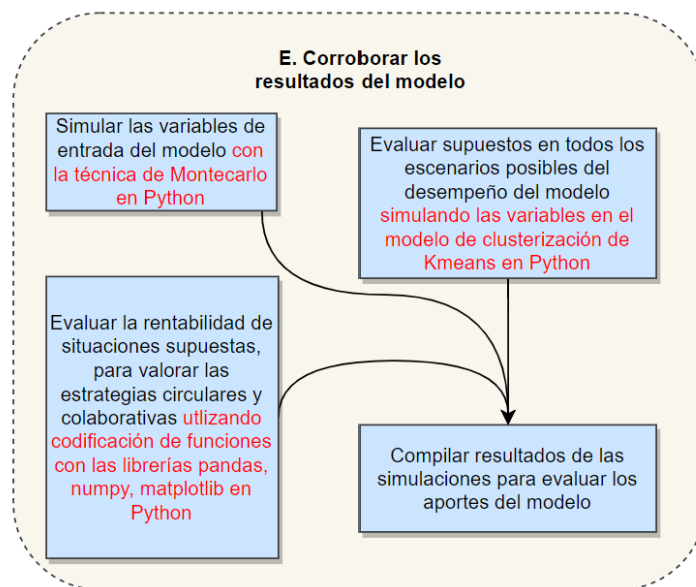


Nota. Fuente: Elaboración propia.

La fase E, “Corroborar los resultados del modelo”, abarca la aplicación de diferentes técnicas para comprobar que sus resultados cumplan con las expectativas trazadas desde el inicio de la investigación. Se utilizan técnicas de simulación Montecarlo en donde se validan las salidas de las variables del estudio. También, con un análisis de resultados a todos los escenarios posibles, se verifica que lo obtenido concuerde con lo planificado en el diseño de la investigación. Se complementa la validación, con simulaciones de supuestos para conocer los cambios del antes y del después, al modificar las variables de rentabilidad aplicando el modelo. Igualmente, con la presentación de todos los escenarios posibles del sector de manufactura elegido, también se valida que todo lo inicialmente planeado tenga una correspondencia válida. Finaliza esta fase dando respuesta a los objetivos propuestos y verificando la hipótesis formulada, que a su vez contestará a la pregunta de investigación (ver figura 13).

Figura 13

Fase E de investigación



Nota. Fuente: Elaboración propia.

2.3. Población y muestra de la investigación

2.3.1. Población

Los datos globales de la población para esta investigación son las 1000 empresas del reporte oficial de la Superintendencia de Sociedades del 2023 llamado “1000 empresas más grandes” (Superintendencia de Sociedades, 2023), por tener los ingresos operacionales más altos en Colombia para ese año. Se elije esta fuente debido a que en primer lugar es confiable por tener estandarizados todos sus datos que se almacenan en sus repositorios. Además, considerar a las empresas con mejores ingresos operacionales, es tomar a las organizaciones líderes que dan ejemplo al país de una buena gestión de sus recursos para llegar a tener muy buenos rendimientos a nivel financiero.

2.3.2. Muestra

A continuación, se presentan dos formas de obtener la muestra de investigación que convergen al mismo resultado. Esto con el fin de validar que sus resultados sean coherentes y alineados. La muestra a través de la priorización y filtros, y la muestra a través de una formulación estadística.

2.3.2.1. Obtención de la muestra por priorización de la investigación y filtros

La muestra de investigación está representada por las cadenas de suministro del informe de Supersociedades, filtradas por el macrosector “manufactura”, que se consideran organizaciones grandes con más de 250 empleados y que todos sus datos financieros hayan sido reportados por la entidad. Esto concluye a una muestra total de 165 organizaciones del sector manufacturero, que a su vez, se dividen en 12 subsectores de transformación en la producción tales como: elaboración de productos alimenticios (36%), elaboración de bebidas (3.63%), confección de prendas de vestir (3.03%), fabricación de papel y cartón (7.87%), fabricación de productos de refinación del petróleo (2.42%), fabricación de sustancias y productos químicos (18.18%), fabricación de productos farmacéuticos, fabricación de productos de caucho y de plástico (7.27%), fabricación de productos minerales no metálicos (4.84%), fabricación de productos metalúrgicos básicos (3.63%), fabricación de productos elaborados del metal(3.03%), y fabricación de aparatos y equipos electrónicos (4.24%).

2.3.2.2. Obtención de la muestra estadísticamente

La muestra de la investigación, también se obtiene desde una perspectiva estadística. Se emplea el análisis de la muestra para una proporción, y los datos a considerar para este cálculo son:

- Nivel de confianza: 95%
- Margen de error: 7%
- Población: 1000 cadenas de suministro

Al reemplazar los valores anteriores en la fórmula de la muestra para una proporción, se obtienen 165 cadenas de suministro como resultado final.

Esta es la solución de la fórmula correspondiente a la ecuación 1:

Ecuación 1. Muestra para una proporción

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{E^2}$$

n = Tamaño muestral

Z= Nivel de confianza deseado de un 95%. Z = 1.96

p = Proporción estimada de la población (se asume 0.5)

E = Margen de error de 0.07.

Primero se hace el cálculo sin el ajuste de población finita:

$$n = \frac{(1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot (1-0.5)}{(0.07)^2}$$

n = 196 cadenas de suministro

Ahora, haciendo el ajuste para una población finita, y según la ecuación 2, se emplea lo siguiente:

n ajustado =

Ecuación 2. Ajuste de población finita

$$\frac{n}{1 + \left(\frac{n-1}{N}\right)}$$

n ajustado = 165 cadenas de suministro manufactureras para la muestra de investigación.

Por lo tanto, para una población de 1000 organizaciones, con un nivel de confianza del 95% y una estimación de error del 7%, la muestra para este estudio es de 165 organizaciones. Coinciden las dos formas de obtener este resultado a través de la priorización por conveniencia y por formulación estadística.

2.3.3. Descripción de técnicas e instrumentos de medición

1. **Análisis de contenido:** Se emplea este instrumento en la base de datos de la Superintendencia de Sociedades, para indagar la información financiera de las organizaciones manufactureras en Colombia. Son fuentes secundarias que permiten dar una información concreta, que ha sido almacenada en un repositorio institucional. Para este caso, se consulta el repositorio del CIIS (Sistema integrado de Información Societaria) que es la plataforma con la información de estados financieros históricos e información jurídica de las sociedades comerciales en Colombia, que reportan ante el revisor llamado Superintendencia de Sociedades que las supervisa, inspecciona y controla, aportando transparencia en el sector empresarial. La información financiera de la muestra de organizaciones para esta investigación hace parte del set de datos que se configuran por medio de una transformación de variables del estudio.
2. **Adaptación de la escala de Likert para la transformación de variables:** En primer lugar, se identifican las variables que se requieren medir (circularidad, y financieras), y posteriormente se asignan criterios a cada categoría. Se establecen 5 estados categóricos del 1 al 5 para evaluar ciertas condiciones establecidas a las variables de investigación. Este instrumento de medición permite llevar a cabo la transformación de la variable de circularidad y de los indicadores financieros a las variables finales del estudio.
3. **Cuestionario para la contrastación por expertos (ver anexos).** Este instrumento permite evaluar la determinación de variables de investigación por parte de profesionales relacionados con los temas esenciales del estudio. Debido a que la investigación es de tipo experimental, se requiere corroborar con personal experto sobre la creación de los componentes del modelo.
4. **Simulaciones:** Se consideran un instrumento de medición las simulaciones que se realizan en la parte final de esta investigación, ya que permiten verificar si los resultados obtenidos por el modelo cumplen los objetivos propuestos desde un inicio. Se presentan tres tipos de simulaciones. La simulación Montecarlo, la simulación por todos los escenarios posibles, y la simulación basada en supuestos.

La primera simulación se lleva a cabo empleando la aleatoriedad en sus variables de entrada en el lenguaje de programación Python. La segunda es la simulación por escenarios, en donde se aprecian los resultados de situaciones reales que pueden suceder con las variables, de acuerdo con todas las variaciones posibles de las condiciones iniciales del modelo. Y la tercera simulación es, basada en supuestos, que, a partir de hipótesis o suposiciones, dinamiza el flujo de variables

que componen el modelo para validar un incremento de rentabilidad en los indicadores financieros de las cadenas de suministro manufactureras y una transición hacia la circularidad.

2.3.4. Conclusiones parciales

La sección de la metodología muestra cómo se lleva a cabo de principio a fin toda la investigación. Presenta el tipo y clasificación del estudio relacionándolo con un tipo de investigación cuantitativo, correlacional y experimental por las diferentes técnicas empleadas para detectar patrones y tendencias en los datos de la muestra elegida. También se presenta la descripción detallada de cada una de las fases que enmarcan el estudio. Se inicia a partir de una solución preliminar de tipo teórico en la fase A. Luego, la identificación de los componentes del modelo, en la fase B. Posteriormente, se aborda una caracterización de las cadenas de suministro manufactureras en la fase C. Después, se representa el modelo de economía circular en un sector manufacturero, en la fase D. Y finalmente se corroboran los resultados del modelo en la fase E.

También se expone la derivación de la población y la muestra de investigación, en donde se amplía la explicación desde dos puntos de vista para obtener la muestra. Una forma empleada es a través de la priorización y filtros en la fuente de consulta de la Superintendencia de Sociedades, y la otra forma utilizada es la muestra a través de la estadística, en donde se presenta la formulación y sus resultados correspondientes a la muestra para una proporción. El número de empresas que se desencadena de las dos formas consideradas, arrojan 165 cadenas de suministro. Todas estas organizaciones son organizaciones del sector manufacturero colombiano y su tamaño es grande, es decir, cuenta con más de 250 empleados para su funcionamiento.

Por último, se explica cada una de las técnicas e instrumentos manejados y explorados en este estudio. Se parte del análisis de contenido el cual recoge la información para construir la base de datos que se requiere para llevar a cabo todos los análisis. También se presenta la adaptación de la escala de Likert en la transformación de variables finales que conforman el modelo. Se da continuidad mencionando el cuestionario aplicado a los expertos en las áreas de la investigación tales como finanzas y economía circular. Por último, las simulaciones hacen parte de las técnicas empleadas para derivar los resultados y comprobar que lo que se planteó desde un inicio tenga coherencia con los hallazgos finales.

III. Resultados

III. Resultados de la investigación

3. Resultados

En esta tercera sección de la investigación, se presentan los hallazgos encontrados teniendo en cuenta el desarrollo de los objetivos específicos. Cada numeral da respuesta a dichos objetivos, finalizando la sección con la discusión de los resultados en el numeral 3.5. Se inicia con los componentes del modelo de economía circular con el numeral 3.1, continuando con la caracterización de las cadenas de suministro manufactureras con el numeral 3.2. Posteriormente, se aborda el diseño y la representación del modelo de economía circular en el numeral 3.3. Y los últimos resultados corresponden a la validación del modelo de economía circular en el numeral 3.4. Se cierra con el numeral 3.5. de discusión de resultados (ver figura 14).

Figura 14

Componentes de los resultados de investigación



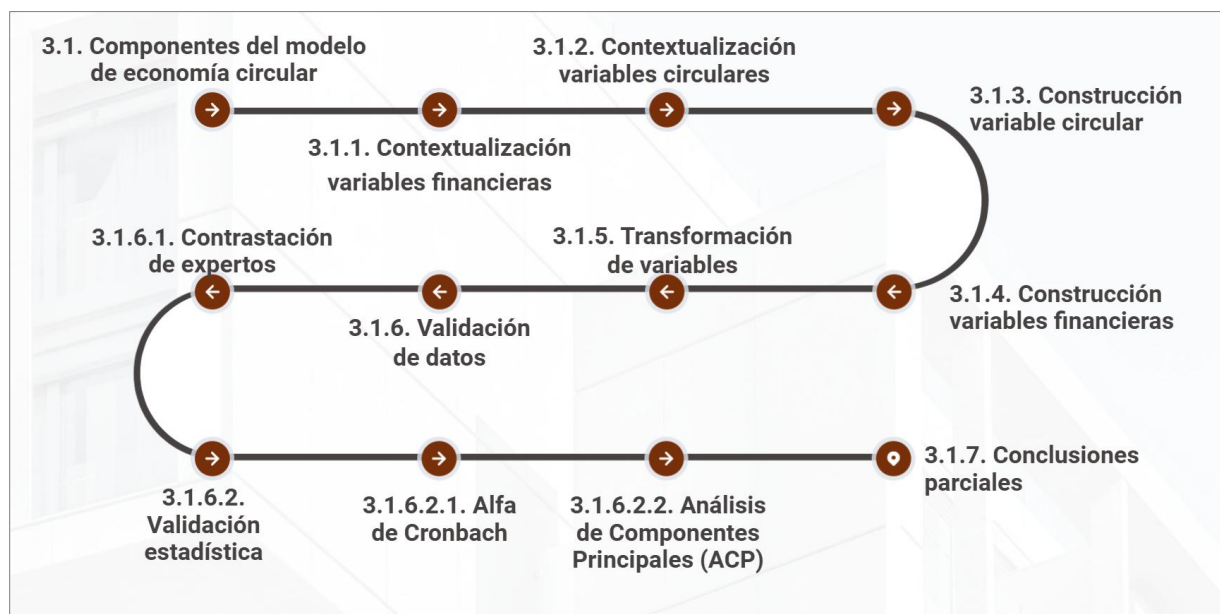
Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.1. Componentes del modelo de economía circular

En la hoja de ruta de la figura 15, se visualizan los puntos que se tienen en cuenta en el numeral 3.1. Se inicia con la contextualización de las variables financieras y las variables circulares, para luego continuar con su construcción. Posteriormente, se aborda la descripción de la transformación de variables cuyo resultado desencadena a los componentes de investigación. Después, se realizan diferentes validaciones de los datos y contrastación de variables a través de una consulta por expertos. Sobre la validación de datos, se considera la validación estadística que comprende el análisis del alfa de Cronbach y un análisis de componentes principales (ACP), para cerrar con las conclusiones parciales.

Figura 15

Hoja de ruta de los componentes del modelo de economía circular



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Igualmente, en este apartado se desarrolla el primer objetivo de investigación que se enfoca en identificar las variables del modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras con una perspectiva de rentabilidad. Para ello, se considera la descripción de los procesos utilizados para construir las variables de circularidad y financieras rentables, así como sus procesos de transformación y validación con diferentes métodos. Según Creswell (2014), las variables son elementos fundamentales que pueden ser objeto de manipulación, control o medición en un experimento para la

conformación de un modelo. Son de esencial importancia a la hora de la construcción de una representación de un fenómeno, por lo tanto, este numeral hace referencia a los componentes relevantes que permitirán el desarrollo del modelo de economía circular.

El desarrollo de este capítulo permitirá dar respuesta al primer objetivo específico propuesto.

“Identificar las variables del modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras”.

Teniendo en cuenta que se quiere dar una participación al foco financiero rentable dentro de esta investigación en conjunto con la circularidad, se dará una contextualización referente al estudio de las variables de estos enfoques por parte de otros autores que han indagado sobre el tema, y que puede servir como ejemplo a seguir.

Se desea responder a la pregunta al finalizar este apartado de componentes del modelo:

“¿Cuáles variables pueden contribuir en la construcción del modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras?”.

3.1.1. Contextualización de variables financieras

Para dar una contextualización relacionada a lo que exponen los autores con relación a las variables financieras, se consideran Halstenberg, et al., (2019), ya que por medio de un marco conceptual en donde presentan la relevancia de la viabilidad de la implementación de prácticas circulares, exponen cómo tiene un efecto significativo los indicadores financieros tales como el ROA y el ROE. Estos índices, según los autores, permiten determinar la factibilidad de los modelos de negocios circulares. Por la misma perspectiva, Kirchherr, et al., (2017), se enfocan en buscar la información de la rentabilidad de proyectos circulares con los indicadores de la rotación de activos (ROA) y con la rotación del capital (ROE), y sustentan que es fundamental tomar decisiones con objetividad a través de la evaluación de la rentabilidad, para saber si es viable continuar o no con las prácticas sostenibles a implementar.

También, Ghisellini, et al., (2016), argumenta que las prácticas circulares permiten mejorar los indicadores financieros gracias a la gestión de los costos y la eficiencia

operativa, además de ser útiles para determinar el éxito de una transición a la economía circular. Estos indicadores ayudan a tener un referente de la situación actual económica de una organización para poder establecer planes de acción con respecto a su situación. Para Suzic, et al., (2021), consideran que el tamaño de la empresa es una variable de control a la hora de hacer un análisis financiero para determinar si se va por el camino correcto en la consecución de la implementación de estrategias circulares en cadenas de suministro. Exponen igualmente, que el apoyo económico y la colaboración juegan un papel importante en la efectiva evolución de la circularidad.

3.1.2. Contextualización de la variable de circularidad

Se presentan también en este apartado los autores más relevantes con respecto a adoptar variables circulares para realizar análisis en las organizaciones, y su forma de obtener la información de economía circular, que será un ejemplo para esta investigación. Comenzando con Garza-Reyes (2021), presenta un índice de efectividad circular, y lo deriva de la revisión exhaustiva realizada de los informes de sostenibilidad de las organizaciones manufactureras de su muestra. Por otra parte, Ogunmakinde (2020), se alinea en la búsqueda de información con Garza-Reyes (2021), y también se apoya en los informes de sostenibilidad, pero en su caso, para examinar los modelos de negocios que se proponen en organizaciones de países desarrollados. Se enfoca en diferentes sectores industriales y realiza un minucioso análisis de dichos informes.

Con la misma perspectiva metodológica, los autores Croom, et al. (2018), y Geissdoerfer, et al. (2017) buscan hacer un análisis detallado entre la economía circular y la sostenibilidad y se apoyan de sus informes de donde extraen los datos sobre las prácticas empresariales que se reportan en las organizaciones de sus muestras. Aseguran que es una forma confiable de conocer lo requerido sobre la circularidad y sus fenómenos consignados en los reportes oficiales de las compañías. Igualmente, Merli, et al. (2018), también los utiliza para hacer una investigación con respecto a las prácticas circulares y su respectiva implementación en las cadenas de suministro de su interés. Otros autores que toman información de los informes de sostenibilidad son Ceschin & Gaziulusoy, (2021), para monitorear las buenas prácticas con respecto a la transformación en la regeneración de productos y servicios antagónica a la linealidad.

3.1.3. Construcción de la variable circular

Por lo anterior, este estudio adopta la metodología similar a la de los autores Garza-Reyes (2021), Ogunmakinde (2020), Croom, et al., (2018), Geissdoerfer, et al., (2017), Merli, et al., (2018), y Ceschin & Gaziulusoy, (2021), de recoger información a partir del reporte de sostenibilidad de cada cadena de suministro, para construir la variable de circularidad necesaria con el fin de identificar si las cadenas de suministro del sector manufacturero consideran la economía circular en sus organizaciones o no a través de la creación de una variable dicotómica. Por lo tanto, se declara la variable llamada “CIRCULARIDAD” con sus valores posibles 1 o 0, equivalentes a: 1 = si la cadena de suministro considera prácticas circulares en su informe de sostenibilidad, y 0 = en caso contrario.

3.1.4. Construcción de las variables financieras

Teniendo en cuenta la contextualización de variables financieras, se desea considerar en este estudio, las métricas de rentabilidad tales como el ROA (Rotación de Activos), ROE (Rotación del patrimonio), Margen bruto, Margen neto, EBIT, EBITDA y Dupont, abordando las posturas de los autores Halstenberg, et al., (2019), Kirchherr, et al., (2017), Ghisellini, et al., (2016), Suzic, et al., (2021), Andersen (2007), Lukanima (2023) y Coulon (2020) consultados y analizados en este estudio. Para ello, se recopila toda la información financiera de las cadenas de suministro del sector manufactura pertenecientes a la muestra de la investigación, con el fin de calcular los indicadores de rentabilidad mencionados anteriormente. El resultado es la conformación de una base de datos con las variables ROA, ROE, Margen Bruto, Margen Neto, EBIT, EBITDA y DUPONT.

3.1.5. Transformación de las variables de circularidad y financieras

Las variables resultantes de esta investigación se derivan considerando las siguientes condiciones:

En primer lugar, es necesario determinar un análisis estadístico de las variables financieras para usar como base de la transformación, la media y sus respectivos cuartiles (Q1, Q2, Q3). Cada organización se evalúa de 1 a 5 (siendo 5 la calificación del más alto nivel de desempeño) por su indicador financiero rentable y el indicador de circularidad con las siguientes condiciones:

- Valoración de 5:

El más alto desempeño financiero rentable y circular, se les asigna a las empresas que superan más de la media de los datos de cada uno de los indicadores financieros rentables y que adicional a esto, son circulares, mediante la variable de circularidad cuyo valor debe ser igual a 1.

➤ Valoración de 4:

Esta valoración se les otorga a las empresas con un desempeño en sus indicadores financieros superiores a la media, pero sin incursionar en economía circular (variable de circularidad = 0). Son organizaciones que tienen una alta posibilidad de trabajar en la circularidad por su capacidad económica y mayores oportunidades para implementar estrategias circulares con la ayuda de otras empresas que las puedan apalancar.

➤ Valoración de 3:

Esta valoración intermedia se proporciona a las empresas que son circulares (variable de circularidad = 1) pero que su desempeño financiero rentable está por debajo de la media de los datos de cada indicador. Son empresas que pueden asociarse con otras para potenciar lo que han venido haciendo con respecto a la circularidad y muy posiblemente, a futuro, podrán mejorar sus indicadores financieros.

➤ Valoración de 2:

Esta valoración baja es para las empresas cuyo desempeño financiero se encuentra entre el 25% de los datos, es decir, el primer cuartil (Q1), y el 50% de los datos (Q2), y además no cuentan con implementaciones circulares (variable de circularidad = 0).

➤ Valoración de 1:

Esta valoración muy baja es para las empresas cuyo desempeño financiero rentable es inferior al 25% de los datos (Q1) de los indicadores, y además no son circulares (variable de circularidad = 0).

3.1.6. Validación de datos

Para validar las variables de investigación se emplean dos formas de validación de datos. En primer lugar, se realiza una contrastación con un grupo de expertos, quienes contestan un cuestionario con preguntas relacionadas a los temas de investigación (finanzas y economía circular). Por otra parte, se hace una validación estadística, evaluando el alfa de Cronbach y haciendo un Análisis de Componentes Principales

(ACP), con el fin de verificar si existe la posibilidad de reducir la dimensionalidad de las variables que construyen el modelo de economía circular y si hay veracidad en los datos.

3.1.6.1. Contrastación por expertos

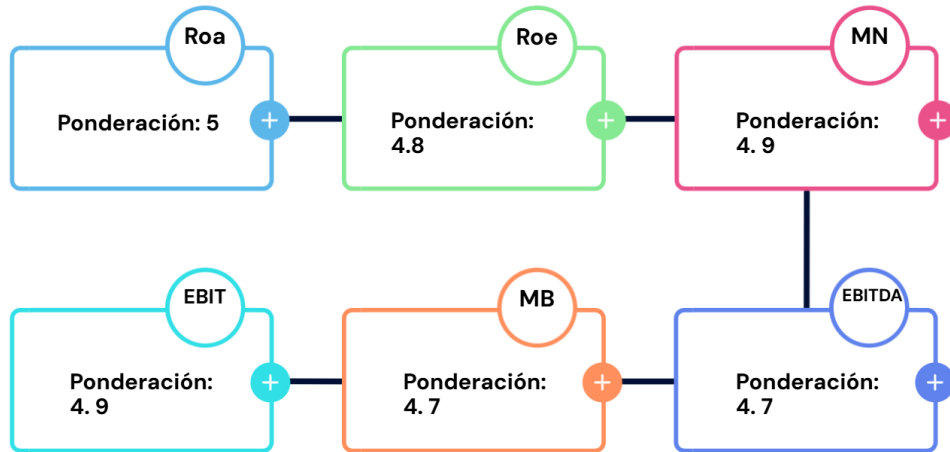
Para la contrastación por expertos, se considera en primera instancia los postulados de los autores Jackson (2023), Sullivan (2011) y Mundfrom, et al., (2005), quienes aseguran y coinciden en que un número pequeño de expertos puede ser efectivo para explorar un fenómeno, centrándose en las temáticas que se quieren valorar. Por lo tanto, este estudio considera a seis expertos para hacer la contrastación de las variables de la investigación. Se busca un grado de coincidencia entre lo obtenido en los componentes para conformar el modelo de economía circular, con las valoraciones dadas por los profesionales. En el área financiera se consulta con cuatro expertos, y en el área de economía circular se consulta con dos.

Para la elaboración del instrumento de medición a expertos, se tiene en cuenta el aporte de los autores Di Vaio, et al., (2021), quienes construyen un cuestionario enfocado en la relación entre el área financiera y la economía circular. De la misma forma, se consulta el instrumento de Sogal, et al., (2021), quienes recopilan datos de expertos para analizar la circularidad dentro de un contexto de sostenibilidad. Finalmente, también se considera en la búsqueda de referencias para el instrumento de contrastación por expertos a Taddei, et al., (2021), quienes estudian las prácticas circulares desde una perspectiva de sostenibilidad y económica para evaluar cómo afectan los resultados en una cadena de suministro.

Considerando los autores consultados, el cuestionario de esta investigación toma elementos importantes de esas referencias empleando una escala de Likert para su ejecución, y se evalúa el resultado con dos expertos adicionales cuya experticia es en la industria y con un amplio conocimiento en las temáticas de este estudio. Se aplica el instrumento a los seis expertos mencionados anteriormente, y se obtienen los resultados de la figura 16 que se muestra a continuación para el ROA, el ROE, el MN (Margen Neto), EBIT (ganancias antes de intereses), MB (Margen Bruto), y EBITDA (Beneficios antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización).

Figura 16

Resultados de la ponderación de variables transformadas



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.1.6.2. Validación estadística

En este apartado se emplean dos técnicas estadísticas para llevar a cabo la validación de las variables de investigación. La primera es la técnica del análisis de confiabilidad del alfa de Cronbach, y la segunda es el ACP (análisis de componentes principales). Se consideran para este estudio por su validez en la obtención de resultados los cuales pueden dar una orientación en el efectivo direccionamiento de esta tesis de grado.

3.1.6.2.1. Alfa de Cronbach

La validación estadística comienza evaluando el alfa de Cronbach para determinar si su valor arrojado es cercano a 1 (entre 0 y 1). Si sus valores superan 0.7, se podría considerar confiable la evaluación de variables para continuar con la investigación. En caso contrario, habría que hacer ajustes para lograr un buen resultado en el alfa de Cronbach. Esta es una medida de consistencia y de confiabilidad evaluando un grupo de datos normalizados. Por lo tanto, se requiere llevar a cabo el siguiente procedimiento para obtener su cálculo en este estudio.

1. Calcular la media, y los cuartiles (Q1, Q2, y Q3) a cada uno de los indicadores financieros sin transformar (ROA, ROE, Margen Bruto MB, Margen Neto MN, EBIT, EBITDA y Dupont). Esto se realiza con el fin de tener un referente de los estadísticos descriptivos de todo el conjunto de datos de las 165 cadenas de suministro de la muestra (ver figura 17).

Figura 17

Estadísticos descriptivos de los indicadores financieros

	Mean	Q1 (25%)	Q2 (50%)	Q3 (75%)
ROA	0.062545	0.015904	0.054590	0.097157
ROE	0.148699	0.037980	0.122291	0.237031
MB	0.231530	0.121881	0.221511	0.315543
MN	0.050790	0.008934	0.036506	0.074416
EBIT	0.088375	0.035108	0.075664	0.127699
EBITDA	0.117091	0.051262	0.101789	0.171282
DUPONT	0.148699	0.037980	0.122291	0.237031

Nota. Fuente: Elaboración propia.

2. El siguiente paso, es realizar las formulaciones que se exponen a continuación, con la variable de economía circular (binaria) y los estadísticos descriptivos del punto anterior para cada indicador financiero que corresponden a la media y los cuartiles.

=IF (AND (Indicador financiero \geq media del indicador financiero, y, CIRCULARIDAD = 1) entonces = "5",

=IF (AND (Indicador financiero \geq media del indicador financiero, y, CIRCULARIDAD = 0) entonces = "4",

=IF (AND (Indicador financiero \leq media del indicador financiero, y, CIRCULARIDAD = 1) entonces = "3",

=IF (AND (Indicador financiero está entre el primer cuartil (Q1) y el segundo cuartil (Q2) del indicador financiero, y, CIRCULARIDAD = 0) entonces = "2",

=IF (AND (Indicador financiero \geq al primer cuartil (Q1) del indicador financiero, y, CIRCULARIDAD = 0) entonces = "1".

3. En este punto se realiza el cálculo de Cronbach con los resultados del punto anterior. Los hallazgos de esta medida de confiabilidad son los siguientes teniendo en cuenta que las variables finalizan con una T para representar la transformación de los indicadores financieros y la variable circular (ver figura 18):

Figura 18

Resultados del alfa de Cronbach

	Variable	Alpha if deleted
0	ROA_T	0.907802
1	ROE_T	0.911123
2	MB_T	0.936097
3	MN_T	0.907278
4	EBIT_T	0.909564
5	EBITDA_T	0.911934
6	DUPONT_T	0.911123
7	Original	0.925268

Nota. Fuente: Elaboración propia.

4. Ajuste de selección de datos a partir del alfa de Cronbach

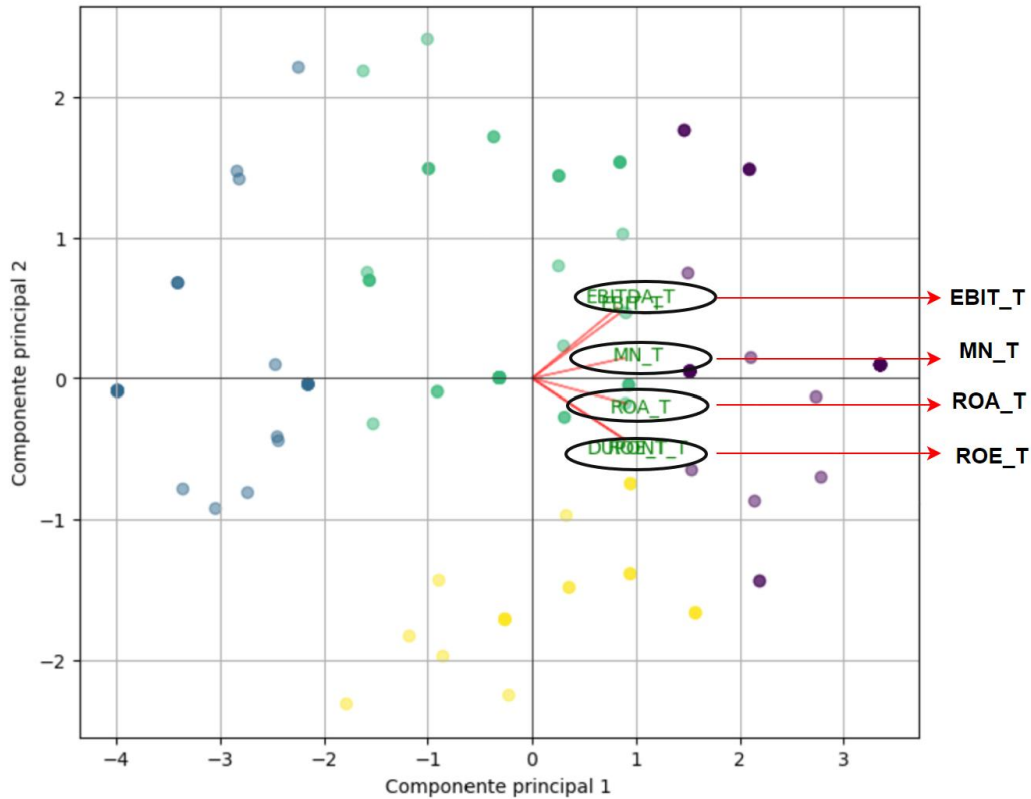
Considerando los resultados del punto anterior, hay una mayor confiabilidad si dentro del conjunto de datos no se incluye el margen bruto que es representado por MB_T. Este es un indicador que mide de forma muy general la sustracción de los Costos de Bienes Vendidos en los Ingresos de actividades ordinarias, pero el indicador EBIT, sí recoge más información antes de impuestos que el MB, porque toma el resultado de las ganancias operacionales que incluyen los gastos administrativos y de ventas, y este rubro completo lo opera con las ventas, por lo tanto, se procede a dejar el MB_T a un lado y retomar los demás que muestran una alta consistencia. Finalmente, para este punto del procedimiento, se obtiene un alfa de Cronbach de 0.9361, valor muy cercano a 1 y altamente confiable.

3.1.6.2.2. Análisis de componentes principales

Otro análisis estadístico que complementa de buena manera la investigación es aplicando la reducción de dimensionalidad de componentes por medio del Análisis de Componentes Principales. Esta es una técnica que agrupa la cantidad de datos en varios componentes cuya agrupación explica su varianza. En este caso se conforman dos componentes principales en el eje x y y de la figura 19, que muestran en la gráfica de ACP el comportamiento de las seis variables transformadas como vectores en el sistema. Las variables ROE_T y DUPONT_T se encuentran en la misma posición, pero se elige ROE_T por haber obtenido mejores puntajes en las anteriores validaciones. Lo mismo sucede con las variables EBIT_T y EBITDA_T, cuya elección final entre estas dos opciones es EBIT_T

Figura 19

ACP para reducción de dimensionalidad de variables



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.1.7. Conclusiones parciales

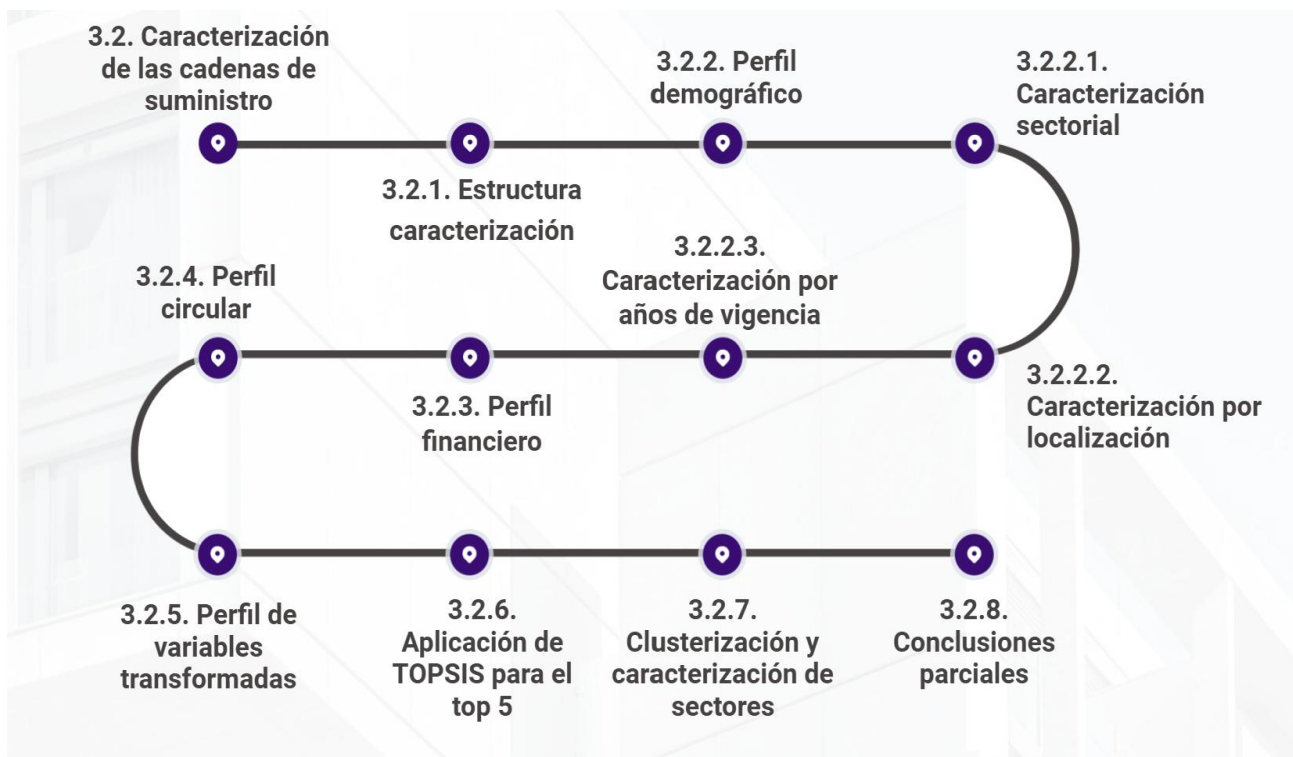
Se concluye en esta primera parte de los resultados de la investigación, que se cumple el primer objetivo específico planteado como parte de la construcción del modelo de economía circular. Las variables identificadas para darle continuidad al estudio son: ROA_T, ROE_T, EBIT_T, y MN_T. Estas variables han sido el resultado de un procedimiento conformado por varios pasos a considerar y también de validaciones enfocadas en la contrastación por expertos y validación estadística. Con estos resultados se resuelve la pregunta formulada al inicio de este numeral, y son estas cuatro variables transformadas las que permitirán crear el modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras. También direccionarán toda la investigación con el fin de poder caracterizarlas, representarlas en un sector específico manufacturero, y finalmente, corroborar el modelo con técnicas de simulación, en donde estas variables serán las protagonistas de toda la ejecución de procedimientos que se presentarán en los numerales siguientes.

3.2. Caracterización de las cadenas de suministro manufactureras

Para desarrollar el segundo objetivo de esta investigación que consiste en caracterizar las cadenas de suministro manufactureras desde una perspectiva rentable, se seguirá la hoja de ruta de la figura 20. Desde la estructura de la caracterización, hasta las conclusiones parciales, se pretende explorar minuciosamente, los patrones y tendencias que hay en cada uno de los puntos que incluyen la caracterización. Este capítulo quiere encontrar información relevante para la investigación a partir de los hallazgos detectados tanto en el análisis demográfico, financiero, circular, de transformación y de clusterización.

Figura 20

Hoja de ruta de la caracterización de las cadenas de suministro manufactureras



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.2.1. Estructura de la caracterización

El modelo de economía circular está enfocado en las cadenas de suministro manufactureras, por lo tanto, es necesario identificar sus rasgos principales para determinar cómo encajan en el diseño del estudio. Se requiere comprender las características esenciales alineadas por los parámetros de la investigación, para identificar oportunidades con respecto a prácticas circulares en común, que converjan en los diferentes sectores manufactureros. Es por eso que una caracterización detallada revela cómo se mueven los recursos a través de la cadena de suministro, destacando los puntos donde los materiales pueden regresar al proceso de producción. Esto es esencial para diseñar estrategias circulares efectivas. Además, de proporcionar información sobre los aspectos económicos gracias a la perspectiva financiera que se deriva de este estudio, en donde se quiere buscar los patrones y tendencias de los sectores manufactureros con el fin de adaptarlos a las necesidades, desafíos y oportunidades específicos dentro del contexto colombiano.

Este capítulo está organizado en tres partes. La primera, abarca una contextualización respecto a los códigos normalizados CIU que representan los sectores económicos por medio de divisiones establecidas, que serán el eje principal para derivar conclusiones y resultados de la investigación. Posteriormente, se desarrolla el análisis de un perfil demográfico para los sectores de las cadenas de suministro de la muestra, en donde se presentan las características generales a nivel de localización y de años de vigencia en el mercado. Luego, se aborda el perfil financiero en donde se hace énfasis en las variables financieras de rentabilidad para cada uno de los sectores de la muestra, haciendo el respectivo análisis de los puntos en común y las disparidades de los resultados.

Se finaliza con el perfil circular, sección que recoge lo primordial investigado para cada división sectorial dentro de la perspectiva de circularidad, resaltando los patrones similares, desafíos y oportunidades para las cadenas de suministro. La segunda parte de la caracterización está enfocada en presentar los elementos que identifican la transformación de variables en los sectores manufactureros de la muestra. Se pretende enfatizar en el comportamiento de rentabilidad y circularidad en conjunto, que se evidencia en el estudio, con el fin de nutrir el desarrollo del modelo. También, se ponen en conocimiento los hallazgos desde una perspectiva demográfica para tener una visión integral y poder hacer un análisis final más completo en los resultados.

Por último, la tercera parte de este capítulo de investigación se centra en descubrir cómo las cadenas de suministro de la muestra se pueden clusterizar armando grupos con características similares, que permitan tener una dinámica más fluida en su comportamiento hacia la implementación de estrategias circulares y colaborativas. Se pretende identificar y analizar la caracterización detallada de cada clúster de cadenas de suministro agrupadas por sus respectivas divisiones y CIU. Se finaliza esta tercera parte del capítulo con la presentación de un ranking del top 5 de los sectores manufactureros para esta investigación, y la recomendación de uno de ellos para aplicar el diseño en el capítulo del desarrollo del modelo.

Por todo lo anterior, se desea dar respuesta al segundo objetivo específico de este estudio que es:

“Caracterizar a las cadenas de suministro manufactureras desde una perspectiva de circularidad y rentabilidad”.

3.2.2. Perfil demográfico

El perfil demográfico de las cadenas de suministro de la muestra para esta investigación se basa en el análisis de su caracterización sectorial, seguido por la identificación de características según su localización, y complementando esta sección con los atributos de las cadenas de suministro de la muestra según sus años de vigencia en el mercado rastreados a partir del año de inicio de su funcionamiento.

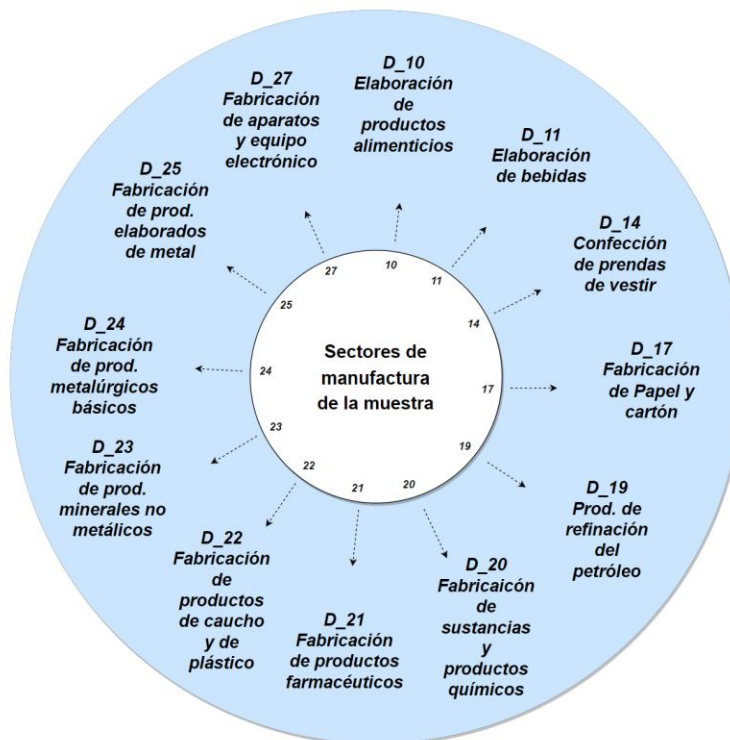
3.2.2.1. Caracterización sectorial

La forma en que se identificarán los sectores manufactureros de las cadenas de suministro de la muestra en esta investigación será a través de un número que representa su clasificación industrial, gracias a la identificación internacional uniforme CIU. Este código permite rastrear los sectores industriales en las estadísticas de la entidad del DANE en Colombia (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), y estandarizar sus datos económicos dentro de un periodo de tiempo determinado para sus regiones y departamentos del país. Cada número representa una división de un sector económico. Para este estudio, solo se considerarán los sectores económicos manufactureros colombianos.

Este campo industrial está segmentado por varias divisiones que inician con la división 10 que corresponde a la elaboración de productos alimenticios, hasta la división 33 que abarca la reparación, mantenimiento e instalación de maquinaria y equipo. En la muestra de las 165 organizaciones para esta investigación, se integran solo 12 divisiones del sector industrial de manufactura, que se pueden visualizar en la figura 21. El grupo lo conforma el sector de la elaboración de productos alimenticios (10), la elaboración de bebidas (11), la confección de prendas de vestir (14), la fabricación de papel y cartón (17), productos de refinación de petróleo (19), fabricación de sustancias y productos químicos (20), fabricación de productos farmacéuticos (21), fabricación de productos de caucho y de plástico (22), fabricación de productos minerales no metálicos (23), fabricación de productos metalúrgicos básicos (24), fabricación de productos elaborados de metal (25), y fabricación de aparatos electrónicos (27). En la figura 1 se aprecian los sectores mencionados con su respectiva numeración para identificarlos en todos los análisis.

Figura 21

Divisiones de manufactura de la muestra de investigación



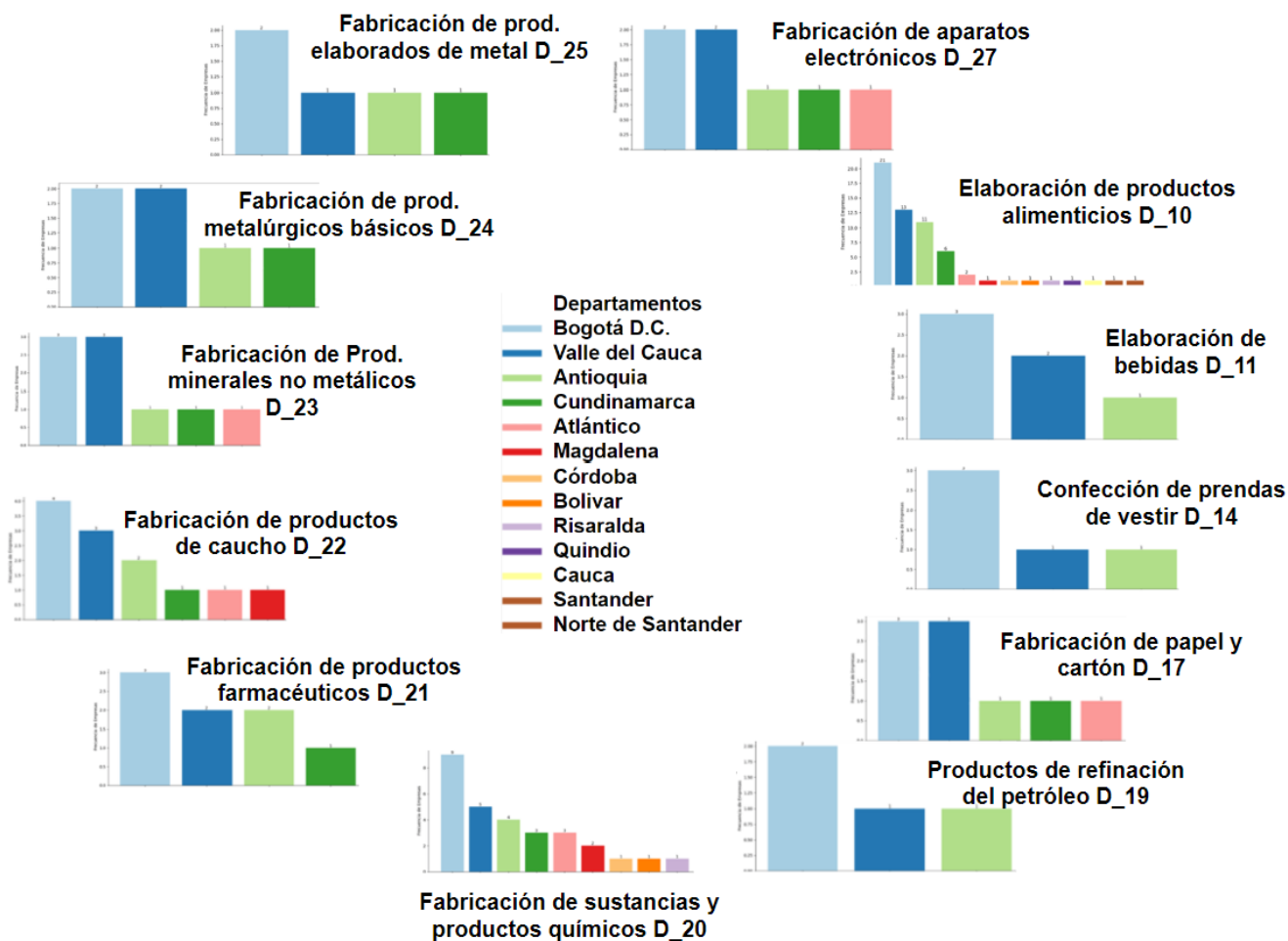
Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.2. Caracterización por localización

Para llevar a cabo una caracterización por localización, se emplea la base de datos de las cadenas de suministro, la cual registra la dirección y ubicación de cada una de ellas. Con la ayuda del lenguaje de programación Python, y utilizando las librerías Pandas y matplotlib.pyplot. Se filtra cada división de los datos, para contar la frecuencia de las organizaciones por departamento. Luego en un gráfico de barras, se visualizan las localizaciones de cada sector manufacturero de la muestra, y se añade un color representativo por departamento para que sea más fácil identificar su caracterización. Todo lo anterior se aprecia en la figura 22.

Figura 22

Caracterización de sectores manufactureros por localización



Nota. Fuente: Elaboración propia.

En este análisis se pueden visualizar los departamentos que conforman la muestra de las organizaciones de la investigación por sector económico manufacturero. Es evidente que los departamentos Bogotá D.C., Valle del Cauca, y Antioquia, predominan en todos los sectores del estudio, con más prominencia en unos más que otros, pero su representatividad es indiscutible. Por otra parte, hay una conexión entre los hallazgos de localización que se presencian, con las regiones que han obtenido mayores ingresos operacionales en el 2023. Las empresas que se encuentran distribuidas en los departamentos de la caracterización son beneficiadas por contar con los recursos, infraestructura y entorno que facilita el desarrollo de sus actividades económicas. Esto desencadena logros financieros satisfactorios que se ven reflejados en los informes oficiales como el de la Superintendencia de Sociedades (1000 empresas con mayores ingresos operacionales 2023).

Se detectan cuatro patrones muy marcados en la caracterización por localización que se quieren resaltar en este estudio y se visualizan en la figura 23. El primer patrón muestra una amplia distribución geográfica abarcando departamentos de diferentes partes del país desde la costa atlántica, los Santanderes, el eje cafetero, hasta el Cauca y Cundinamarca. Igualmente, se infiere que hay una alta demanda en estos departamentos lo cual hace que las organizaciones se establezcan en estos puntos y puedan estabilizar la economía generando significativos ingresos operacionales, adicional a diversificar sus ofertas en diferentes locaciones en Colombia para atender la demanda. Este primer patrón está enfocado en la satisfacción de la demanda local y en la diversificación regional de cadenas de suministro manufactureras.

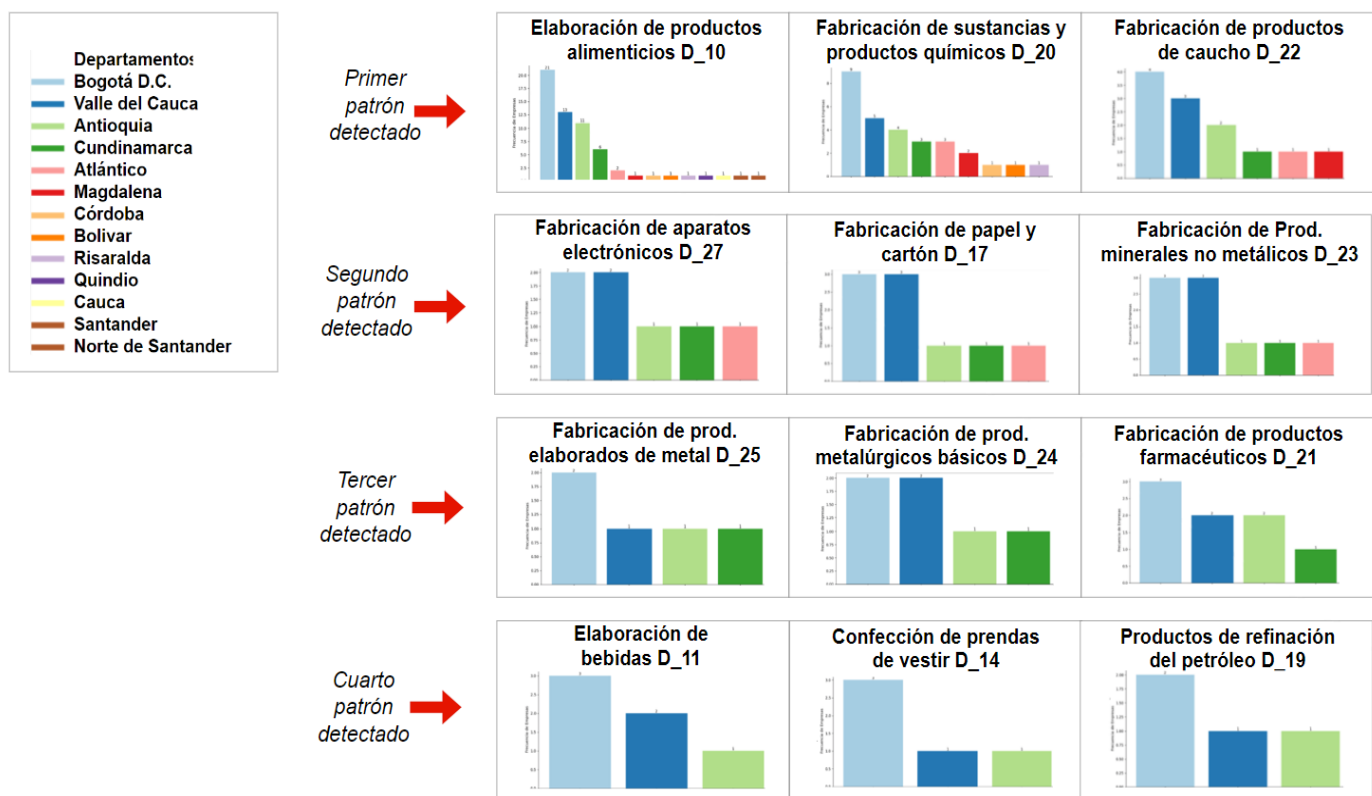
Por otra parte, el segundo patrón detectado, concentra la distribución de las organizaciones en los departamentos más importantes del país, tales como su capital, el Valle del Cauca, Cundinamarca y el Atlántico. En estos puntos de Colombia se encuentran unas de las más grandes compañías manufactureras, las cuales tienen un alto potencial de ingresos, además de incluir el Atlántico en donde se concentran los principales puertos marítimos de Colombia que permiten toda la gestión de importaciones y exportaciones, dinámicas esenciales para la activación del comercio internacional. Para este segundo patrón, se destaca la proximidad a puertos que proporcionan una importante ventaja competitiva a la hora del desarrollo económico de las cadenas de suministro de manufactura.

El tercer patrón muestra la representatividad de los departamentos Bogotá, Valle del Cauca, Antioquia y Cundinamarca. En ellos, se reúnen industrias especializadas que

generan una gran cantidad de ingresos operativos en su respectivo sector. Son líderes de su industria y sus puntos son estratégicos para poder acceder con mayor facilidad a las materias primas. Por último, el cuarto patrón muestra solo a Bogotá, Valle del Cauca y Antioquia, que son departamentos que comparten infraestructura para potenciar su oferta. Además, cuenta con facilidad logística que permite una mejor atención a su demanda. Adicional a esto, se ubican cerca de los mercados de consumo para cubrir con mayor efectividad la capacidad de respuesta al cliente. Estos patrones evidencian que determinar la localización correcta, habilita la competitividad en las organizaciones al tener a la mano clústeres industriales que se apoyen en la consecución de recursos, manejo de infraestructura compartida y logística que son esenciales para que las cadenas de suministro cumplan sus objetivos.

Figura 23

Patrones detectados en la caracterización por localización



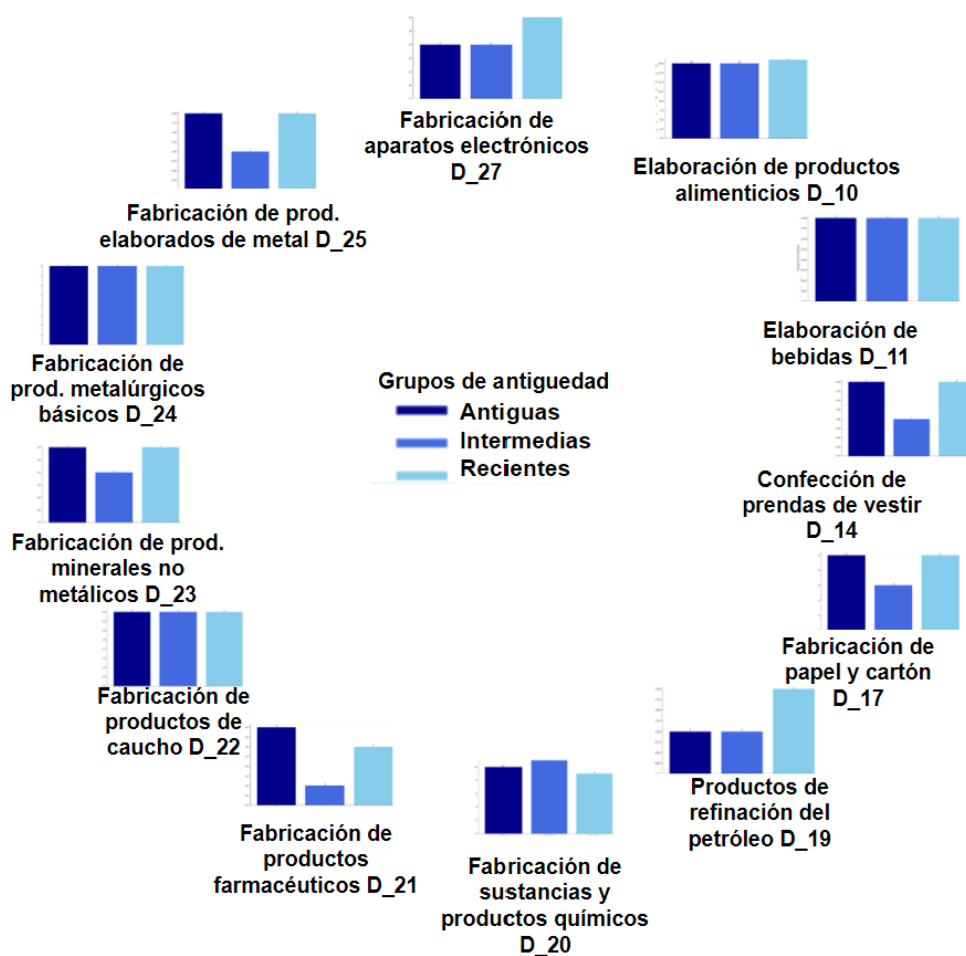
Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.3. Caracterización por años de vigencia

Continuando con la primera parte de la caracterización, se procede a identificar las cadenas de suministro más recientes, intermedias y más antiguas, tomando el año de fundación de las organizaciones de la muestra a la fecha, y realizando una segmentación de tres categorías por sector manufacturero de la muestra. Se emplean las mismas librerías en Python utilizadas en el anterior numeral para realizar un gráfico de barras para cada sector de cadenas de suministro. También, cada categoría es representada por un color que las identifica en el gráfico. Se toma el rango de tiempo máximo que corresponde a 99 años de la fundación de empresas, y este, se fragmenta en 3 segmentos (los puntos de corte de cada segmento son: 33 años, y 66 años). De 99 a 66 años, corresponde a la clasificación “Antigua”. De 66 a 33 años, a la clasificación “Intermedia”, y de 33 años a la fecha, se le asigna la clasificación “Reciente”. En la figura 24, se puede apreciar esta caracterización en detalle para cada sector manufacturero.

Figura 24

Caracterización por años de vigencia

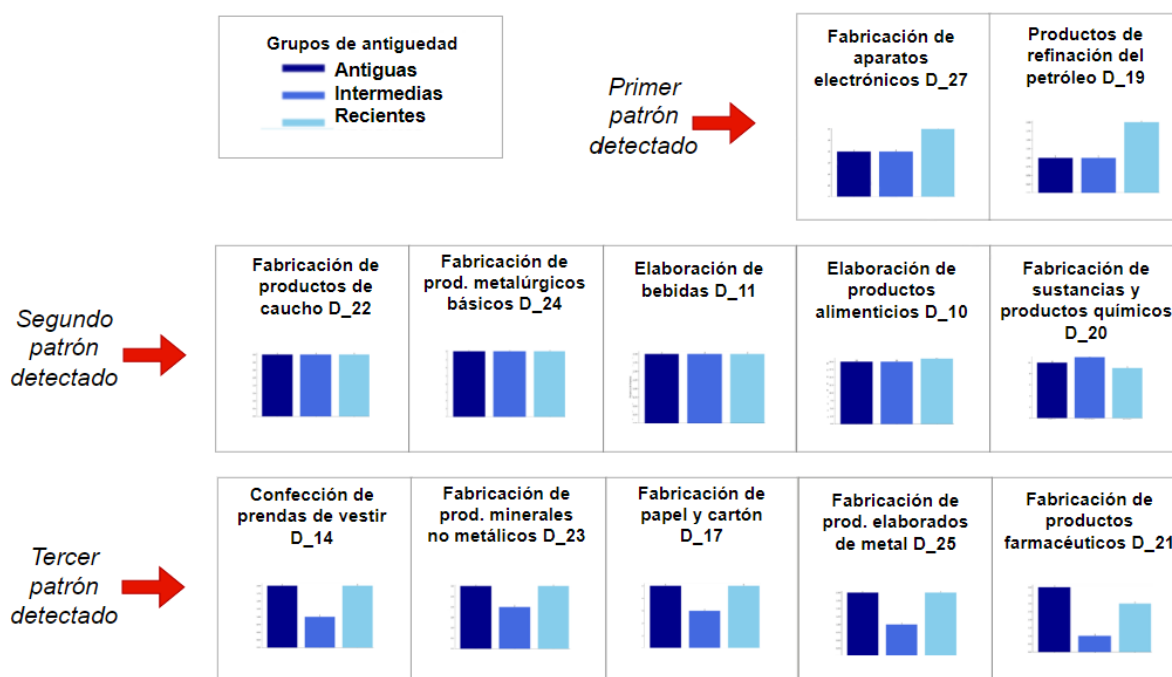


Nota. Fuente: Elaboración propia.

En este análisis se visualiza cómo para cada sector hay una representación de algunas de las tres clasificaciones por años de vigencia. En algunos sectores es más representativa la clasificación “Recientes”, mientras que para otros se presenta un equilibrio entre las “Antiguas” con las “Recientes”. En otros casos, las tres clasificaciones se muestran en la misma proporción arrojando un balance entre las industrias que tienen más tiempo en el mercado, versus aquellas que están haciendo una transición hacia procesos nuevos, y también las más recientes. Por lo anterior, se detectan tres patrones muy pronunciados en esta caracterización demográfica, que se aprecia en la figura 25.

Figura 25

Patrones detectados en la caracterización por años de vigencia



Nota. Fuente: Elaboración propia.

El primer patrón detectado en este análisis de años de vigencia en el mercado para cadenas de suministro manufactureras, indica más relevancia a industrias nuevas que a las antiguas e intermedias, presentando una significativa proporción que las demás. Esto da una señal de enfrentar desafíos para las más antiguas que apuntan a

una menor innovación. El segundo patrón está enfocado en aquellos sectores económicos que le apuestan a la estabilidad de las organizaciones más antiguas valorando todo lo construido con el tiempo para satisfacer la demanda. A su vez, se evidencia el balance con las empresas que se encuentran en una transición hacia la investigación y desarrollo e innovación de procesos mejorados, junto con las más recientes que se inclinan por atraer nuevos negocios e inversión al país potenciando su crecimiento.

El tercer patrón detectado de la figura 25, es para aquellos sectores manufactureros que le dan importancia a dos de las tres clasificaciones de años de vigencia, que son las más antiguas y las más recientes. Su madurez y experiencia en la fortificación de las empresas con mayor tiempo de vigencia, hace que también se valoren otras perspectivas nuevas que complementen lo ya establecido en la industria. Nuevos competidores en los sectores manufactureros permiten que se abra paso a procesos innovadores que complementen lo tradicional y lo mejoren con las buenas prácticas de aquellas organizaciones que ya han explorado nuevos mercados y han aprendido de sus errores y desafíos a través del tiempo.

3.2.3. Perfil financiero

Dentro de la caracterización de cadenas de suministro manufactureras desde una perspectiva rentable, se requiere hacer un análisis de los indicadores financieros de rentabilidad que permitan detectar patrones a analizar en esta investigación, y que añadan valor al estudio.

3.2.3.1. Caracterización financiera rentable

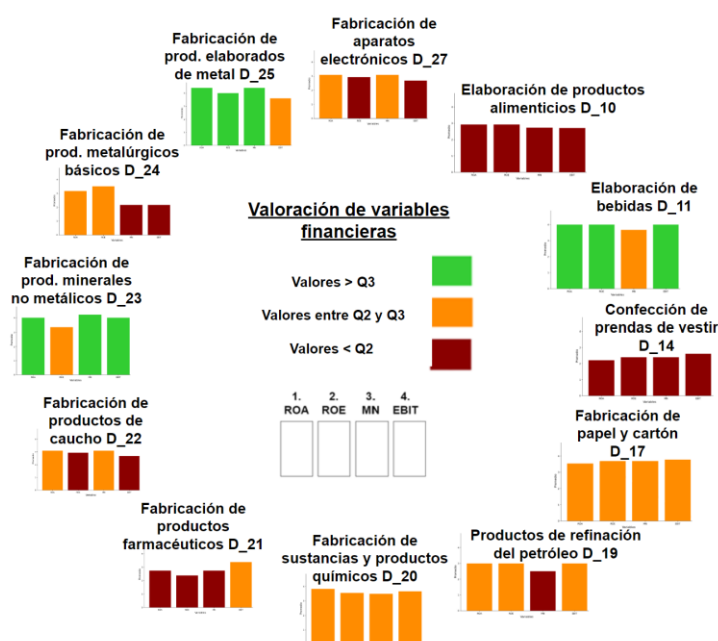
En este numeral, se considera la revisión de los cuatro indicadores financieros elegidos en el apartado de los componentes del modelo de economía circular tales como el ROA (la rotación de activos), el ROE (la rotación del capital), el MN (el margen neto), y el EBIT (ganancias antes de intereses). Para llevar a cabo esta caracterización y determinar el perfil de rentabilidad, se consideran los cuartiles Q1, Q2 y Q3 a partir de la estadística descriptiva de la base de datos de la investigación. El orden de los indicadores para el análisis, con el fin de entender la visualización de la figura 1, es iniciando de izquierda a derecha con el ROA, ROE, MN y EBIT. Estas cuatro barras se evalúan para cada uno de los sectores manufactureros de la muestra.

Igualmente, se establece un color representativo para determinar los resultados del indicador. El color verde representa un resultado que supera el cuartil 3 (Q3), es decir, que muestra un muy buen desempeño en el indicador. Con el color naranja, se representan los resultados que se encuentran entre el cuartil 2 (Q2) y el cuartil 3 (Q3) del indicador financiero a evaluar. Es decir, que evidencian un desempeño moderado con oportunidades de mejora. Y con el color rojo se representan los resultados más bajos de los indicadores de rentabilidad que se encuentran por debajo del cuartil 2 (Q2). Esta categoría corresponde a aquellos resultados con un deficiente desempeño financiero.

En los sectores de la muestra, se presencia una disparidad de resultados financieros enfocados solo a las variables de rentabilidad. Hay sectores con muy buenos rendimientos en la mayoría de los indicadores del estudio, pero hay otros sectores manufactureros que presentan desafíos importantes en su gestión financiera visualizados por la franja roja de la figura 26, que se pueden relacionar con el manejo de costos altos evidenciados en un EBIT deficiente, y márgenes netos bajos que manifiestan potenciales problemas con la rentabilidad de las compañías. También se encuentran las organizaciones con un desempeño moderado, el cual está sujeto a oportunidades de mejora, representado por el color naranja en la gráfica. Estos comportamientos en este análisis reflejan diferentes patrones que se pueden apreciar en la gráfica 27.

Figura 26

Perfil financiero de las cadenas de suministro de la muestra



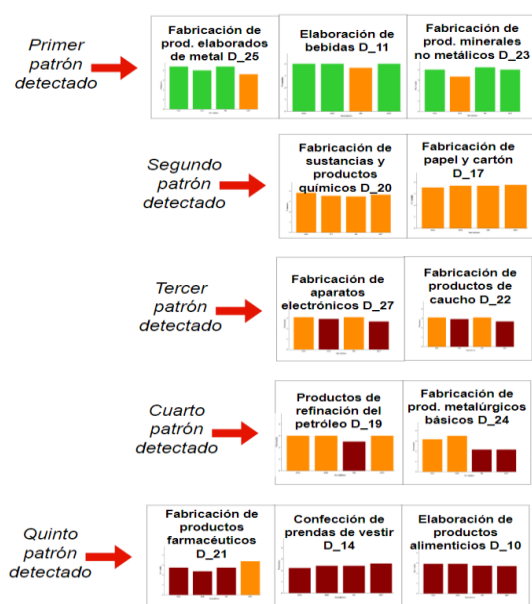
Nota. Fuente: Elaboración propia.

A partir de la caracterización financiera, se derivan cinco patrones detectados en las cadenas de suministro manufactureras de la muestra (ver figura 27). El primer patrón destaca los sectores de manufactura con indicadores muy altos en su mayoría. La rotación de activos y el margen neto son las variables rentables que predominan en los sectores detectados, con un alto rendimiento financiero. Esto indica una gestión muy eficiente en el manejo de sus recursos para lograr un buen margen y utilidades que puedan ser invertidas a un largo plazo. El segundo patrón, se enfoca en los sectores que van por el camino del liderazgo y solo les falta un impulso adicional para lograrlo que puede ser por medio de prácticas colaborativas, para alcanzar a aquellos sectores del patrón 1. Sus resultados financieros no son negativos, pero pueden mejorar con buenas prácticas.

El tercer patrón detectado, muestra resultados deficientes particularmente en la rotación del capital y el margen neto, en sectores económicos tales como fabricación de aparatos electrónicos, y fabricación de productos de caucho. Para el cuarto patrón, se evidencian problemas con los costos en particular, por tener franjas rojas en el indicador EBIT para los sectores de este grupo. Por último, el quinto patrón presenta los sectores que en su mayoría y totalidad tienen un desempeño deficiente de su salud financiera rentable y deben actuar con urgencia sobre un plan de acción que permita mejorar sus problemas económicos.

Figura 27

Patrones detectados en el perfil financiero



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Perfil circular

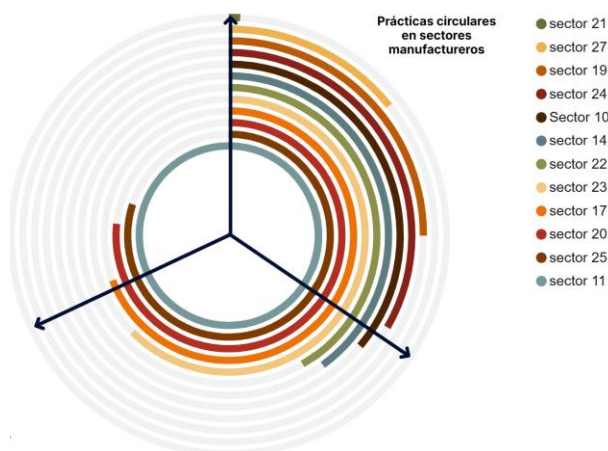
Luego del análisis financiero en el numeral anterior, se presenta una revisión de las prácticas circulares investigadas en los informes de sostenibilidad de las organizaciones pertenecientes a los sectores manufactureros de la muestra de la investigación.

3.2.4.1. Caracterización circular

La caracterización circular se representa por diferentes segmentos en cada anillo de la circunferencia de la figura 28, que expone la proporción de adopción de prácticas circulares por parte de los sectores manufactureros de la muestra de investigación consultados en sus informes de sostenibilidad. Para facilitar la comprensión del comportamiento circular de cada uno de los sectores, estratégicamente entre más ubicados hacia el centro se encuentren, más avanzados se caracterizan con respecto a la economía circular. Adicional a esto, la representación para este perfil circular se asocia con el movimiento de las manecillas de un reloj, ya que en la medida en que avanza hacia adelante, se va trabajando por la sostenibilidad con prácticas circulares, lo que hace que se enfoque en mejorar la eficiencia de sus recursos y buscar la mejora continua de sus procesos.

Figura 28

Caracterización de prácticas circulares para sectores manufactureros



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Hay tres perfiles circulares que se resaltan en esta caracterización, y corresponden a cada fracción separada por los vectores en la gráfica de la figura 1. Los sectores con una alta circularidad son: el sector de elaboración de bebidas (sector 11), fabricación de productos elaborados de metal (sector 25), fabricación de sustancias y productos químicos (sector 20) y el sector de fabricación de papel y cartón (sector 17). Estas industrias manufactureras ocupan desde dos tercios de la circunferencia hasta volver a su punto inicial. Son las que tienen una mayor longitud de su recorrido en cada una de sus posiciones de la figura. El segundo perfil, es para los sectores con un desempeño circular medio o moderado, que manifiestan esfuerzos para alcanzar la circularidad, pero deben apoyarse de buenas prácticas para poder ser líderes en este camino sostenible. Son sectores que ocupan entre un tercio y dos tercios de la circunferencia.

Por último, se encuentra el perfil de una circularidad baja, aquellos sectores que ocupan menos de un tercio de la circunferencia y que corresponde a las industrias que les falta iniciativa para implementar prácticas circulares y que se encuentran en las primeras etapas para escalar en la economía circular, como el sector de productos farmacéuticos (sector 21), el sector de fabricación de aparatos electrónicos (sector 27), y el sector de productos de refinación del petróleo (sector 19). En contraste, al analizar los resultados del alto perfil circular de organizaciones manufactureras que se presentan en este estudio, los sectores de elaboración de bebidas, y productos elaborados de metal, emplean el reciclaje de botellas, latas y de chatarra con reciclaje intensivo, para fortalecer la economía circular innovando en sus procesos de cierre de ciclo productivo. En el caso del sector químico, se hace alusión al avance sobre la química verde, y los reemplazos de materia prima renovable que dan un paso adelante con respecto a la circularidad.

3.2.5. Perfil de las variables de investigación con transformación

La segunda parte de la caracterización de esta investigación aborda la identificación de los atributos relevantes con relación a las variables transformadas, es decir, las variables que representan no solo los resultados financieros rentables, sino también, sobre la implementación de prácticas circulares en sus cadenas de suministro manufactureras.

3.2.5.1. Caracterización de las variables transformadas

En este numeral se aborda el análisis de los atributos establecidos por la lógica explicada en el capítulo de metodología de la investigación con respecto a las variables transformadas.

Estas variables son una fusión de los resultados de los indicadores financieros y de la variable dicotómica de circularidad. Se presentan 5 escenarios, que se visualizan en la figura 1, por medio de diferentes colores. El color verde oscuro, representa la máxima valoración para aquellas organizaciones que manifiestan un muy buen desempeño financiero rentable, y a su vez son circulares. Su valoración es de 5 y podrían llamarse líderes circulares rentables. El color verde claro identifica a las organizaciones que cuentan con un muy buen desempeño financiero, pero no son circulares. Su valoración es 4 y se pueden clasificar como organizaciones con grandes oportunidades de incursionar rápidamente a la circularidad, ya que tienen los recursos suficientes para hacerlo, y solo necesitan orientación y apoyo para apalancarse en la economía circular.

Por otra parte, el color amarillo caracteriza un bajo desempeño financiero, pero una incursión en prácticas circulares. Este escenario muestra que las organizaciones deben contar con estrategias clave para mejorar su rentabilidad en la medida en que implementan la economía circular en sus diferentes procesos. Su valoración es de 3, y se pueden clasificar como las organizaciones con desafíos de superación a alcanzar la circularidad y la rentabilidad. Otro escenario es el que se visualiza de color naranja, en donde el desempeño financiero está por debajo del segundo cuartil estadístico y no considera ninguna práctica circular. De manera similar, el color rojo identifica las empresas cuyo desempeño financiero está por debajo de su primer cuartil y no son circulares. Para estos dos escenarios de valoración 2 y 1 respectivamente, requieren contar con el apoyo de otras organizaciones que puedan apalancarlas y guiarlas por las mejores prácticas para mejorar sus resultados. Son clasificadas como organizaciones con grandes desafíos.

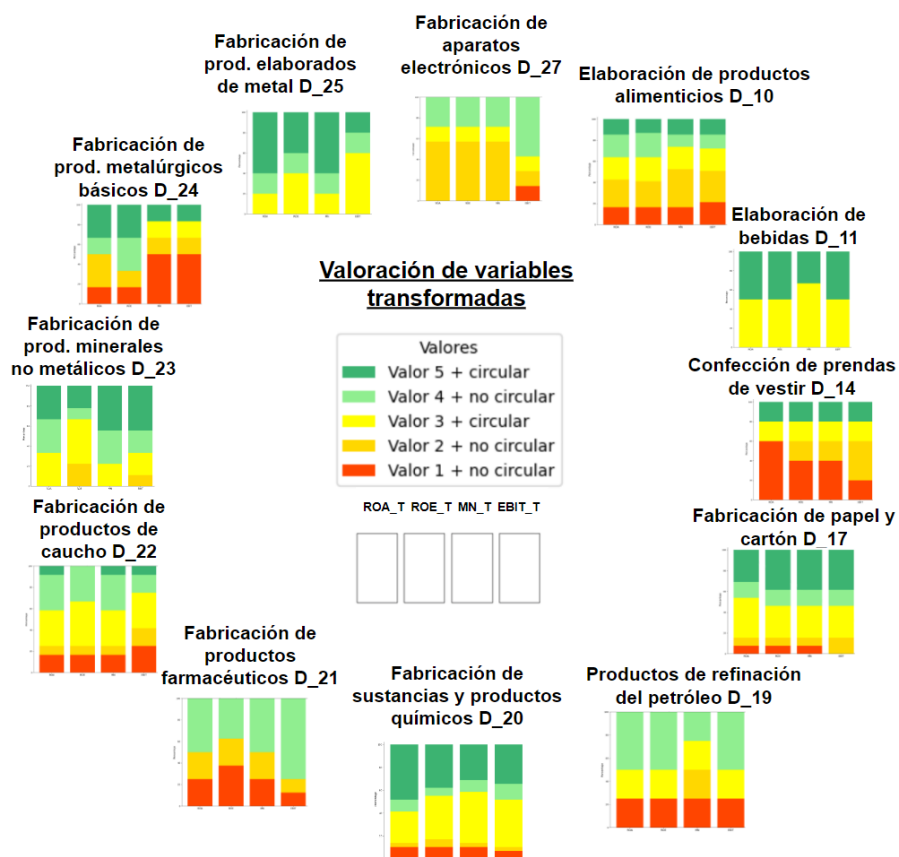
Para cada uno de los sectores manufactureros de la muestra, se ha creado una gráfica de barras que integra las variables transformadas en el siguiente orden: ROA_T, ROE_T, MN_T, y EBIT_T. Cada barra expone la porción que tiene el sector con respecto a las cinco valoraciones anteriormente explicadas. Esto se aprecia en la figura 29, en donde los sectores de la muestra de la investigación arrojan como resultados, diferentes clasificaciones para cada variable transformada. Es por eso, que se detectan tres patrones según los comportamientos de los datos registrados, y que se visualizan en la gráfica 2. El primer patrón está enfocado en las empresas que en su mayoría son

circulares, ya sea por ser líderes en la rentabilidad y circularidad, o por ser empresas con desafíos financieros, pero incursionando en la economía circular.

El segundo patrón, muestra un alto porcentaje de valoraciones que tienden a no ser circulares tales como la valoración 4, 2 y 1, que se identifican con los colores verde claro, naranja y rojo. Estas son las organizaciones que requieren un apoyo y red de colaboración de parte de otras compañías que ya han incursionado en la circularidad y que pueden compartir sus mejores prácticas. Por otra parte, el tercer patrón se orienta en los sectores que tienen un alto porcentaje de resultados muy deficientes tanto en lo financiero, como en lo circular. Se evidencia por la mayor proporción de la franja roja en sus barras de las diferentes variables de investigación. Este tipo de cadenas de suministro necesitan un mayor apoyo que todas las demás para poder superar los grandes desafíos que enfrentan con relación a sus bajos rendimientos rentables y a su falta de sostenibilidad en sus procesos.

Figura 29

Perfil de variables transformadas financieras y circulares

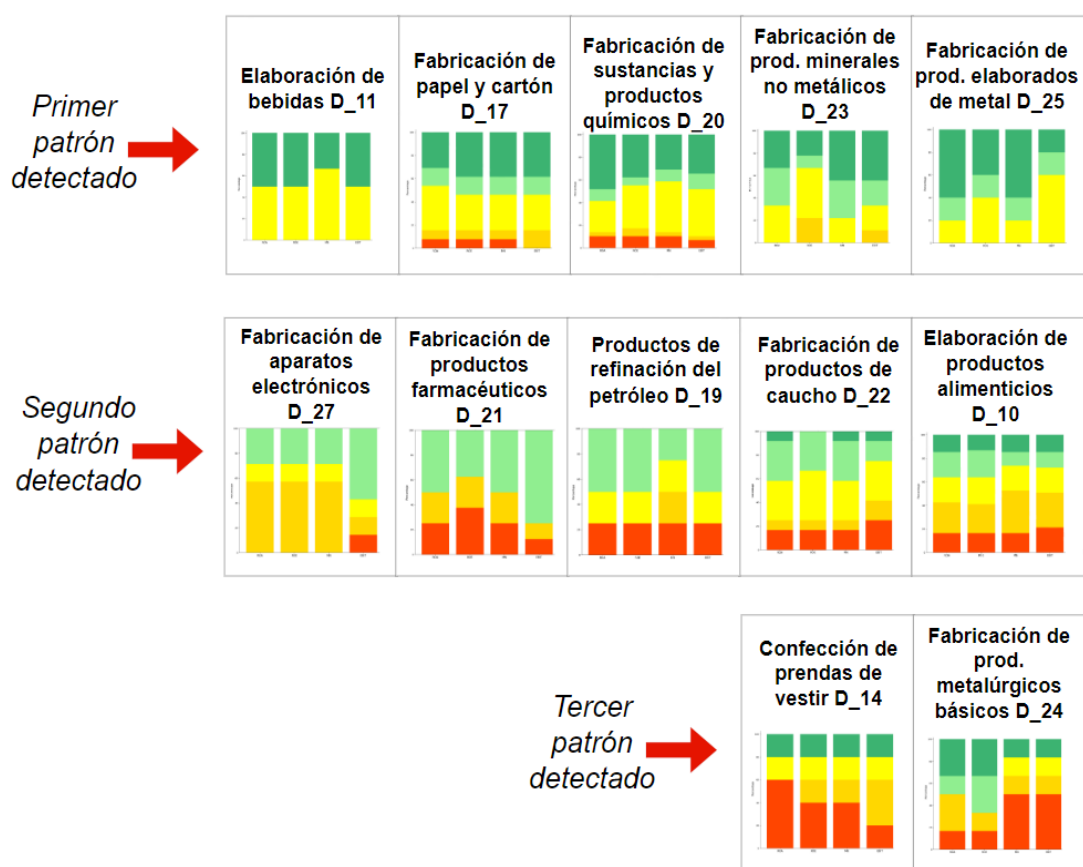


Nota. Fuente: Elaboración propia.

Cada patrón detectado lo conforma un grupo de sectores económicos manufactureros (ver figura 30). El primer patrón está integrado por los sectores de elaboración de bebidas (sector 11), fabricación de papel y cartón (sector 17), fabricación de sustancias y productos químicos (sector 20), fabricación de productos minerales no metálicos (sector 23) y fabricación de productos elaborados de metal (sector (25). Estos resultados tienen una directa relación con los resultados de las anteriores caracterizaciones del perfil financiero y del perfil circular. Son sectores líderes en las variables de investigación y que pueden apalancar a otros cuyos resultados pueden mejorarse gracias a redes de apoyo y colaboración establecidas entre organizaciones.

Figura 30

Patrones detectados en el perfil de las variables transformadas



Nota. Fuente: Elaboración propia.

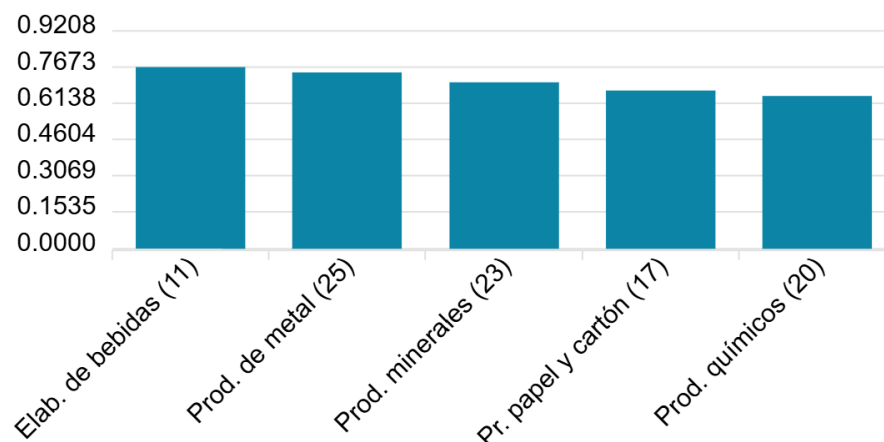
3.2.6. Aplicación de TOPSIS

Con el fin de obtener los sectores más representativos de esta investigación, se emplea la técnica multicriterio TOPSIS para determinar de manera jerárquica, y considerando unos criterios y alternativas, cuáles son los cinco sectores que se identifican por arrojar los mejores resultados en las variables transformadas del estudio, para luego caracterizarlas y buscarles un perfil de acuerdo con los hallazgos obtenidos por sus atributos.

Para aplicar el método multicriterio, en primer lugar, se establecen los criterios que son los valores de las variables transformadas tales como: ROA_T, ROE_T, MN_T, y EBIT_T. A cada una de estas variables se le asigna un peso de un 25%, y se asignan las alternativas que son todos los sectores manufactureros de la muestra. Para realizar el procedimiento se emplean las librerías pandas, Numpy, Matplotlib y Seaborn en el lenguaje de programación Python. Se cargan todos los datos de las 165 cadenas de suministro de la muestra, y con todo lo anterior, se extrae una matriz de decisión para normalizarla y operarla de tal forma que arroje las soluciones ideales. Con la ayuda de la distancia euclidiana, se buscan las mejores opciones que muestren una menor distancia. Esas serán las alternativas que se jerarquizarán con una ponderación para determinar los primeros cinco puestos. En la figura 31, se presentan los resultados de la aplicación de esta técnica.

Figura 31

Selección de los principales 5 sectores manufactureros



Nota. Fuente: Elaboración propia.

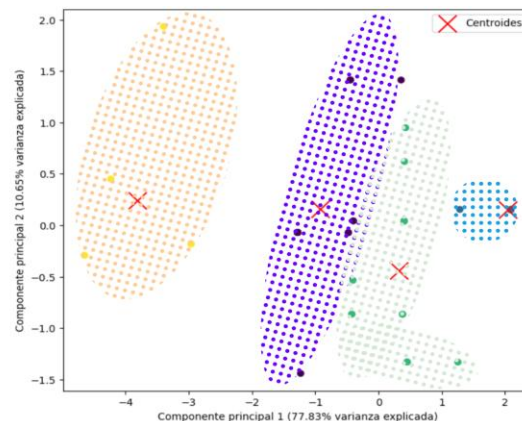
3.2.7. Clusterización y caracterización de los sectores manufactureros

La siguiente parte de esta sección es la caracterización que corresponde a identificar clústers que estén alineados con los conglomerados del modelo preliminar del capítulo del marco teórico. Para ello, se toman los datos de las variables transformadas de los sectores elegidos por la técnica TOPSIS, se estandarizan y se aplica un análisis de componentes principales (ACP), con el fin de reducir la dimensionalidad en dos componentes. Luego se aplica la técnica Kmeans con $k = 4$ para alinearlos con los resultados obtenidos en el numeral 1.2.3. de este documento. En la figura 1 se visualizan los hallazgos al aplicar la técnica de clusterización de machine learning de aprendizaje no supervisado, que refleja cuatro conglomerados muy bien definidos con sus respectivas posiciones medias llamadas centroides marcados con una x de color rojo. También se exponen los porcentajes para cada componente del ejercicio en cada eje del sistema.

Sobre el eje x se aprecia el primer componente que responde a un 77.83% en su varianza explicada. Y sobre el eje y, se visualiza el segundo componente principal con un 10.65% respectivamente. Su acumulado explica una varianza total de alrededor de un 88% del conjunto global de datos. Por otra parte, de los cuatro grupos, el primero que se identifica de color amarillo y que se encuentra en la parte izquierda de la gráfica, distribuye sus elementos alrededor del eje y de una forma alargada. Está muy bien definido y es el más separado de los otros conglomerados. Esto indica que sus características son muy particulares con respecto a los demás, y efectivamente, revisando la data con el número de clústers para cada organización, ese clúster lo integran las organizaciones con una valoración de 5 en sus variables transformadas, es decir, las líderes en las finanzas y la circularidad.

Figura 32

Clusterización de la muestra de investigación



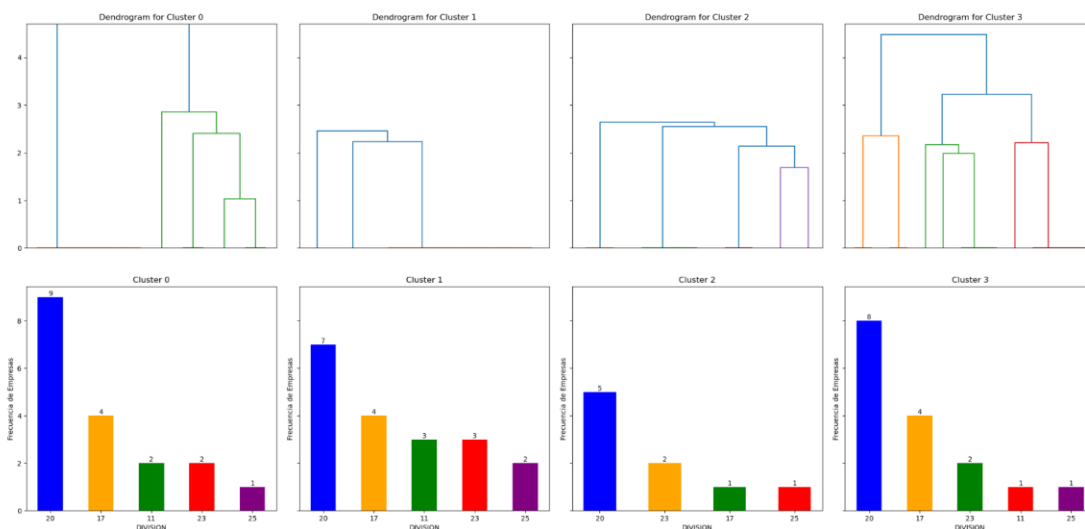
Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la parte derecha de la figura 32, se encuentra otro clúster de color azul, muy bien definido, pero este es más concéntrico, pequeño, y menos distribuido en el sistema. Este grupo identifica a las organizaciones cuyas valoraciones corresponden a 2 y 1, es decir, las no circulares y con un deficiente desempeño financiero. Y para el caso de los clústers que se encuentran en el centro del sistema de color morado y verde, su comportamiento es de una alta variabilidad ya que recorren de extremo a extremo sus dimensiones. Son aquellas organizaciones que se encuentran en proceso de mejorar sus indicadores financieros y que ya están abordando la circularidad. Su valoración está entre 3 y 4. Por lo tanto, con este ejercicio de clusterización, se puede determinar cuatro grupos que tienden a representar los escenarios establecidos por la lógica de esta investigación.

Para caracterizar cada clúster, se emplea el lenguaje de programación Python con el fin de determinar el detalle de cada conglomerado hallado en la aplicación de la técnica Kmeans. Se obtiene para cada grupo un dendrograma en la primera línea con el fin de analizar detalladamente su variabilidad, y también una gráfica de barras que mide el número de empresas que intervienen en cada cluster en una segunda línea (ver figura 33). Es evidente identificar que hay una mayor variabilidad de datos en los dos últimos clústers. Se muestra un comportamiento de alto fluctuación. Mientras que en la segunda línea se identifican los sectores de elaboración de alimentos (10) y de fabricación de productos químicos (20), los más representativos en cuanto a distribución en los cuatro grupos.

Figura 33

Caracterización de los clústeres de la investigación



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.2.8. Conclusiones parciales

En este capítulo del estudio se da respuesta al segundo objetivo específico que está relacionado con caracterizar las cadenas de suministro manufactureras. Se emplean diferentes técnicas para llevar a cabo la identificación de los atributos principales de los sectores económicos de manufactura que se vinculan a la muestra de la investigación. Se toma como referencia el número de divisiones registrado por el CIIU para representar los 12 sectores industriales. Las caracterizaciones que se abordan en esta sección van desde la demográfica hasta la caracterización por clústers más representativos de las organizaciones manufactureras.

Se establece como premisa en la caracterización demográfica por localización, que hay una correlación entre la ubicación estratégica de los principales departamentos del país, con la gestión efectiva de los ingresos operacionales de las cadenas de suministro de la muestra. Así mismo, se detectan varios patrones que representan las características esenciales de los sectores económicos. Se identifican grupos que se enfocan en una distribución local regional, otros por su cercanía a los puertos que habilitan el comercio internacional, también están aquellos que se ubican cerca de la adquisición de materias primas, y otros, alrededor de los puntos de consumo y principales industrias especializadas.

Se resaltan dentro de las tendencias una mayor expansión en Colombia de los sectores tales como el de elaboración de productos alimenticios, fabricación de sustancias de productos químicos, y fabricación de productos de caucho. Mientras que, para los sectores manufactureros de aparatos electrónicos, papel y cartón, y producción de minerales no metálicos, su concentración principal es en Bogotá y en Valle del Cauca, con una moderada representación en Antioquia, Cundinamarca y Atlántico. Para el sector de productos elaborados de metal, metalúrgicos básicos, productos farmacéuticos, elaboración de bebidas, prendas de vestir y refinación del petróleo, Bogotá es su ubicación más prominente, seguida por Valle del Cauca, Antioquia y Cundinamarca.

En la misma línea de la caracterización demográfica, se analiza la caracterización por años de vigencia, en donde se indagan tres patrones en las organizaciones. El primero es aquel que impulsa el desarrollo de nuevos negocios gracias a procesos disruptivos e innovadores, revelando una inclinación más pronunciada a empresas recientes. El segundo patrón establece un equilibrio entre las organizaciones más antiguas, intermedias y nuevas, marcando la pauta de mantener aquellas que tienen un nivel de madurez, en equivalencia con las que entran en un proceso de transición entre lo ya establecido y lo nuevo, y también, las que son impulsadas como nuevas propuestas,

y se caracterizan como nuevos competidores del mercado. El tercer patrón refleja una importancia balanceada entre las organizaciones más maduras y las más innovadoras apoyando tanto lo que ha funcionado, como lo que podría funcionar por ser disruptivo y novedoso.

Dentro del primer patrón referente a los años de vigencia, se encuentran los sectores de fabricación de aparatos electrónicos, y refinación del petróleo. Para el segundo patrón de tendencias mencionado anteriormente, los sectores representativos son fabricación de productos de caucho, metalúrgicos básicos, elaboración de bebidas, productos alimenticios y sustancias de productos químicos. Finalmente, el tercer patrón de tendencias en esta categoría, lo lideran la confección de prendas de vestir, los productos minerales no metálicos, los productos elaborados de metal y los productos farmacéuticos.

Por otra parte, el perfil financiero de este capítulo muestra cinco tendencias de los sectores manufactureros. La primera está encaminada en trabajar por obtener un buen desempeño financiero superando el tercer cuartil de los datos. La segunda tendencia se enfoca en las organizaciones que se encuentran en un nivel intermedio financiero dentro de los cuartiles 2 y 3 de los datos financieros. La tercera tendencia es para aquellos sectores manufactureros que deben fortalecer su rotación de capital y margen neto ya que muestra un deficiente rendimiento en estos indicadores. La cuarta tendencia, está orientada a las empresas que tienen desafíos con la gestión de sus costos y presentan un deficiente control del EBIT. Por último, se encuentra la tendencia de aquellos sectores que tienen grandes desafíos financieros y que en su mayoría de indicadores se encuentran por debajo del primer cuartil de datos manifestando que no son rentables y con serios problemas económicos que atender.

Con relación al perfil circular detectado, se orienta en tres patrones en función de las prácticas circulares adoptadas por los sectores manufactureros de la muestra. El primer patrón es el que presenta un potencial significativo de implementación de la economía circular, por registrar la mayor frecuencia de la variable circularidad en las organizaciones de la investigación de algunos sectores tales como el sector de elaboración de bebidas, el sector de fabricación de metal, el sector de fabricación de productos químicos y de fabricación de productos de papel y cartón. Estas son las industrias líderes en sostenibilidad bajo la variante de la economía circular en Colombia, según las investigaciones realizadas. Por otra parte, también se detecta el patrón de un perfil moderado o intermedio de circularidad, como también de un perfil de baja circularidad cuyas empresas o no han iniciado a incursionar en estas prácticas sostenibles, o están hasta ahora en los primeros pasos de manera muy incipiente.

Por otra parte, se concluye con relación a las variables transformadas, la existencia de tres patrones de los resultados obtenidos al analizar los componentes del modelo tales como ROA_T, ROE_T, MN_T, y EBIT_T. El primer patrón reúne los sectores manufactureros que tienen un porcentaje significativo de la máxima valoración del estudio que es 5, por tener un alto desempeño financiero superando el tercer cuartil, y adicional a esto, también manifiestan en sus informes de sostenibilidad la adopción de prácticas circulares. Son estos sectores considerados líderes rentables y circulares. El segundo patrón que se detecta es para aquellos sectores que a pesar de que en algunos de ellos evidencian un moderado desempeño financiero, en su mayoría, no implementan prácticas circulares, por lo tanto, tienen la oportunidad de apalancarse con los líderes para mejorar en niveles de sostenibilidad. Y el último patrón presenta un porcentaje significativo de grandes desafíos tanto financieros como de circularidad, los cuales podrían mejorar al acudir a redes colaborativas con otras industrias y líderes en el mercado.

Los sectores que integran el primer patrón detectado de la categoría de las variables transformadas son la elaboración de bebidas, la fabricación de papel y cartón, la fabricación de sustancias y productos químicos, y la fabricación de productos elaborados del metal. Estos sectores tienen las mejores valoraciones que todos los demás. Para el segundo patrón detectado, se encuentran la fabricación de aparatos electrónicos, fabricación de productos farmacéuticos, fabricación de productos de caucho, y elaboración de productos alimenticio. Mientras que el tercer patrón detectado, que es el patrón que identifica a los sectores con mayores desafíos tanto en el área financiera como en la circular, está integrado por los sectores manufactureros de la confección de prendas de vestir, y la fabricación de productos metalúrgicos básicos.

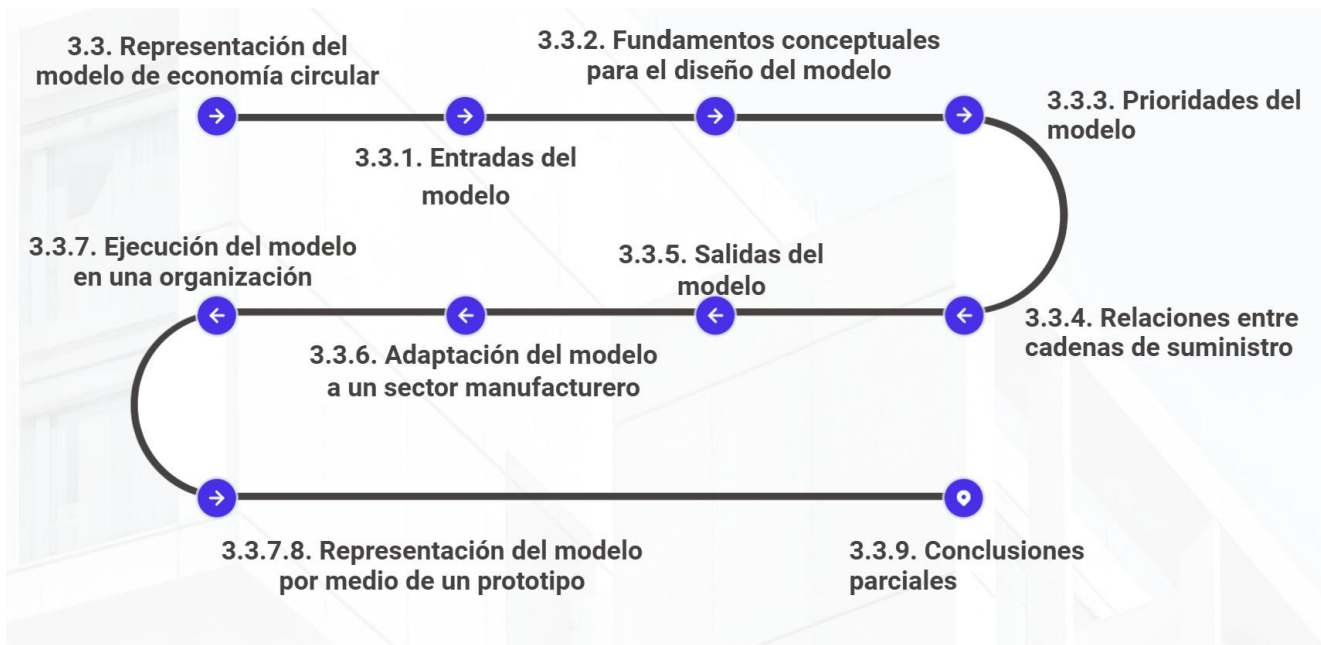
La tercera parte de la caracterización se enfoca en detectar los sectores más representativos por sus mejores resultados rentables y circulares de acuerdo con las variables transformadas de investigación. Utilizando la técnica multicriterio jerárquica TOPSIS, se determina que el top 5 de los sectores más representativos para este estudio son: elaboración de bebidas, fabricación de productos de metal, fabricación de productos minerales, fabricación de productos de papel y cartón, y fabricación de sustancias y productos químicos. Estos resultados son congruentes con los resultados obtenidos en cada uno de los numerales de este capítulo de caracterización. Por lo tanto, uno de los cinco sectores más destacados como es el sector de productos químicos, será el que se empleará en próximos capítulos para desarrollar el modelo de economía circular por ser uno de los de más amplia distribución geográfica, estabilidad y consolidación en el tiempo, desempeño mixto en indicadores financieros y circulares y oportunidades de mejora en la colaboración circular.

3.3. Representación del modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras

Atendiendo al tercer objetivo de investigación que se enfoca en diseñar el modelo de economía circular, este apartado se orienta en dar una respuesta, considerando los fundamentos conceptuales del diseño, las prioridades, entradas, y salidas del modelo, relaciones entre cadenas de suministro, una adaptación y ejecución de un sector manufacturero, producto del resultado del capítulo de caracterización y una representación por medio de un prototipo. Se finaliza con las conclusiones parciales que recogen las ideas principales de su representación (ver figura 34.).

Figura 34

Hoja de ruta de la representación del modelo de economía circular



Nota. Fuente: Elaboración propia.

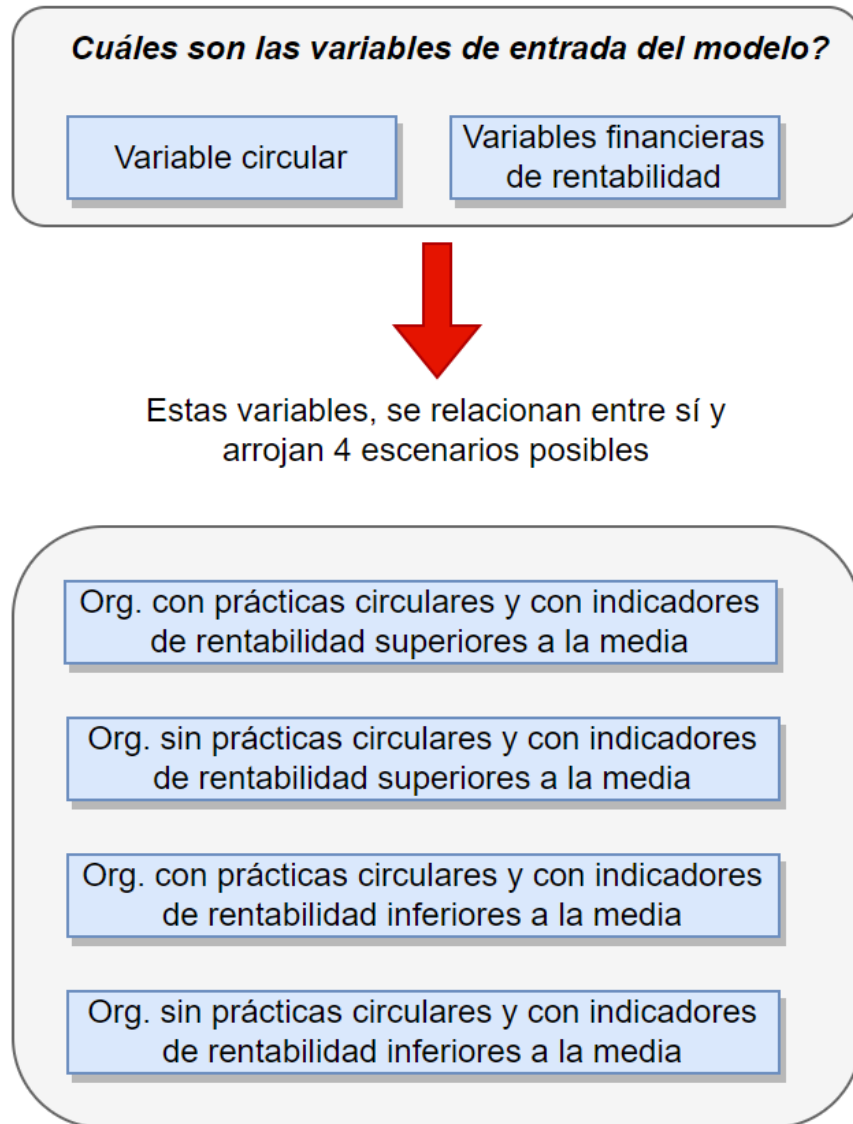
3.3.1. Entradas del modelo de economía circular

Las entradas del diseño del modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras son los resultados del apartado de componentes del modelo, cuyas variables han sido transformadas a través de unas condiciones relacionadas con la circularidad y con el rendimiento financiero rentable (ROA_T, ROE_T, MN_T, y EBIT_T).

Estas variables a su vez arrojan cuatro escenarios posibles para las organizaciones que están anidados al comportamiento de la media de las variables. Estos escenarios se representan en la figura 35.

Figura 35

Entradas del modelo



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Fundamentos conceptuales para el diseño del modelo

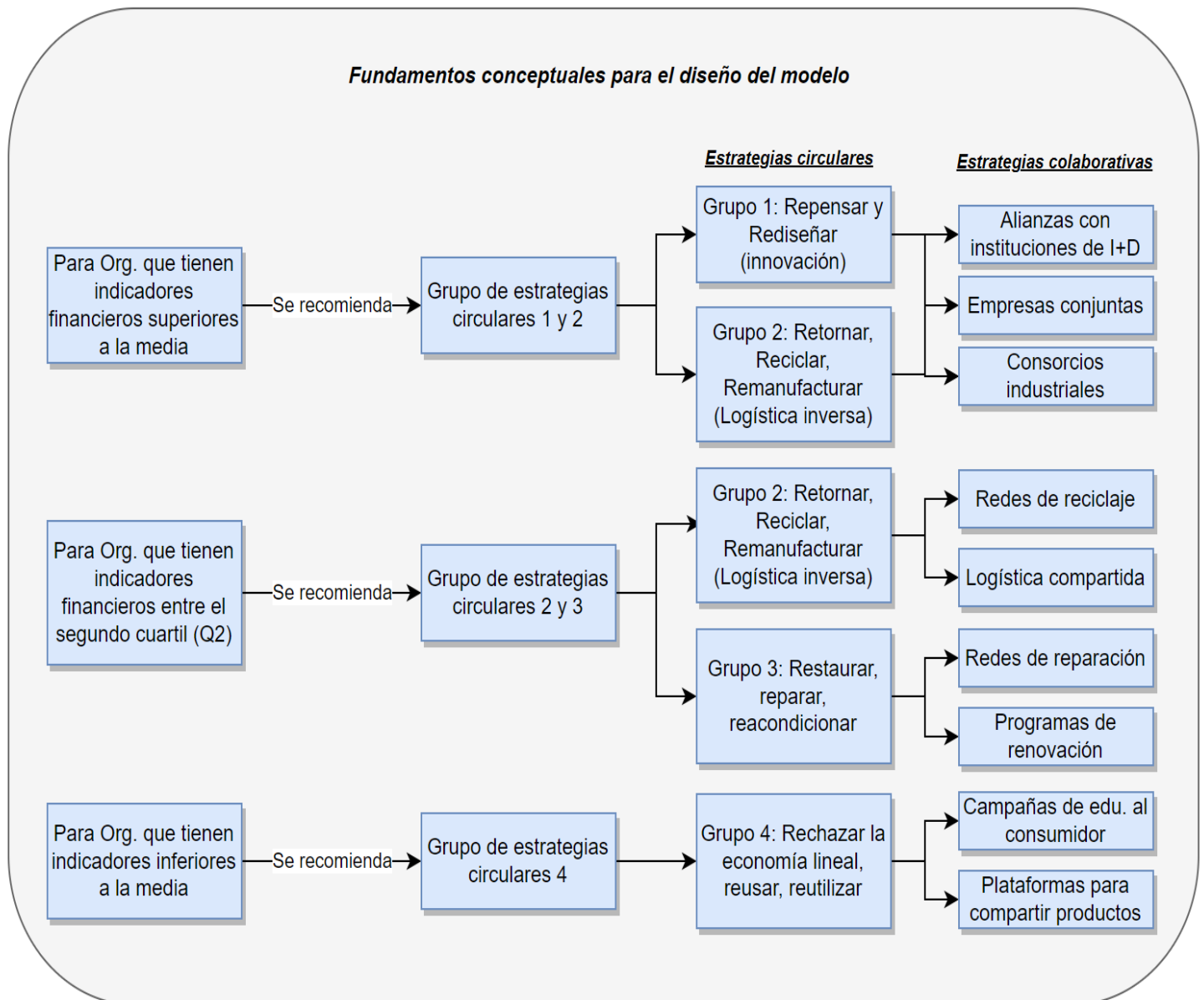
Teniendo en cuenta los resultados de la propuesta del modelo preliminar obtenido del capítulo del marco teórico de esta investigación, estos se enlazan con los escenarios presentados en el numeral anterior, dándole prioridad al resultado financiero que supere o no la media de los datos de las variables transformadas. De esta manera, se obtienen tres puntos de partida para las organizaciones tal como se visualiza en la figura 36. Estos puntos se conectan con tres agrupaciones de estrategias circulares. En la primera se combina el grupo 1 y el grupo 2 del modelo teórico preliminar, teniendo en cuenta que sus características principales se enfocan en un muy buen desempeño financiero, aunque, algunas de ellas son líderes circulares y otras no. Por lo tanto, estando en un mismo grupo, estas últimas pueden apalancarse con las líderes circulares y rentables.

El segundo grupo, reúne las categorías de estrategias circulares 2 y 3, que, aunque no son líderes en economía circular, tienen importantes oportunidades para alcanzar la transformación circular con el apoyo de una red de colaboración entre organizaciones. Tienen desafíos a nivel financiero y circular, pero están más próximas a superarlos en un corto plazo. Por último, el tercer grupo solo considera las estrategias circulares del grupo 4 del modelo preliminar, ya que para este conjunto de organizaciones se presenta un mayor desafío financiero que no favorece la adopción de la circularidad, por lo tanto, las empresas que cuentan con un desempeño deficiente en los indicadores rentables tendrán que trabajar fuertemente por establecer conciencia entre los stakeholders sobre la importancia de incursionar en la circularidad.

La otra parte importante habilitadora de esta investigación y retomada de los análisis bibliométricos del marco teórico, son las estrategias colaborativas. Estas van asociadas con las estrategias circulares y a su vez, también a uno de los escenarios que representa los atributos tanto financieros como circulares. Igualmente, guardan una estrecha relación con el modelo preliminar del capítulo teórico, así que cada grupo de estrategias circulares deriva las colaborativas. En el caso del grupo 1 y 2, se enfoca en recomendar a las organizaciones que establezcan alianzas con instituciones de investigación y desarrollo, empresas conjuntas, y de igual forma consorcios industriales. Para el grupo 2, también hay una conexión con estrategias colaborativas enfocadas en redes de reciclaje y logística compartida. Para el grupo 3, se encaminan en redes de reparación, y programas de renovación. Y finalmente, para el grupo 4, la orientación está direccionada en establecer campañas de educación al consumidor y a todos los stakeholders para hacer la transición hacia la circularidad.

Figura 36

Fundamentos conceptuales para el diseño del modelo



Nota. Fuente: Elaboración propia.

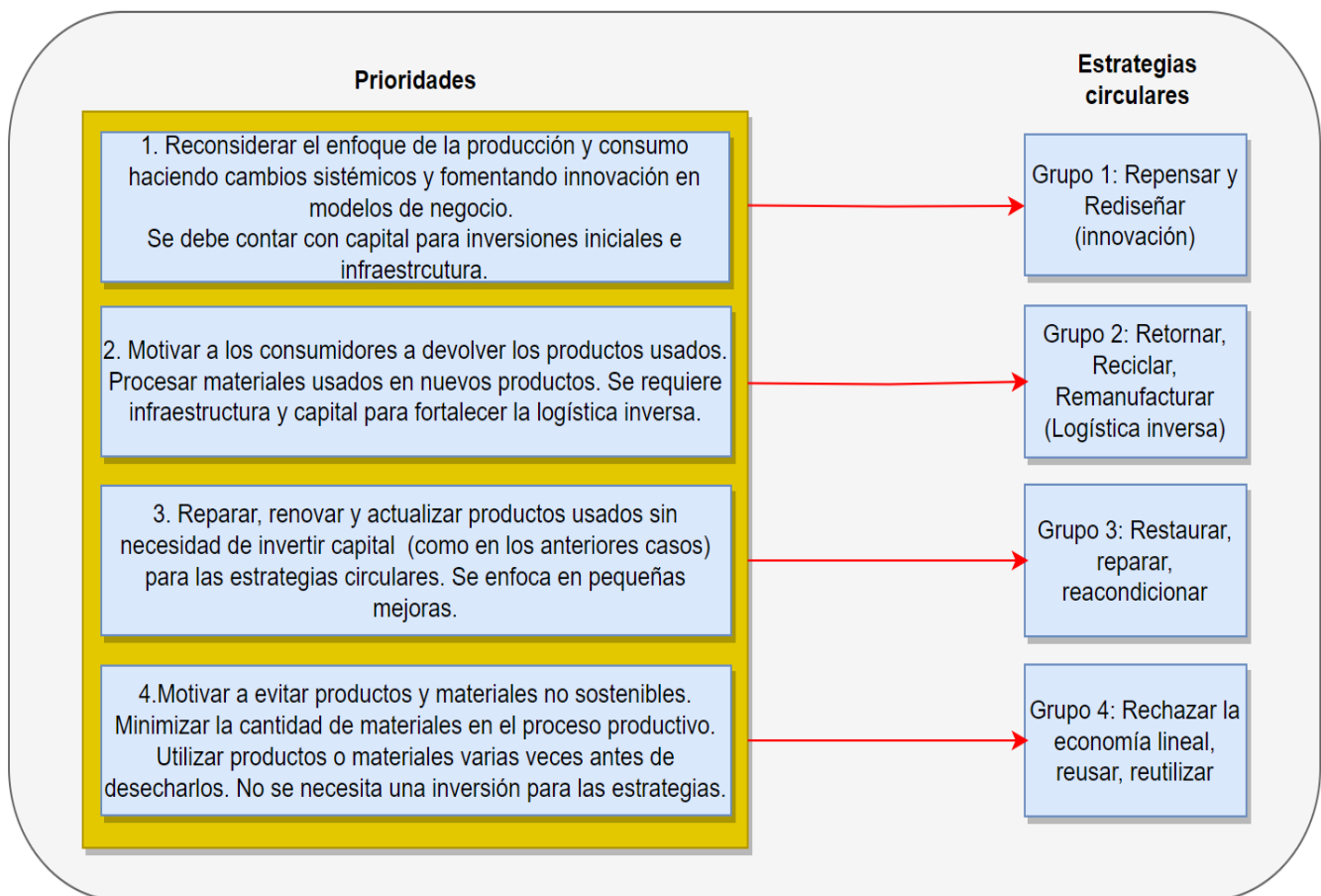
3.3.3. Prioridades del modelo

Se establece una serie de prioridades en el modelo tal como se presenta en la figura 37, con el fin de esquematizar desde la entrada de los parámetros, la ruta óptima que debe tomarse para generar las recomendaciones de circularidad y colaborativas a los diferentes grupos de organizaciones que están reunidos por características similares con

respecto a las variables de investigación. Se desea tener un filtro con relación a los intereses específicos de las cadenas de suministro en cuanto a su capacidad de capital, por lo tanto, las prioridades son jerarquizadas desde una mayor capacidad de adquisición financiera, siendo esta la prioridad número 1, hasta una menor capacidad de adquisición financiera representada con la prioridad número 4. Adicional a esto, cada prioridad está vinculada a un grupo de estrategias circulares correspondiente: Grupo 1 (Repensar y Rediseñar - Innovación), Grupo 2 (Devolver, Reciclar, Remanufactura - Logística Inversa), Grupo 3 (Restaurar, Reparar, Renovar) y Grupo 4 (Rechazar la Linear Economy, Reuse, Reutilize), que ilustra un enfoque integral para implementar prácticas de circularidad, y más adelante se conectan con las estrategias de colaboración entre cadenas de suministro.

Figura 37

Prioridades del modelo



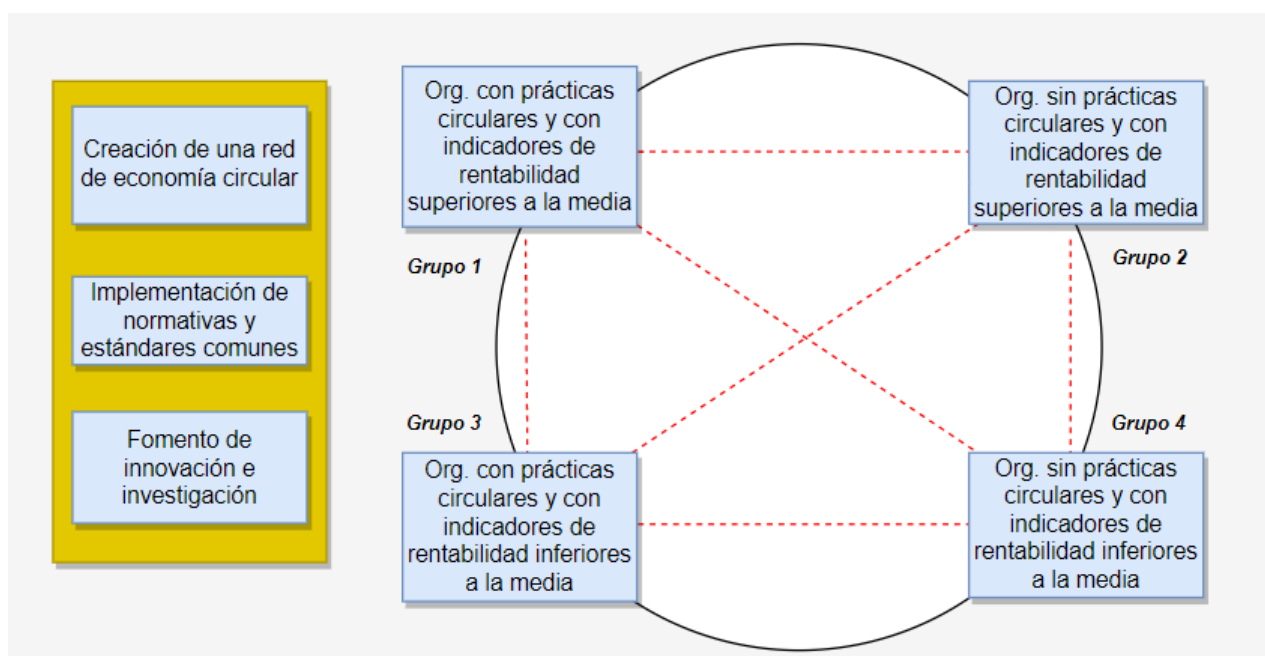
Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.3.4. Relaciones entre cadenas de suministro

Como relaciones fundamentales entre organizaciones, se encuentran las asociaciones que se pueden establecer entre cualquier grupo definido en la investigación (ver la figura 38). La creación de una red de economía circular sería el ideal para cualquier sector industrial que quiera potenciar su sostenibilidad a través de la circularidad y de la cooperación de otras cadenas de suministro. También, en la medida en que se generen conexiones entre organizaciones, se pueden implementar normativas y estándares comunes de acuerdo con los procesos que se tengan en consideración para cada sector. Igualmente, otro de los puntos relevantes que pueden organizarse, es el fomento de la innovación y la investigación para trabajar en procesos que se direccionen a apostarle a la economía circular.

Figura 38

Relaciones entre diferentes grupos de organizaciones



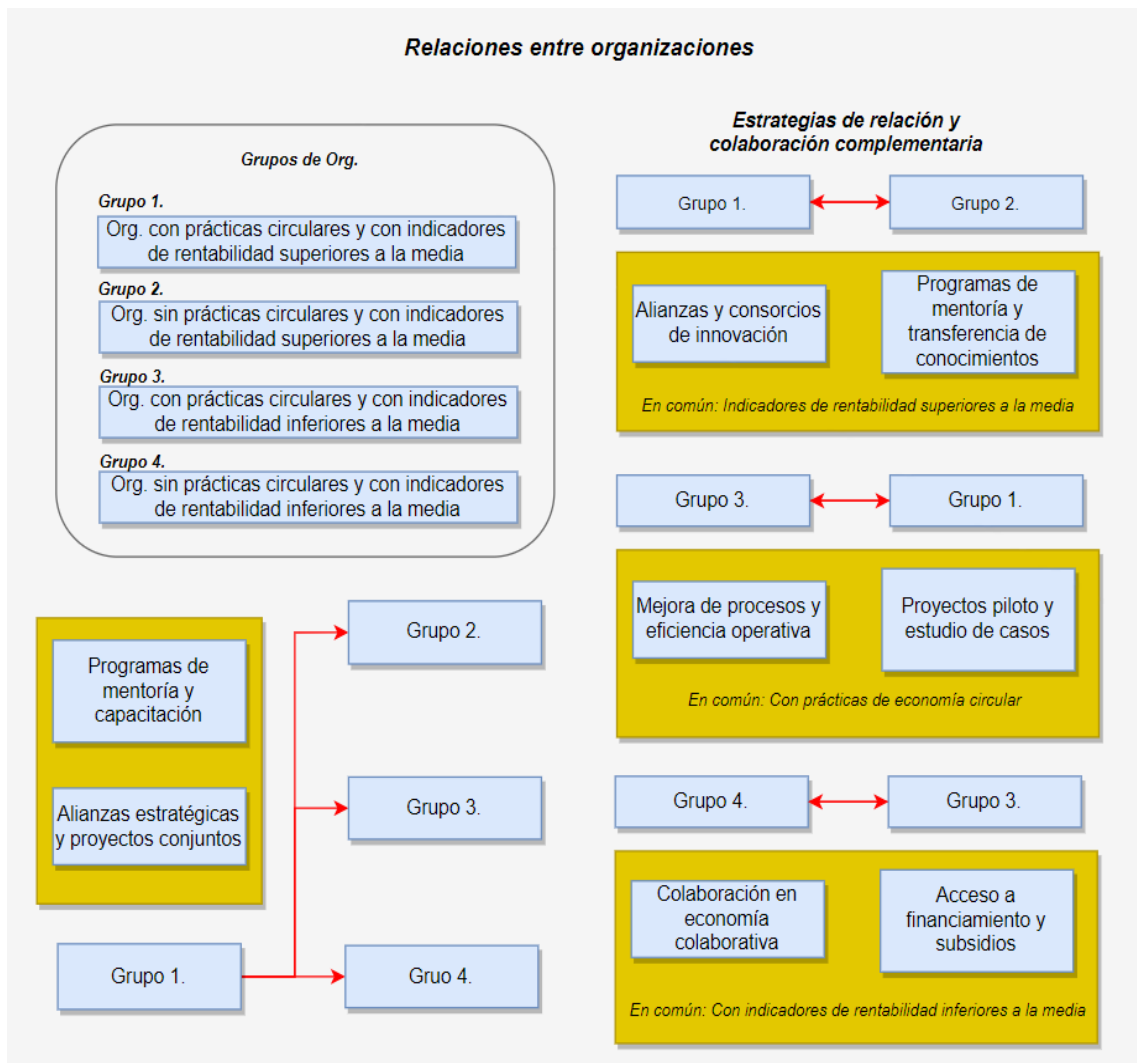
Nota. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, se establecen relaciones entre pares que pueden ser un apoyo y palanca para que la organización más débil pueda fortalecerse con la ayuda de la que se encuentra en una mejor posición con respecto a su desempeño financiero y circular. Es factible que se organicen por pares con características comunes tales como su buen

desempeño financiero para el caso del grupo de organizaciones 1 y 2, cuyos indicadores de rentabilidad superan la media de los datos. Entre ellas puede haber un relacionamiento orientado a construir alianzas y consorcios de innovación, igualmente, programas de mentoría y transferencia de conocimientos. También, otra característica en común es la circularidad. Esto se evidencia en los grupos 1 y 3, en donde las organizaciones implementan prácticas circulares. El grupo 1 es líder tanto en el área financiera como en el área sostenible, pero el grupo 3 no cuenta con buenos indicadores rentables, así que entre estos grupos se puede trabajar en la mejora de procesos, eficiencia operativa, proyectos piloto y estudio de casos. Sobre todo, el grupo 3 puede guiarse por las mejores prácticas del grupo 1.

Figura 39

Relaciones entre organizaciones por pares



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Otro escenario colaborativo entre pares se da entre los grupos 4 y 3 que tienen en común indicadores de rentabilidad inferiores a la media. Para este caso, es necesaria la colaboración de la economía colaborativa y el acceso a financiamiento y subsidios que puedan apalancarlas en sus desafíos financieros y circulares. En la figura 39, se visualizan las relaciones expuestas en este numeral. También se muestra en la parte izquierda del gráfico la relación entre el grupo líder con respecto a los demás grupos. Las estrategias que se pueden implementar estarían orientadas a generar programas de mentoría y capacitación dirigidos a las organizaciones que necesitan fortalecer sus puntos débiles. Igualmente, se pueden generar alianzas estratégicas y proyectos conjuntos circulares entre este grupo de cadenas de suministro.

3.3.5. Salidas del modelo de economía circular

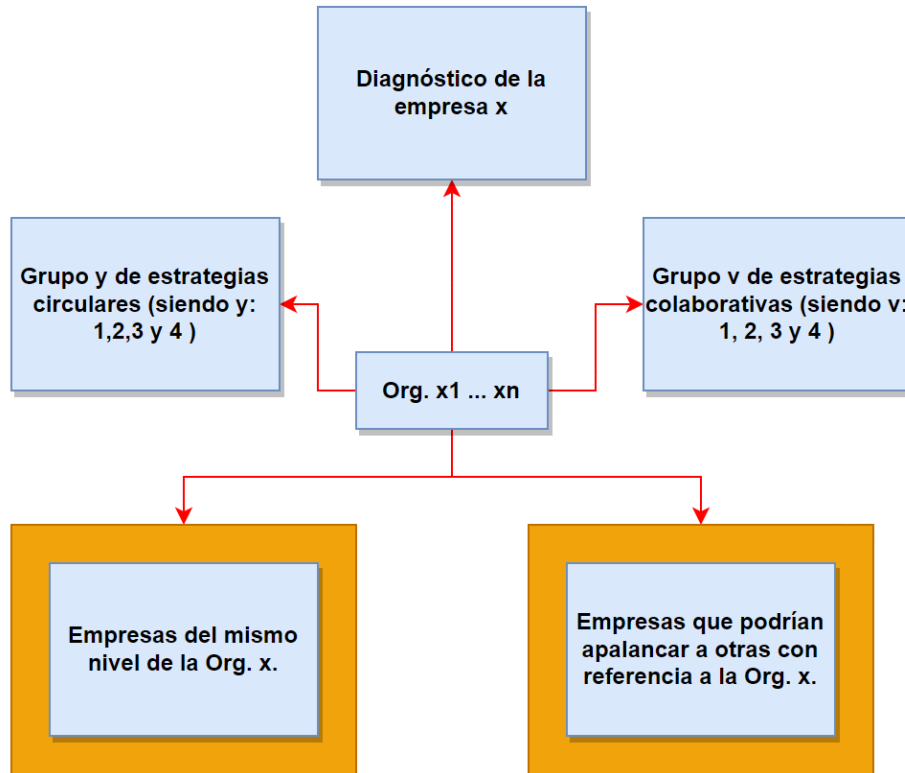
El modelo de economía circular muestra el resultado del análisis realizado en anteriores capítulos. Su salida arroja el estado actual de los atributos que tienen las organizaciones sobre su rentabilidad y circularidad, por lo tanto, se indaga su perfil en primera instancia. Este es el punto de partida para realizar la asociación con la lógica de la investigación, que anida los perfiles de las cadenas de suministro, a las estrategias circulares y colaborativas cluster

izadas de acuerdo con el análisis teórico expuesto en el numeral 1.2. De igual forma, se agrupan las organizaciones que tienen el mismo perfil, y se clasifican como “empresas del mismo nivel”. También, se buscan los perfiles de las organizaciones líderes para presentarlas como “empresas que podrían apalancar a otras”.

Un parámetro de entrada es la organización a consultar en la base de datos. Este input activa la primera salida del modelo que es un diagnóstico. Este diagnóstico establece el nivel financiero rentable y de circularidad de la organización con su respectiva explicación. Después de arrojar el diagnóstico, el modelo presenta las recomendaciones de las estrategias circulares que están asociadas a su perfil. Posteriormente, también se exponen las recomendaciones de las estrategias colaborativas que se deben considerar de acuerdo con los resultados del diagnóstico y circularidad arrojados. Por último, el modelo muestra cuáles son las organizaciones que se encuentran en el mismo nivel y también, aquellas que pueden apalancar y cooperar en la transición hacia la circularidad. Lo anterior se visualiza en la figura 40.

Figura 40

Salidas del modelo de economía circular



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.3.6. Adaptación del modelo de economía circular a un sector manufacturero de la investigación

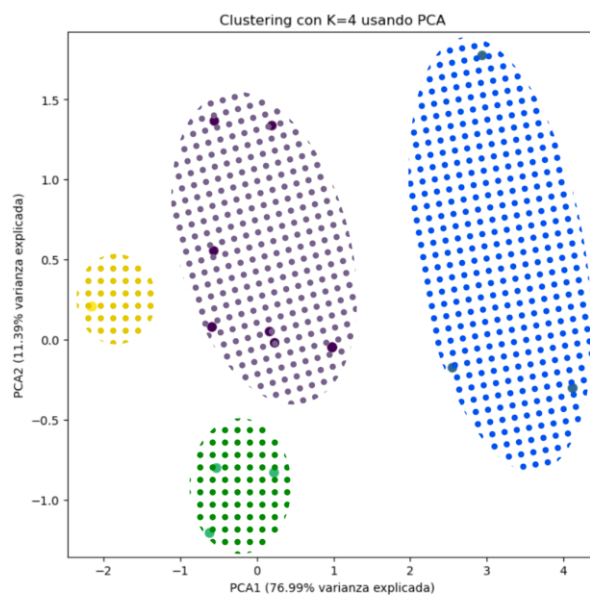
Para ajustar el modelo de economía circular a un caso específico de un sector manufacturero, en primer lugar, se consideran las cinco mejores opciones arrojadas por la técnica TOPSIS del apartado de caracterización. Los sectores de manufactura con mejores puntajes se pueden consultar en el numeral 3.2.6. Igualmente, en el numeral 3.2.7., se revisan los patrones de cada uno y se identifica que el sector de fabricación de productos químicos (D_20), es el que tiene una mayor población de organizaciones distribuidas en distintas fases del modelo, por lo tanto, es una buena opción para considerarlo en el estudio, a diferencia de las otras opciones.

Luego de elegir el sector representativo para desarrollar el modelo, se aplica la técnica Kmeans con $k=4$ para clusterizar sus datos. La intención es ajustar cuatro grupos con las organizaciones de la muestra para el sector de fabricación de productos químicos, que estén alineados a la lógica de los capítulos anteriores de esta investigación. Pero antes de este procedimiento, se lleva a cabo un proceso de normalización de datos, y se aplica el análisis de componentes principales (ACP), para ajustar su dimensionalidad en los componentes que mejor expliquen su varianza. Para este caso, son dos componentes que capturan la varianza total de los datos en un 88.38%.

En la figura 41, se visualiza la clusterización realizada al conjunto de datos del sector manufacturero elegido, en donde se aprecian cuatro clústers muy bien definidos. Los más reducidos de color amarillo y verde, representan a las organizaciones con un alto rendimiento financiero y circular (clúster amarillo), como también un bajo rendimiento en las finanzas y sin adaptarse a prácticas circulares (clúster verde). Los clústers de color morado y azul, son los más variables y distribuidos en el sistema, y representan a las empresas con un desempeño moderado o intermedio en las dos áreas de investigación.

Figura 41

Clústers del sector manufacturero de fabricación de productos químicos

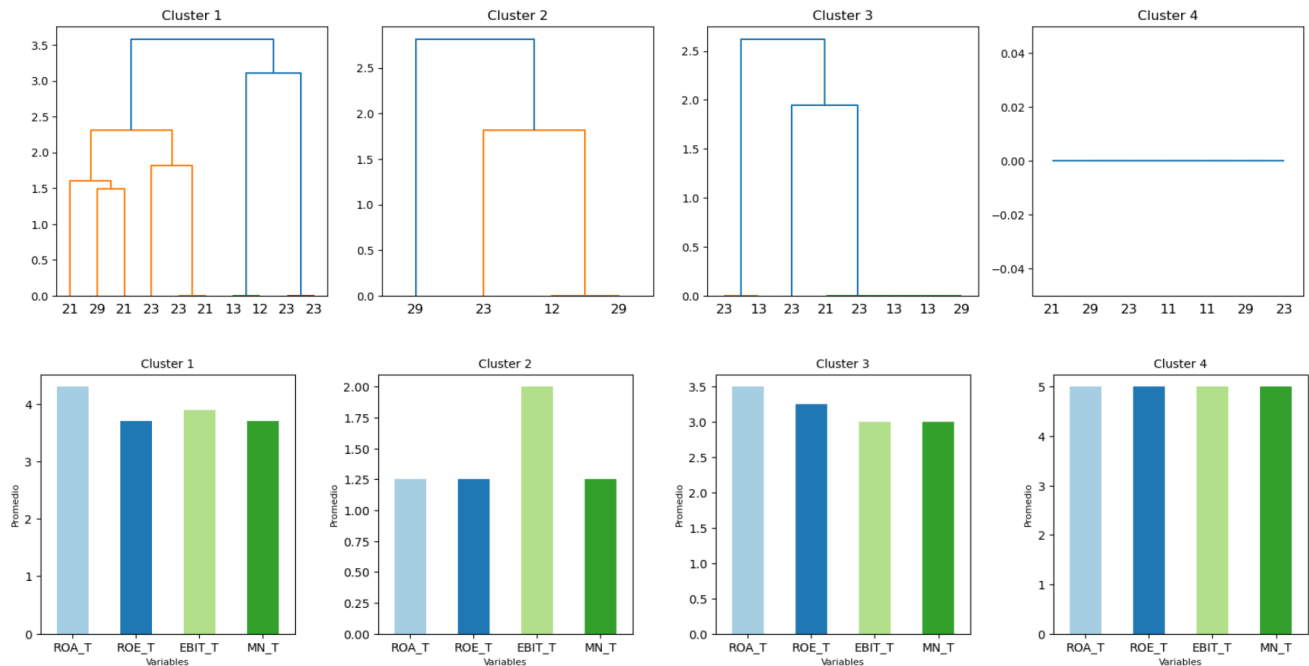


Nota. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se procede a caracterizar cada uno de los clústers, generando una gráfica combinada que se visualiza en la figura 42, que integra un dendrograma para cada grupo, y una gráfica de barras correspondiente al promedio de sus variables transformadas (ROA_T, ROE_T, MN_T, EBIT_T).

Figura 42

Visualizaciones para caracterizar los clústeres del sector manufacturero de fabricación de productos químicos



Nota. Fuente: Elaboración propia.

A partir de la figura 42, se aprecia que el clúster 4 es el que contiene las organizaciones líderes en este sector manufacturero, ya que sus variables transformadas según la gráfica de barras para dicho clúster tienen la más alta valoración que corresponde a 5. Estos resultados coinciden con el dendrograma que no presenta ninguna variación en los datos. El caso opuesto es para el clúster 1, que es el grupo de datos con más dispersión y variabilidad, mostrando una fluctuación de sus valoraciones entre 3.5 y 4, en donde se puede inferir que son organizaciones que se encuentran en proceso de transición a mejorar su rentabilidad y circularidad. En un nivel un poco más bajo, está en clúster 3, que fluctúa entre valoraciones de 3 a 3.5. Son organizaciones que presentan un rendimiento financiero deficiente, pero son conscientes que, implementando la circularidad, pueden superar las dificultades económicas. Y el peor escenario es para el clúster 2, el cual reúne a las organizaciones con los más bajos resultados financieros y circulares. Son aquellas que tienen que enfrentar grandes

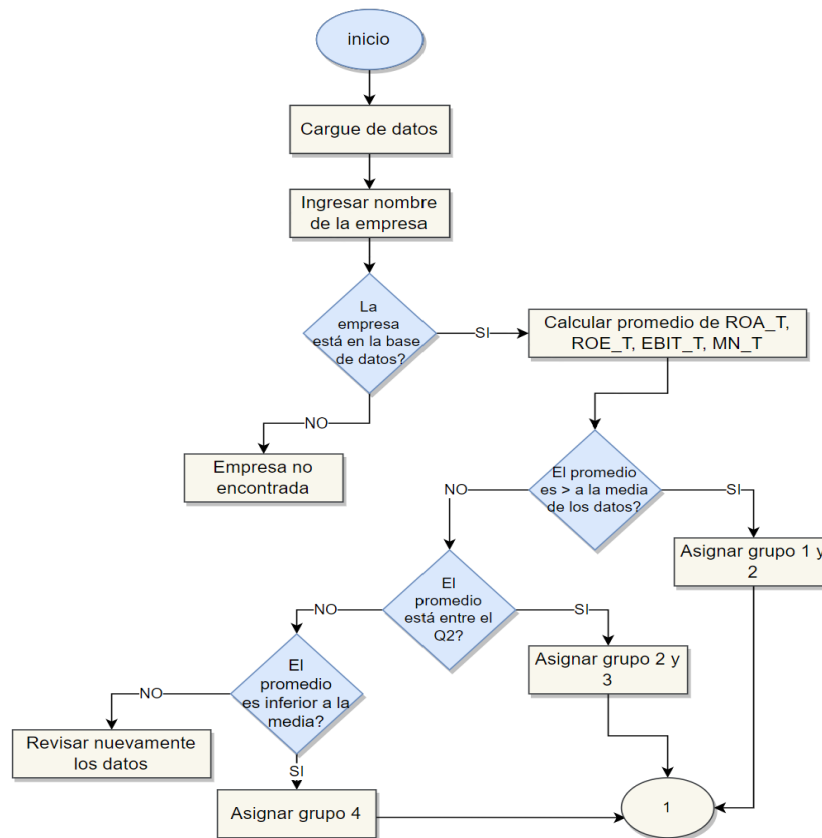
desafíos y requieren el apoyo y colaboración de otras para salir adelante y considerar la circularidad como un camino para lograr dichos objetivos. Sus valoraciones se encuentran entre 1.25 y 2.

3.3.7. Ejecución del modelo en una organización del sector manufacturero elegido

La estructura del modelo ajustado en el sector manufacturero de fabricación de productos químicos se puede visualizar en la figura 43 y 44. Cada figura corresponde a una sección del modelo.

Figura 43

Primera parte de la estructura del modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras

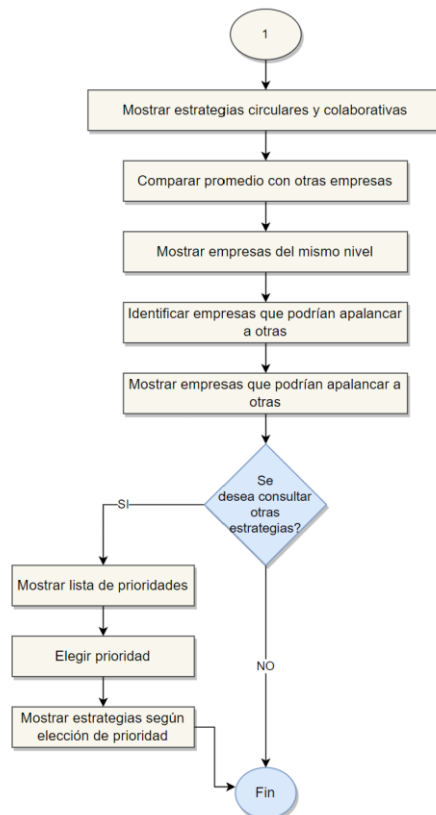


Nota. Fuente: Elaboración propia.

La primera parte que se visualiza en la figura 43, inicia con el cargue de datos, y luego continua con la validación si la empresa consultada se encuentra en la base de datos. Posteriormente, se calcula el promedio de sus variables financieras rentables y circulares con el fin de saber si cumple o no con las condiciones establecidas para clasificarlas en un clúster. Esta primera parte, refleja la dinámica de clasificación de las empresas según sus variables transformadas. Hay cuatro grupos dentro del modelo que conllevan a estrategias circulares y colaborativas, pero se desencadenan de unas condiciones relacionadas con la media de los datos. Esta lógica está asociada con los fundamentos conceptuales mencionados en el numeral 3.3.2.

Figura 44

Segunda parte de la estructura del modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras



Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la segunda parte del modelo y según la figura 44, se despliegan sus salidas tales como las estrategias circulares y colaborativas que están asociadas con el clúster elegido por la lógica inicial de la primera parte. Posteriormente, se hace una comparación de los resultados obtenidos de la empresa consultada, con todas las demás organizaciones que se encuentran en la base de datos para determinar las empresas

que tienen el mismo perfil, lo cual desencadena otra salida. Y finalmente, también se buscan las organizaciones líderes que son aquellas que cuentan con los mejores resultados de las variables transformadas, y se muestran como aquellas que pueden apalancar a otras por su buen desempeño financiero rentable y circular. Como paso opcional, si se desea conocer alguna otra estrategia, entonces se pide desplegar el listado de prioridades con el fin de activar aquellas asociadas a otros grupos por los cuales las organizaciones estén dispuestas a conocer

3.3.8. Representación del modelo por medio de un prototipo

Como parte del refinamiento del diseño del modelo, se crea un prototipo que presenta el compendio de todos los capítulos desarrollados en esta investigación. Se exponen tres principales entradas al diseño que son: 1. El ingreso a la caracterización de las cadenas de suministro manufactureras, 2. El ingreso a conocer las relaciones entre organizaciones, y 3. El ingreso a las simulaciones para mejorar la rentabilidad y circularidad (esta tercera parte, se retomará en los resultados de validación del numeral siguiente de este estudio). Esta primera parte se visualiza en la figura 45 que corresponde a la interfaz inicial.

Retomando el objetivo general de esta investigación que consiste en desarrollar un modelo que permita habilitar una estrategia colaborativa entre cadenas de suministro manufactureras, para establecer conexiones tendientes a mejorar sus rendimientos financieros rentables y su transición a una economía circular, este prototipo ilustra de manera efectiva cómo se reflejaría cada sección de este estudio relevante en una representación. Para cumplir el objetivo formulado, se requiere conocer el perfil de las organizaciones junto con las estrategias que podrían desarrollarse a nivel circular y colaborativo, pero también se necesita saber con qué organizaciones se podrían establecer las relaciones y conexiones. Estos dos puntos, se pueden desplegar de los primeros botones de la figura 45. Adicional a esto, para saber si se mejora la rentabilidad en las cadenas de suministro, se realizan simulaciones de supuestos financieros y circulares, que se despliegan del tercer botón visualizado en el prototipo de la figura 45.

Figura 45

Primera parte del prototipo del modelo



Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 46 y 47, se ilustra la representación de la segunda y tercera parte respectiva del prototipo del modelo. En el caso de la caracterización (ver figura 46), se destacan los atributos por localización y años de vigencia de las cadenas de suministro, igualmente los atributos de las variables transformadas que corresponden a la caracterización financiera y circular, y también, se da un espacio para las características por similitudes entre clústers de los datos de la investigación. Por otra parte, para mostrar las organizaciones que pueden ser relacionadas entre sí por pares y por apalancamiento, en la figura 47, se visualizan sus respectivas salidas.

Figura 46

Segunda parte del prototipo sobre la caracterización



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 47

Tercera parte del prototipo entre relaciones de cadenas de suministro



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.3.9. Conclusiones parciales

Se concluye en este apartado que el diseño del modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras se compone de sus entradas, salidas, condiciones, lógica construida a partir del resultado de cada uno de los capítulos de esta investigación, y diseño de prototipo. El modelo preliminar teórico, marca la pauta del número de clústers con sus respectivas características para cada uno, que luego se van a considerar al adaptar y ejecutar el modelo en el sector manufacturero determinado por el capítulo de caracterización de cadenas de suministro el cual es el sector de fabricación de sustancias y productos químicos.

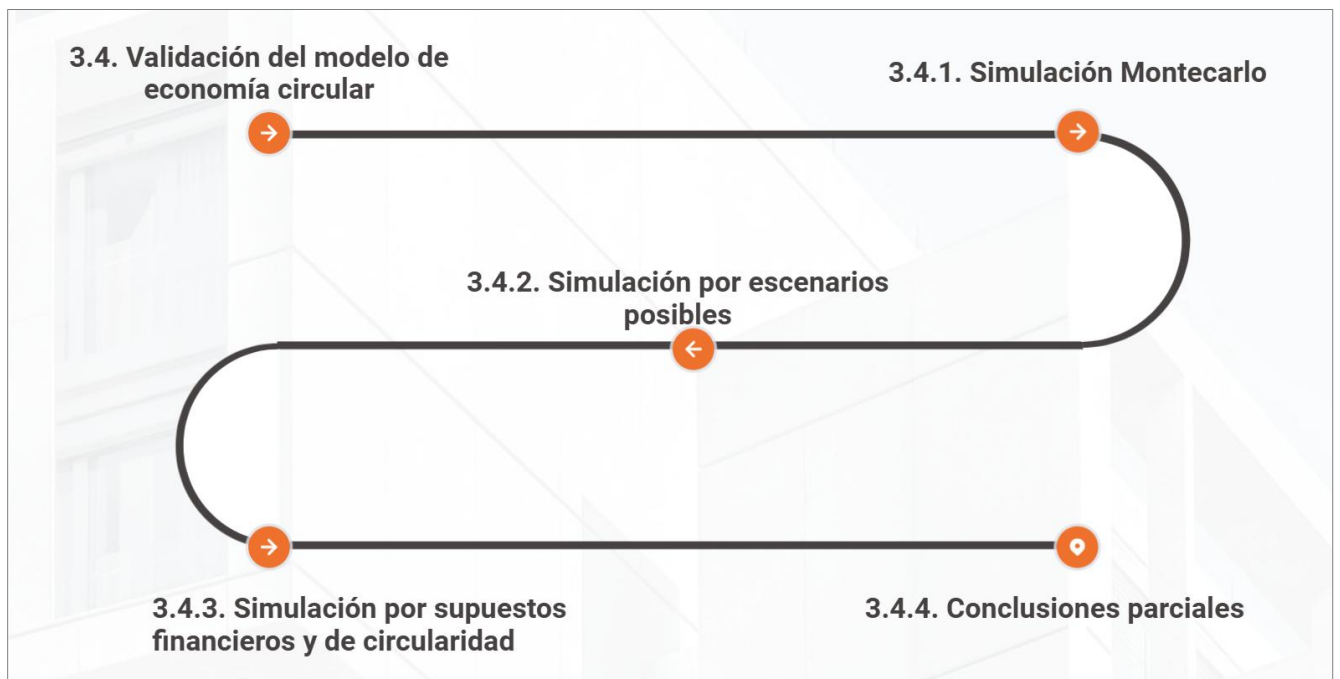
Por otra parte, el capítulo de componentes del modelo, guía este estudio para que todo se rija a partir de las variables transformadas. Estas variables serán las que conducirán a la elección de un determinado perfil para las organizaciones consultadas, que a su vez, arrojarán de acuerdo a ese perfil, una serie de recomendaciones de estrategias circulares y de estrategias colaborativas, acompañadas con la selección de todas las organizaciones que se encuentran en un mismo nivel, y también de las que son líderes en los atributos considerados por esta investigación que son el desempeño financiero rentable y sus prácticas circulares.

3.4. Validación del modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras

Para corroborar el modelo de la investigación, se emplean diferentes técnicas de simulación con el fin de asegurar que los resultados sean los esperados tal como se ha planeado. En la figura 48, se señala el orden de las técnicas a emplear. Se inicia con la simulación Montecarlo, seguido de la simulación por escenarios posibles, y luego con la simulación por supuestos financieros y de circularidad, cerrando con las conclusiones parciales. Este capítulo da respuesta al cuarto objetivo específico de la investigación que consiste en “validar el modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras”.

Figura 48

Hoja de ruta de la validación del modelo



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.4.1. Simulación Montecarlo

Con el objetivo de comprobar que los resultados que arroja el modelo son válidos, se emplea la técnica de Montecarlo, la cual es una técnica que utiliza un muestreo aleatorio para las variables de entrada con un tipo de distribución de probabilidad dependiendo la naturaleza de los datos. Esta técnica es muy útil cuando no se puede probar un fenómeno en la vida real con sus variables reales, sino que utiliza escenarios posibles que pueden darse con las características del escenario a ambientar por medio de muestras aleatorias. Esta técnica maneja una dinámica computacional que es iterativa. El número de iteraciones es necesario ingresarlo en el sistema, y sus resultados pueden presentar una distribución empírica en el caso de no determinar una distribución normal o alguna otra con respecto al comportamiento de los datos. Esta arroja los resultados del fenómeno que se está estudiando, y se pueden ver reflejados en una gráfica de ARI, como se visualiza en la figura 49.

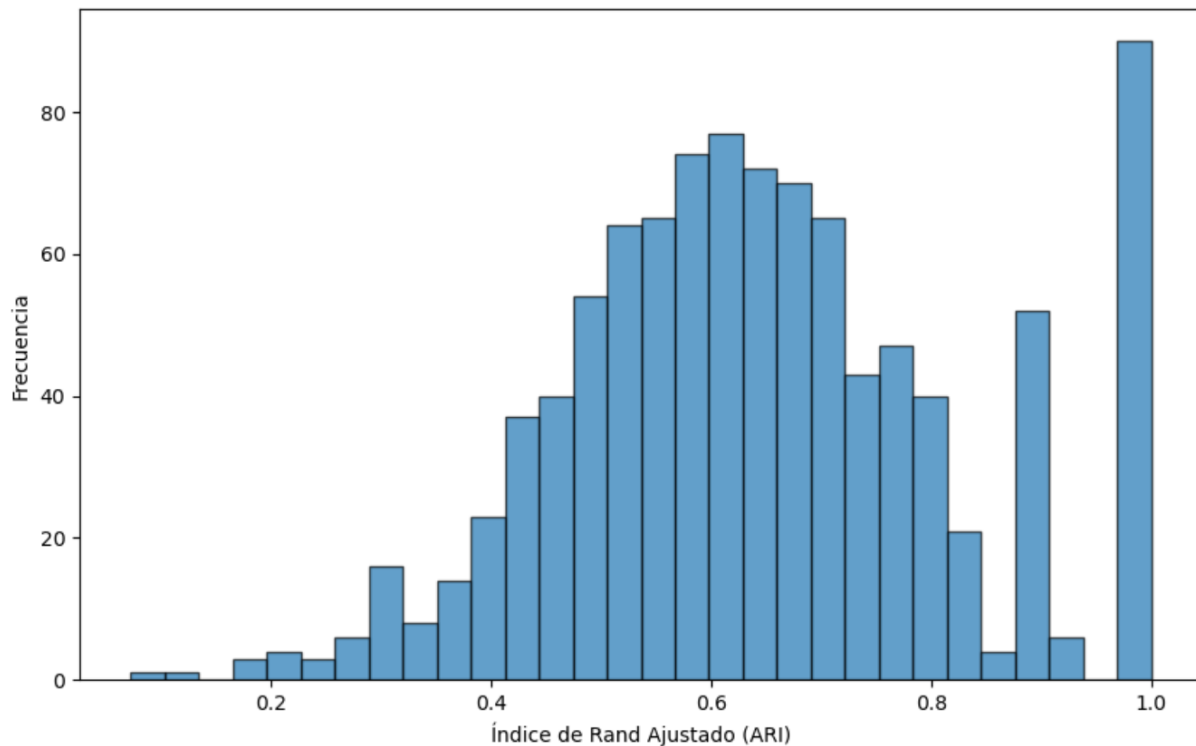
La simulación Montecarlo se aplica al procedimiento de la clusterización de Kmeans, que originalmente emplea las variables transformadas ROA_T, ROE_T, MN_T, y EBIT_T del sector manufacturero elegido para el desarrollo del modelo. Se lleva a cabo una estandarización de datos, para luego aplicar ACP (análisis de componentes principales) con el fin de reducir la dimensionalidad a dos componentes, y finalmente, se procede a clusterizar con la técnica Kmeans para $k = 4$ por ser cuatro clústers los detectados en el modelo preliminar teórico. Por todo lo anterior, la técnica de simulación lo que hará será replicar ese procedimiento, y utilizar un remuestreo de arranque simulando los datos de entrada del modelo, y con 1000 iteraciones, agrupará los datos aleatorios para validar si efectivamente es confiable el procedimiento de clusterización.

Con el fin de determinar la similitud de los grupos organizados por la simulación antes y después de llevar a cabo el remuestreo, se grafica el histograma que representa el ARI (ver figura 49), el cual expone sus resultados en un rango de 0 a 1 a través de sus barras distribuidas en el diagrama. Entre más cerca se encuentren a 1, significa un arreglo de datos perfecto, es decir, que el procedimiento simulado es perfectamente estable y muy robusto. Pero si los datos se localizan alrededor del cero, significa que el procedimiento simulado es muy variable e inestable, por lo tanto, su grado de aleatoriedad es muy alto. Para el caso de la investigación, los datos se establecen alrededor de 0.6 mostrando una baja inestabilidad. Por lo contrario, en algunas oportunidades el modelo simulado revela un ajuste perfecto de los datos remuestreados ubicándose en 1 y cerca de este valor.

Este enfoque se orienta a una distribución empírica ya que no se direcciona a ninguna distribución de probabilidad específica como se mencionó anteriormente. Y con respecto a las iteraciones, se procede a emplear 1000 para poder estimar con mayor precisión los resultados. Este número de iteraciones permite obtener una mayor confiabilidad en los hallazgos después de la corrida de la simulación Montecarlo. Si se quiere tener una mejor valoración del intervalo de confianza, entonces, un número de significativo de iteraciones podría ayudar a lograr este objetivo. Por otra parte, las variaciones que se presentan en la simulación podrían dar señales de mejorar el modelo, y para ello, habría que modificar el k que se le aplica a la técnica Kmeans, pero en este caso, se desea y se programa el procedimiento para ajustar cuatro grupos con el fin de encontrar una asociación con el número de clústers del modelo teórico preliminar.

Figura 49

Distribución del ARI con la simulación Montecarlo



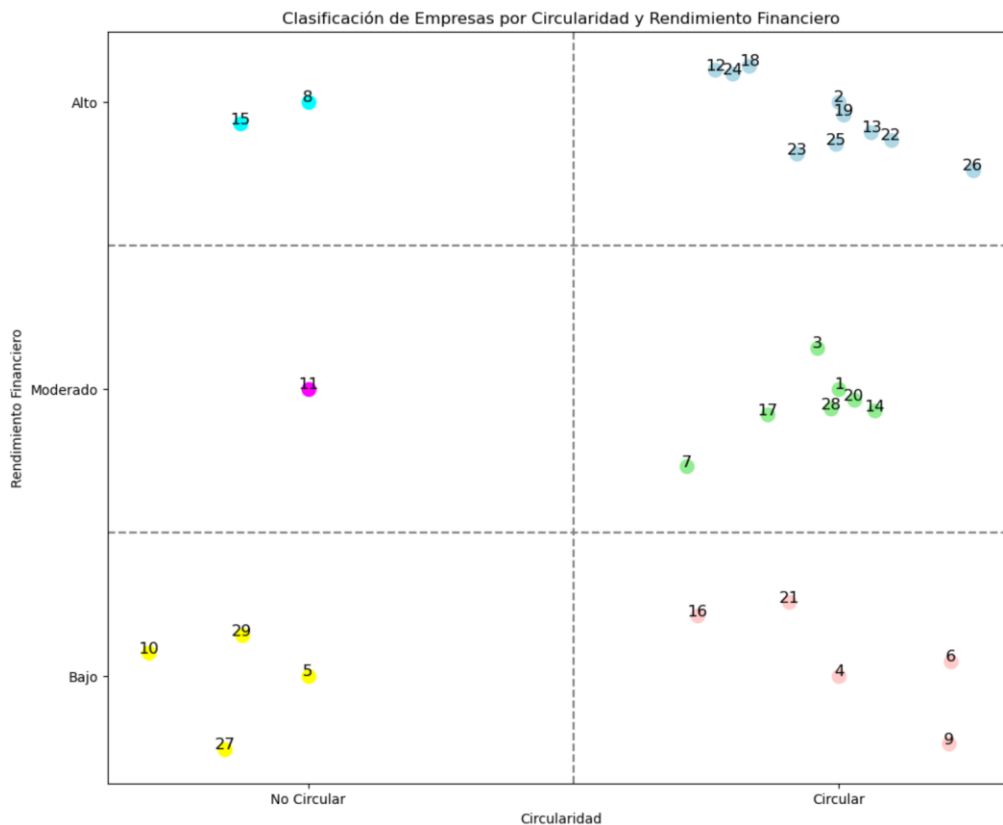
Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Simulación por escenarios posibles

La siguiente técnica empleada para validar el modelo de economía circular, es la simulación por escenarios posibles. A través de un algoritmo en el lenguaje de programación Python, se toman las variables de entrada y se buscan todas las salidas posibles de la base de datos cargada en el sistema. La intención de esta técnica es probar que cada una de las organizaciones que hacen parte del sector manufacturero elegido (sector 20, fabricación de sustancias y productos químicos) se ubiquen en uno de los cuadrantes que corresponde a sus características, teniendo en cuenta su desempeño financiero y sus prácticas circulares. Para la circularidad, se mapea que las organizaciones implementen la economía circular o el caso contrario. El sistema se divide en dos columnas para representar esas opciones de circularidad. Por otra parte, sobre el desempeño financiero, se mapea que una organización tenga un muy buen desempeño financiero (alto), o un intermedio o moderado desempeño, o en caso contrario, un deficiente desempeño (bajo). Para ello, el sistema se divide en tres filas representando cada uno de los escenarios para estas características. En la figura 50 se puede visualizar el sistema con las organizaciones distribuidas en los cuadrantes que conforma el sistema. Cada organización se representa por un número que corresponde al código CIU adjunto en la base de datos.

Figura 50

Simulación por distribución en escenarios posibles



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Al correr la simulación por escenarios posibles, se evidencia que cada organización de acuerdo con sus atributos financieros y circulares se ubica perfectamente en el cuadrante que le corresponde, haciendo notar que el modelo clasifica adecuadamente los elementos del sistema según sus componentes. Adicional a esto, los resultados que arroja el algoritmo representado por una gráfica de dispersión (Figura 50), muestran coherencia con los hallazgos detectados en el capítulo de caracterización de cadenas de suministro manufactureras. Igualmente, se alinean con el diseño y sus respectivas características expuestas en el capítulo anterior de esta investigación.

3.4.3. Simulación por supuestos financieros y de circularidad

Esta es la tercera simulación que se presenta para validar el modelo y comprobar que efectivamente al establecer una estrategia colaborativa entre cadenas de suministro, se permitirá mejorar su rentabilidad. Se realiza un algoritmo en donde se ingresan unos parámetros de entrada tales como Inversión inicial, % de reducción de costos, Incremento de ingresos, inversión compartida, tasa impositiva, ingresos, costos de producción, activos y capital. La salida de la simulación mostrará el ROA inicial, el ROA transformado por la inversión compartida, y la diferencia del ROA presentando su mejora gracias a la estrategia colaborativa. De la misma manera, se da una salida de simulación para las otras variables de la investigación (ver figura 51).

Figura 51

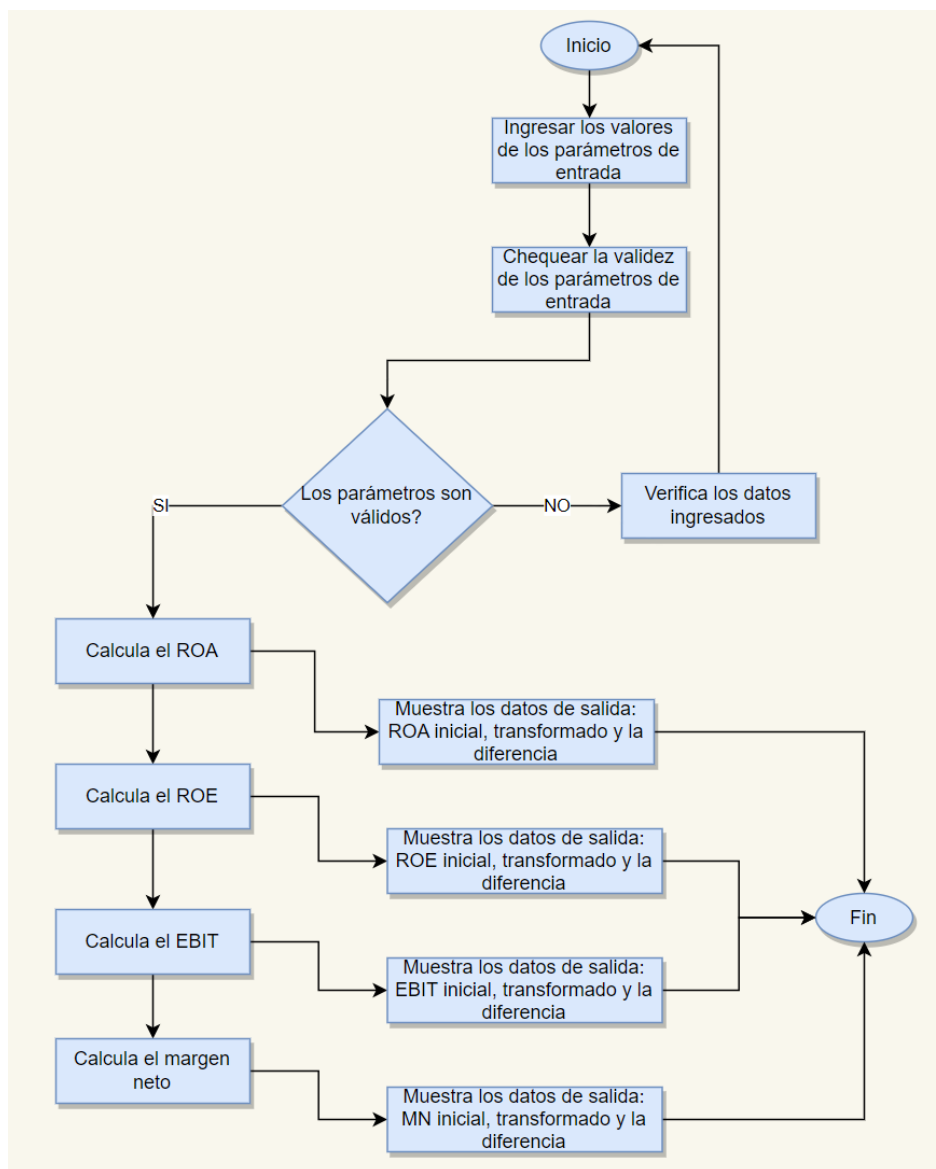
Simulación por supuestos financieros

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 52 se presenta un diagrama de flujo de la simulación por supuestos financieros que inicia con el ingreso de los parámetros de entrada, para luego hacer una evaluación de reconocimiento de validación de parámetros. Posteriormente se realiza el cálculo de los indicadores financieros, y se arrojan las salidas de sus resultados. Se presentan los valores sin aplicar estrategias colaborativas, luego con las estrategias, y finalmente su diferencia validando una mejora en su rentabilidad.

Figura 52

Diagrama de flujo de simulación por supuestos financieros



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. Conclusiones parciales

En este apartado de la investigación se valida el modelo de economía circular aplicando varias técnicas de simulación. Se concluye con el uso de la técnica de la simulación Montecarlo, que la clusterización de las cadenas de suministro muestran un ajuste moderado en sus resultados, lo cual se infiere que cuatro clústers representan los conglomerados que pueden alinearse con las características detectadas en el marco teórico y en la caracterización, contribuyendo a dar respuesta a los objetivos específicos del estudio. Estos clústers reúnen a las organizaciones de acuerdo con su rendimiento financiero rentable y circular, y gracias a la segunda técnica de simulación aplicada que es la simulación por escenarios posibles, se puede confirmar que el modelo clasifica de manera correcta a las organizaciones de acuerdo con los atributos que tiene cada una.

Con respecto a la última simulación de supuestos financieros, se concluye que se cumple la hipótesis de investigación que plantea una mejora en la rentabilidad de las cadenas de suministro, al emplear una estrategia colaborativa en el modelo de economía circular. Esto se percibe visualizando un incremento de los indicadores financieros rentables al compartir las inversiones con otras organizaciones y reducir el valor inicial de la inversión en prácticas circulares. Esta simulación muestra los indicadores financieros sin aplicar la estrategia colaborativa, y luego con la implicación de dicha estrategia, exponiendo su diferencia y marcando su mejora en las variables de investigación.

3.5. Discusión de resultados

En este apartado de la investigación se discutirán los hallazgos obtenidos en los capítulos de este estudio, alrededor de la pregunta de esta tesis: “¿De qué manera el desarrollo de un modelo colaborativo mejora la rentabilidad financiera y facilita la transición hacia una economía circular entre cadenas de suministro manufactureras?”.

Según la perspectiva de Zvezdov & Akha (2018), las cadenas de suministro que quieran lograr una adecuada gestión sostenible deberán actuar de manera cooperativa entre organizaciones, ya que en la actualidad están enfrentando entornos dinámicos, por lo tanto, es mandatorio que se forjen capacidades, pero a un nivel colectivo, de tal forma que los desafíos se puedan superar efectiva y eficientemente con el apoyo de asociaciones. Esta mirada de los autores referenciados apunta a darle una mayor importancia a las estrategias colaborativas entre cadenas de suministro si se quiere alcanzar la sostenibilidad. De manera convergente, Berlin, et al., (2022), manifiestan que la colaboración ha sido resaltada como una habilitadora para lograr la transición hacia la circularidad. Lo anterior, coincide con los resultados obtenidos en el marco teórico en donde se concluye que la integración de todos los stakeholders permite una mejor actuación ante la implementación de la economía circular.

La anterior premisa también se sustenta por Tosi et al., (2024) quienes presentan en su investigación la conclusión de que hay mayores probabilidades de ser circulares en la medida en que haya un enfoque directo en colaborar con otros actores de la cadena de suministro. Esto va alineado con lo que plantea Chi, et al., (2020), quienes enfatizan en que, para responder de manera ágil a la demanda del mercado, se debe trabajar en un entorno colaborativo, con el fin de satisfacer al cliente en sus necesidades. Esto muestra una convergencia con el modelo de economía circular desarrollado en esta tesis, ya que la intención de explorar una estrategia colaborativa entre cadenas de suministro manufactureras se realiza para mejorar su desempeño sostenible, que lleva implícito el buen funcionamiento de sus procesos para suplir los deseos de los clientes (Roh, et al., (2014). En la medida en que las organizaciones funcionen efectivamente y sean rentables, los clientes estarán satisfechos de los productos y servicios prestados.

En la misma línea, Abideen, et al., (2023), comparten su postura con los anteriores autores, adicionando que la colaboración es mejorada gracias a la implementación de herramientas tecnológicas y al compartir información que puede ser útil para las organizaciones. Esta perspectiva va encaminada hacia el desarrollo del modelo de economía circular de esta investigación, ya que, para poder llevarlo a cabo, se emplea la analítica de datos considerando un modelo descriptivo, predictivo y prescriptivo a la

hora de formular un diagnóstico para las organizaciones con relación a su desempeño financiero y circular. Predictivo, porque con las técnicas de machine learning de aprendizaje no supervisado, se pueden derivar clústers que predican su buen funcionamiento al asociarse con sus pares u organizaciones que las puedan apalancar. Y prescriptivo, ya que se recomienda una serie de estrategias de tipo circular y colaborativo para que sean implementadas, junto con la recomendación de con quien deben hacer dicha asociación por su similitud de características.

Lo anterior se acerca de manera contundente a la postura de Agrawal, et al. (2023), quienes exponen que la economía circular puede dar un significativo aporte a las organizaciones, siempre y cuando esté apoyada por la tecnología digital que mejorará sus prácticas permitiendo que se habilite de manera ágil, eficiente y efectiva la circularidad en los procesos de las cadenas de suministro. Y es por eso, que dentro de las estrategias colaborativas dentro de la propuesta preliminar, se consideran todas aquellas organizaciones que apunten a desarrollar tecnologías en pro de las estrategias circulares para alcanzar la rentabilidad. Construyendo una red entre las partes interesadas es que puede ser posible fortalecer la implementación de la circularidad en las cadenas de suministro.

Con relación a buscar una mejora en los procesos por medio de prácticas circulares, aplicando estrategias colaborativas, Coşkun, & Kazan, (2023), indican que aquellas organizaciones que busquen transformar sus procesos, su rentabilidad será significativamente mejorada siempre y cuando, esa transformación esté en línea con los objetivos estratégicos establecidos por la organización. Así como lo postulan Dias, & Ierapetritou, (2017), para tomar decisiones efectivas es necesario garantizar la optimización de los procesos buscando beneficios económicos, a la par de los beneficios ambientales y sociales que se puedan obtener en el cambio hacia una transición de una economía convencional a una circular.

A partir de todos los resultados obtenidos, y por todo lo anteriormente mencionado, se responde a la pregunta de investigación que es posible establecer una estrategia colaborativa en un entorno de circularidad buscando entre todas las partes involucradas beneficios financieros rentables, y permitiendo de esta manera que las cadenas de suministro sean productivas y competitivas en el mercado. La rentabilidad se puede incrementar en la medida en que se incorporen en los procesos de las organizaciones prácticas sostenibles circulares cooperativamente entre los stakeholders.

IV. Conclusiones finales de investigación

IV. Conclusiones finales de investigación

4. Conclusiones, aportes y recomendaciones

4.1. Conclusiones

Los hallazgos de este estudio mostraron que las cadenas de suministro que colaboren con otras podrán mejorar su rentabilidad y a su vez será más fácil alcanzar la circularidad cuando se establece un apoyo entre ellas que permita impulsarlas y apalancarlas hacia la economía circular. Se evidenció con las validaciones del estudio, que las variables transformadas ROA_T, ROE_T, EBIT_T y MN_T permitieron reflejar un diagnóstico del desempeño financiero y circular de las cadenas de suministro, mostrando un perfil de cada una de ellas, para luego agruparlas en diferentes clústers dependiendo de sus características elegidas en esta investigación focalizadas en la rentabilidad y en la circularidad.

Se evidenció la validación de la hipótesis planteada desde un inicio de esta investigación, que se enfoca en afirmar que un modelo de economía circular que incorpore variables de rentabilidad de cadena de suministro manufactureras, junto con variables de circularidad, permitirá establecer una estrategia colaborativa entre ellas para mejorar su rentabilidad y su transición a la circularidad. Esta validación se logró gracias al desarrollo de cada una de las fases del estudio, desde la revisión de la literatura, hasta la ejecución de las técnicas de simulación para la comprobación de los resultados del modelo, el cual se integró de variables transformadas entre dos áreas diferentes entre sí, pero complementarias para la interpretación de la investigación como son las finanzas y la economía circular.

Los hallazgos responden a la pregunta de investigación en donde se plantea el cómo el desarrollo de un modelo colaborativo entre cadenas de suministro manufactureras facilita la mejora de los rendimientos financieros y acelera la transición hacia una economía circular. Es por eso que gracias a la respuesta de cada uno de los objetivos específicos planteados, es que se determina la convergencia entre las estrategias de colaboración con el cambio de una economía lineal a una circular, que a su vez impulsa mejores rendimientos financieros, pero cuando hay un apoyo cooperativo entre organizaciones.

El primer objetivo específico planteó la identificación de las variables contenidas en el modelo. Se le dio respuesta a este propósito en el numeral 3.1. que permitió evidenciar la posibilidad de combinar variables financieras con la variable dicotómica circular. Se creó una lógica para explicar la dinámica del cambio de los resultados de las variables transformadas en cada una de las organizaciones, y luego se validó de manera estadística los resultados, complementando esta exploración de transformaciones con la contrastación por medio de una consulta a expertos en finanzas y economía circular que permitió confirmar la coherencia en el desarrollo de este objetivo. Las variables identificadas en la investigación fueron 4 tales como ROA_T, ROE_T, EBIT_T y MN_T.

El segundo propósito formulado fue para la caracterización de las cadenas de suministro manufactureras, dando respuesta a este objetivo en el numeral 3.2. del documento. En este punto se enfatizó inicialmente en revisar aspectos principales demográficos de las cadenas de suministro de la muestra, validando su distribución por departamentos y su clasificación según sus años de vigencia en categorías antiguas, intermedias y recientes. Posteriormente, se desarrolló un análisis de las características financieras, mostrando específicamente los resultados de los indicadores de rentabilidad. Luego, se presentó un análisis completo de economía circular para los sectores manufactureros en Colombia, para poderlo combinar con el análisis financiero realizado.

La cadena de suministro más relevante identificada en la caracterización de la investigación fue la cadena del sector manufacturero de fabricación de sustancias y productos químicos. Se eligió este sector por su amplia distribución geográfica por departamentos en Colombia. Igualmente, por su estabilidad y consolidación en el tiempo en el análisis de la caracterización de años de vigencia. Con relación a sus indicadores financieros y circulares, demostró un desempeño moderado por presentar en algunas organizaciones desafíos en dichas áreas. Pero a su vez, demostró ser uno de los sectores con mayores oportunidades de mejora en la colaboración circular ya que cuenta con un gran potencial para lograr la transición hacia la circularidad por su capacidad de innovación y adaptación, posicionamiento geográfico estratégico, y por las oportunidades para implementar estrategias colaborativas.

Este trabajo de caracterización se complementó con la implementación de una técnica de machine learning de aprendizaje no supervisado, que permitió clasificar a las cadenas de suministro en cuatro clústers. Este ejercicio se integró con la caracterización de cada uno de los conglomerados obtenidos en esta parte de los resultados de la

investigación. Y finalizó, con la aplicación de una técnica de métodos cuantitativos jerárquicos (TOPSIS) para indagar de esa caracterización, el top 5 de los sectores manufactureros colombianos más representativos según los perfiles de rentabilidad y circularidad evaluados para cada uno de ellos. Estos sectores fueron: el de elaboración de bebidas, de producción de metal, de producción de minerales, de producción de papel y cartón, y de producción de químicos. Se tuvo en cuenta en todos los procedimientos de este numeral, las variables identificadas en el numeral anterior.

Para darle respuesta al objetivo específico 3, se desarrolló en el numeral 3.3. la representación del modelo de economía circular para cadenas de suministro manufactureras. En este punto se presentaron las variables de entrada del modelo, con unos fundamentos conceptuales para su diseño. Este modelo mostró que se facilita la colaboración entre cadenas de suministro, al arrojar una hoja de ruta en donde se indican las organizaciones que podrían relacionarse entre sí, y que serían las más convenientes para establecer una cooperación, a partir de los análisis estadísticos de machine learning realizados. Este modelo también mostró que se conocen las estrategias sugeridas colaborativas que encajan con el perfil de cada cadena de suministro, y se muestran quienes podrían apalancar a otras por su alto desempeño circular. En esta medida, se propicia una información relevante para establecer colaboraciones significativas.

La validación de las salidas del modelo dio respuesta al último objetivo específico planteado, en donde se emplearon diferentes técnicas de simulación. El resultado que arrojaron estas técnicas tales como la simulación de Montecarlo, simulación de supuestos y por escenarios, mostraron que la reducción de costos en las cadenas de suministro manufactureras de la muestra identificada en la investigación se da al compartir estrategias y recursos con otras organizaciones, lo cual ocasiona que los indicadores de rentabilidad se incrementen en la medida en que los costos disminuyan. Al disminuir los costos, aumenta el margen bruto en el estado de resultados. Igualmente, el EBIT que es influenciado por los costos operacionales. Si estos indicadores incrementan, la rentabilidad mejora, y por lo tanto, se puede confirmar la solidez y confiabilidad del modelo de esta investigación.

4.2. Aportes

4.2.1. Aportes a la comunidad académica

Como aportes a la comunidad académica, este estudio presenta el ensamble entre los indicadores financieros rentables y métricas de circularidad que dejan contribuciones importantes en las investigaciones sobre este componente de la sostenibilidad que es la economía circular. Los académicos que empleen el modelo podrán evaluar a las cadenas de suministro manufactureras su nivel de desempeño de rentabilidad y circular, pero a su vez, también se podrá tener un diagnóstico de cada organización a la que se le aplique el modelo, junto con el grupo de organizaciones que se encuentran en su mismo nivel y las que pueden apalancar a otras, con el fin de conocer con quienes es posible realizar un relacionamiento con fines comunes según el perfil.

4.2.2. Aportes a la comunidad industrial

Con el fin de tomar decisiones informadas, la comunidad industrial también se puede beneficiar con el modelo de tal forma que conozca cómo va con respecto a la circularidad fusionada con la rentabilidad, y a partir del diagnóstico pueda actuar para poder trabajar en la reducción de costos y optimización de recursos adoptando las estrategias circulares y colaborativas que se sugieren en el modelo. También podrán construir redes empresariales para potenciar la circularidad que les permita impulsar un mejor rendimiento financiero para alcanzar la rentabilidad en un corto, mediano y largo plazo. Las empresas pueden ser más estratégicas si trabajan en conjunto velando por sus mismos intereses y apostándole por forjar un camino hacia la sostenibilidad.

4.2.3. Publicaciones y participación en eventos científicos

Como aportes adicionales al modelo y contribuciones a la comunidad académica e industrial, se mencionan las publicaciones, creación de semillero de investigación, participación como ponente en diversos eventos científicos, participación como ponente magistral y tallerista en conferencias nacionales e internacionales por parte de la autora de este estudio.

4.2.3.1. Publicaciones:

- Sector manufacturero en las cadenas de suministro colombianas desde un enfoque de economía circular. Ediciones EAN · Jul 11, 2023.
- Modelo integrado para proyectos complejos en cadenas de suministro de la industria de alimentos desde una óptica de economía circular. Editorial UPTC · Jan 1, 2022.
- A Look at Complexity in Projects: Rethinking for Circularity in Supply Chains. ISSRD · Sep 25, 2020.
- La innovación y la tecnología en las Pymes: una proyección en Santander (The innovation and technology in Pymes: A projection at Santander). Universidad EAN abril 24, 2020.

Publicaciones en revisión:

- Mapping Circularity: A Theoretical Proposal for the Evolution of Supply Chains in the Manufacturing Industry
- Clusters and Circularity: Shaping the Manufacturing Industry for the Economy of the Future
- From Design to Adaptation: A Circular Model for Sustainable Manufacturing

4.2.3.2. Participación en conferencias como ponente:

- III Congreso Internacional de Investigación en Competitividad, Sostenibilidad, y relaciones internacionales. Ponente. 5 de octubre del 2019.
- International Society for Scientific research and development. Septiembre 25 del 2020.
- V Congreso internacional en dirección y gestión de Proyectos: La perspectiva de la gestión de proyectos. 5 de noviembre de 2021.

- International Conference on Project Management 2022, 4 de Nov del 2022. La complejidad de las cadenas de suministro en la transformación hacia entornos sostenibles y circulares.
- International Conference on Project Management 2024, 4 de septiembre 2024. Conferencia 1: Complexity in Supply Chain Projects of the manufacturing and circularity.
- International Conference on Project Management 2024, 4 de septiembre 2024. Conferencia 2: Advancing in Artificial Intelligence and circularity to create a sustainable ecosystem in Colombia

4.2.3.3. Creación de semillero de investigación en la Universidad Santo Tomás

- Nombre del semillero: “Circularity in Supply Chains” abscrito al grupo de investigación SHIBUMI de código COL0113474 de la facultad de negocios internacionales de la división División de Ciencias Administrativas y Económicas con 32 integrantes.

4.2.3.4. Participación en congreso internacional como ponente magistral

- Conferencista magistral en el primer encuentro internacional de semilleros de investigación ABRIENDO FRONTERAS, Popayán, 6 de mayo del 2022. Nombre de la conferencia magistral: La importancia de la investigación sobre economía circular para apoyar a las organizaciones en esta era.

4.2.3.5. Participación en congreso internacional como tallerista

- Herramientas bibliométricas para investigadores y la importancia de la economía circular. Popayán, 5 de mayo del 2022.

4.3. Recomendaciones

4.3.1. Para la comunidad académica

Para la comunidad académica se recomienda seguir investigando sobre la economía circular conectada con métricas financieras en otros sectores económicos, con el fin de contribuir al avance progresivo en Colombia de la transición hacia la circularidad, pero considerando de manera significativa el foco financiero que posibilitará de mejor manera la consecución de prácticas circulares en las cadenas de suministro conectadas entre sí. Por esto motivo, es importante fomentar las relaciones estratégicas entre instituciones académicas y empresariales para apoyar la colaboración entre las partes interesadas a potenciar tanto la sostenibilidad como la rentabilidad.

De igual manera, es necesario capacitar a los futuros profesionales en las instituciones académicas sobre la importancia de implementar prácticas circulares conectadas con estrategias colaborativas. Por lo tanto, se recomienda que se actualicen los programas educativos de las universidades, de tal forma que dentro de su contenido académico tengan en consideración cátedras sobre la transición de la economía circular en cadenas de suministro. Se pueden proponer proyectos de tipo práctico, estudios de casos en empresas asociadas a las universidades, y simulaciones que estimulen la implementación de la circularidad en diferentes escenarios industriales. Los futuros líderes deben ser quienes impulsen con mayor auge la sostenibilidad por medio de la economía circular.

4.3.2. Para la comunidad industrial

Para la comunidad industrial, se recomienda implementar prácticas colaborativas circulares con el fin de compartir recursos, divulgar innovaciones convenientes para todas las partes, y trabajar por la reducción de los desperdicios. En la medida en que se compartan entre cadenas de suministro las mejores prácticas con relación a la circularidad, se contribuirá significativamente en la transformación hacia la mejora de la sostenibilidad, permitiendo a su vez alcanzar la resiliencia, disminuir costos y reducir la escasez de materia prima, puntos críticos en el sector manufacturero que deben ser considerados con mayor relevancia.

También, es esencial que la comunidad empresarial participe de manera activa en foros y redes circulares que se centren en mejorar la sostenibilidad. La mejora continua se basa en detectar en qué estado se encuentran las organizaciones y a partir de ese punto, superarse buscando la forma de aprender de las mejores prácticas y de otras experiencias. Es por ello tan relevante trabajar de manera colaborativa entre empresas. Por la misma línea, se recomienda impulsar la inversión en innovación y tecnología, ya que, para tener éxito en la implementación de prácticas circulares, se requiere tener una trazabilidad en toda la cadena de suministro, y poder optimizar las operaciones. Esto se logra de manera más efectiva con el monitoreo del uso de los recursos gracias a herramientas digitales.

Tanto para la comunidad académica como para la comunidad industrial, se recomienda cerrar la brecha entre la teoría y la práctica de modelos relacionados con la economía circular y la sostenibilidad. Esto se logra con la solidez de asociaciones entre las partes, que permitan impulsar iniciativas de investigación y desarrollo sobre la transición y avance de la circularidad en el mundo real. Lo importante en la sinergia que se logre es trabajar en pro de la mejora continua, buscando una evolución que vaya a la par con los cambios tecnológicos y condiciones detectadas por el mercado. Solo trabajando en equipo es que se puede avanzar significativamente en la economía circular.

V. Referencias y Anexos

V. Referencias y Anexos

Referencias

- Aarikka-Stenroos, L., Chiaroni, D., Kaipainen, J., & Urbinati, A. (2022). Companies' circular business models enabled by supply chain collaborations: An empirical-based framework, synthesis, and research agenda. *Industrial Marketing Management*, 105, 322–339. <https://doi.org/10.1016/J.INDMARMAN.2022.06.015>
- Abideen, A. Z., Sorooshian, S., Sundram, V. P. K., & Mohammed, A. (2023). Collaborative insights on horizontal logistics to integrate supply chain planning and transportation logistics planning – A systematic review and thematic mapping. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9(2), 100066. <https://doi.org/10.1016/J.JOITMC.2023.100066>
- Acosta-Santoyo, G., Treviño-Reséndez, J., Robles, I., Godínez, L. A., & García-Espinoza, J. D. (2024). A review on recent environmental electrochemistry approaches for the consolidation of a circular economy model. *Chemosphere*, 346, 140573. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2023.140573>
- Adams, D., Donovan, J., & Topple, C. (2021). Achieving sustainability in food manufacturing operations and their supply chains: Key insights from a systematic literature review. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 1491–1499. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2021.08.019>
- Agrawal, R., Surendra Yadav, V., Majumdar, A., Kumar, A., Luthra, S., & Arturo Garza-Reyes, J. (2023). Opportunities for disruptive digital technologies to ensure circularity in supply Chain: A critical review of drivers, barriers and challenges. *Computers & Industrial Engineering*, 178, 109140. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2023.109140>
- Agrawal, S., & Singh, R. K. (2019). Analyzing disposition decisions for sustainable reverse logistics: Triple Bottom Line approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 150, 104448. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.104448>
- Agyabeng-Mensah, Y., Tang, L., Afum, E., Baah, C., & Dacosta, E. (2021). Organisational identity and circular economy: Are inter and intra organisational learning, lean management and zero waste practices worth pursuing? *Sustainable Production and Consumption*, 28, 648–662. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2021.06.018>
- Alamerew, Y., & Brissaud, D. (2020). Modelling Reverse Supply Chain through System Dynamics for Realizing the Transition towards the Circular Economy: A Case Study on Electric Vehicle Batteries, *Journal of Cleaner Production*, 254, 120025. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120025.
- Al-Saidi, M., Das, P., & Saadaoui, I. (2021). Circular Economy in Basic Supply: Framing the Approach for the Water and Food Sectors of the Gulf Cooperation Council Countries. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1273–1285. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2021.03.004>

- Amoozad Mahdiraji, H., Yafthyan, F., Abbasi-Kamardi, A., & Garza-Reyes, J. A. (2022). Investigating potential interventions on disruptive impacts of Industry 4.0 technologies in circular supply chains: Evidence from SMEs of an emerging economy. *Computers & Industrial Engineering*, 174, 108753. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2022.108753>
- Andersen, M. (2007). An Introductory Note on the Environmental Economics of the Circular Economy, *Sustainability Science*, 2(1), 133-140. DOI: 10.1007/s11625-006-0013-6.
- Asif, M., Bruque-Cámara, S., & Calvo, F. (2018). A Collaborative Framework for Transitioning to Circular Manufacturing Systems, *Journal of Cleaner Production*, 196, 758-773. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.06.150.
- Assid, M., Raza, A., & Ahmed, M. (2023). Joint Investments in Technology and Infrastructure: A Pathway to Enhanced Supply Chain Resilience, *Annals of Operations Research*. DOI: 10.1007/s10479-023-05176-7.
- Atabaki, M. S., Mohammadi, M., & Naderi, B. (2020). New robust optimization models for closed-loop supply chain of durable products: Towards a circular economy. *Computers & Industrial Engineering*, 146, 106520. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2020.106520>
- Bag, S., Gupta, S., & Luo, D. (2021). Collaborative Approaches for Sustainable Supply Chain Management, *Journal of Business Research*, 123, 123-136. DOI: 10.1016/j.jbusres.2020.09.057.
- Bai, C., & Sarkis, J. (2013). Integrating sustainability into supplier selection with grey system and rough set methodologies, *International Journal of Production Economics*, 146, 259-272.
- Barbosa-Póvoa, A. P., da Silva, C., & Carvalho, A. (2018). Opportunities and challenges in sustainable supply chain: An operations research perspective. *European Journal of Operational Research*, 268(2), 399–431. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2017.10.036>
- Berlin, D., Feldmann, A., & Nuur, C. (2022). Supply network collaborations in a circular economy: A case study of Swedish steel recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 179, 106112. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.106112>
- Bimpizas-Pinis, M., Calzolari, T., & Genovese, A. (2022). Exploring the transition towards circular supply chains through the arcs of integration. *International Journal of Production Economics*, 108666. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2022.108666>
- Blasi, S., Brigato, F., & Sedita, G. (2021). Eco-Innovation and Circular Economy in the Framework of Corporate Social Responsibility: The Role of Organizational Innovations, *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 3648-3663. DOI: 10.1002/bse.2828.
- Blome, C., Schoenherr, T., & Eckstein, D. (2014). The impact of knowledge transfer and complexity on supply chain flexibility: A knowledge-based view. *International Journal of Production Economics*, 147(PART B), 307–316. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2013.02.028>
- Bocken, N. M. P., Schuit, C. S. C., & Kraaijenhagen, C. (2018). Experimenting with a circular business model: Lessons from eight cases. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 28, 79–95. <https://doi.org/10.1016/J.EIST.2018.02.001>

- Calicchio Berardi, P., & Peregrino de Brito, R. (2021). Supply chain collaboration for a circular economy - From transition to continuous improvement. *Journal of Cleaner Production*, 328, 129511. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.129511>
- Ceschin, F., & Gaziulusoy, A. (2021). Monitoring the Adoption of Circularity in Supply Chains: A Content Analysis Approach, *Journal of Industrial Ecology*, 25(2), 386-402. DOI: 10.1111/jiec.13053.
- Cheng, C., Kamble, S., & Belhadi, A. (2022). Linkages between big data analytics, circular economy, sustainable supply chain flexibility, and sustainable performance in manufacturing firms, *International Journal of Production Research*, 60, 6908–6922, 2022. DOI: 10.1080/00207543.2021.1906971.
- Chi, M., Huang, R., & George, J. F. (2020). Collaboration in demand-driven supply chain: Based on a perspective of governance and IT-business strategic alignment. *International Journal of Information Management*, 52, 102062. <https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2019.102062>
- Circle Economy. (2023). The Circularity Gap Report 2023. Circle Economy. www.circularity-gap.world
- Cooney, R., de Sousa, D. B., Fernández-Ríos, A., Mellett, S., Rowan, N., Morse, A. P., Hayes, M., Laso, J., Regueiro, L., Wan, A. H., & Clifford, E. (2023). A circular economy framework for seafood waste valorisation to meet challenges and opportunities for intensive production and sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 392, 136283. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.136283>
- Coşkun, S. S., & Kazan, H. (2023). Bayesian analysis of the relationship between process improvement practices and procurement maturity. *Computers & Industrial Engineering*, 181, 109297. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2023.109297>
- Coulon, R. (2020). Circular Economy and Financial Performance: Analyzing the Relationship between Operational Efficiency and Financial Metrics, *Journal of Cleaner Production*, 258, 120569. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120569
- Creswell, J. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, 4th ed. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Croom, S., Romano, P., & Giannakis, M. (2018). Sustainability and Circularity in Business Practices: A Systematic Review, *International Journal of Operations & Production Management*, 38(8), 1939-1961. DOI: 10.1108/IJOPM-02-2017-0093.
- Cruz, E. F., & Rosado da Cruz, A. M. (2023). Digital solutions for engaging end-consumers in the circular economy of the textile and clothing value chain - A systematic review. *Cleaner and Responsible Consumption*, 11, 100138. <https://doi.org/10.1016/J.CLRC.2023.100138>
- De Lima, F. A., & Seuring, S. (2023). A Delphi study examining risk and uncertainty management in circular supply chains. *International Journal of Production Economics*, 258, 108810. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2023.108810>

De Souza Mello Gonçalves, L., et al., (2022). How the Circular Economy is Changing the Game for Brands, *The Branding Journal*. <https://www.thebrandingjournal.com/articles/how-the-circular-economy-is-changing-the-game-for-brands/>.

Debnath, A., & Sarkar, B. (2023). Effect of circular economy for waste nullification under a sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135477. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.135477>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2023). Octavo reporte de economía circular. DANE.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2024). Encuesta Anual Manufacturera (EAM) - Información 2022. <https://www.dane.gov.co>

Di Vaio, A., Varriale, D., & Truant, S. (2021). Financing Circular Economy: Drivers, Barriers, and Opportunities, *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 3823-3836. DOI: 10.1002/bse.2866.

Dias, L. S., & Ierapetritou, M. G. (2017). From process control to supply chain management: An overview of integrated decision-making strategies. *Computers & Chemical Engineering*, 106, 826–835. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.02.006>

Ding, L., Wang, T., & Chan, P. W. (2023). Forward and reverse logistics for circular economy in construction: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 388, 135981. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.135981>

Dutta, P., Talaulikar, S., Xavier, V., & Kapoor, S. (2021). Fostering reverse logistics in India by prominent barrier identification and strategy implementation to promote circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126241. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126241>

Feng, F., & Goli, A. (2023). Leveraging recycled materials for enhanced profitability and environmental impact in manufacturing, *World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/reports/leveraging-recycled-materials-2023>.

Fontoura, P., & Coelho, A. (2022). How to boost green innovation and performance through collaboration in the supply chain: Insights into a more sustainable economy. *Journal of Cleaner Production*, 359, 132005. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.132005>

Fundación Ellen MacArthur, (2013). Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. Ellen MacArthur Foundation.

Ganesan, R. (2015). The Profitable Supply Chain. *The Profitable Supply Chain*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-0526-6>

Gao, X., & Cao, C. (2020). A novel multi-objective scenario-based optimization model for sustainable reverse logistics supply chain network redesign considering facility reconstruction. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122405. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.122405>

- García-Reyes, H., Avilés-González, J., & Avilés-Sacoto, S. V. (2022). A Model to Become a Supply Chain 4.0 Based on a Digital Maturity Perspective. *Procedia Computer Science*, 200, 1058–1067. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2022.01.305>
- Garza-Reyes, J. (2021). Circularity Effectiveness Index: A Tool for Measuring the Adoption of Circular Economy Practices in Manufacturing Organizations, *Journal of Cleaner Production*, 298, 126749. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126749.
- Geissdoerfer, M., Morioka, S. N., de Carvalho, M. M., & Evans, S. (2018). Business models and supply chains for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 190, 712–721. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.04.159>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., & Hultink, E. (2017). The Circular Economy – A New Sustainability Paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048.
- Ghanbarzadeh-Shams, M., Ghasemy Yaghin, R., & Sadeghi, A. H. (2022). A hybrid fuzzy multi-objective model for carpet production planning with reverse logistics under uncertainty. *Socio-Economic Planning Sciences*, 83, 101344. <https://doi.org/10.1016/J.SEPS.2022.101344>
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A Review on Circular Economy: The Expected Transition to a Balanced Interplay of Environmental and Economic Systems, *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32.
- Giannoccaro, I. (2015). Adaptive supply chains in industrial districts: A complexity science approach focused on learning. *International Journal of Production Economics*, 170, 576–589. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2015.01.004>
- Gonçalves, L., et al., (2022). Challenges and Opportunities in Achieving Profitability through Circular Economy Practices, *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 1901-1915. DOI: 10.1007/s11356-021-15329-2.
- Govindan, K., & Gholizadeh, H. (2021). Robust network design for sustainable-resilient reverse logistics network using big data: A case study of end-of-life vehicles. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 149, 102279. <https://doi.org/10.1016/J.TRE.2021.102279>
- Govindan, K., & Soleimani, H. (2017). A review of reverse logistics and closed-loop supply chains: a *Journal of Cleaner Production* focus. *Journal of Cleaner Production*, 142, 371–384. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.03.126>
- Govindan, K., Salehian, F., Kian, H., Hosseini, S. T., & Mina, H. (2023). A location-inventory-routing problem to design a circular closed-loop supply chain network with carbon tax policy for achieving circular economy: An augmented epsilon-constraint approach. *International Journal of Production Economics*, 257, 108771. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2023.108771>
- Grudinschi, D., Sintonen, S., & Hallikas, J. (2014). Relationship risk perception and determinants of the collaboration fluency of buyer–supplier relationships in public service procurement. *Journal*

of Purchasing and Supply Management, 20(2), 82–91.
<https://doi.org/10.1016/J.PURSUP.2014.03.004>

Gu, Y., Zhang, X., Wang, L., & Li, Z. (2024). Circular Economy Practices and Financial Performance: Evidence from the Manufacturing Sector, *Journal of Cleaner Production*, 389, 124789. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.124789.

Guggeri, E. M., Ham, C., Silveyra, P., Rossit, D. A., & Piñeyro, P. (2023). Goal programming and multi-criteria methods in remanufacturing and reverse logistics: Systematic literature review and survey. *Computers & Industrial Engineering*, 185, 109587.
<https://doi.org/10.1016/J.CIE.2023.109587>

Guo, Y., Yu, J., Allaoui, H., & Choudhary, A. (2022). Lateral collaboration with cost-sharing in sustainable supply chain optimisation: A combinatorial framework. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 157, 102593.
<https://doi.org/10.1016/J.TRE.2021.102593>

Gupta, H., Kumar, A., & Wasan, P. (2021). Industry 4.0, cleaner production and circular economy: An integrative framework for evaluating ethical and sustainable business performance of manufacturing organizations. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126253.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126253>

Halstenberg, F., De Andrade, M., & Vermeulen, B. (2019). Evaluating Financial Performance in Circular Economy Business Models: A Framework for Assessing the Viability and Profitability of Circular Initiatives, *Journal of Cleaner Production*, 231, 1161-1173. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.175.

Han, W., Huang, Y., Hughes, M., & Zhang, M. (2021). The trade-off between trust and distrust in supply chain collaboration. *Industrial Marketing Management*, 98, 93–104.
<https://doi.org/10.1016/J.INDMARMAN.2021.08.005>

He, X., Liu, Y., & Li, Z. (2022). Circular Economy Practices and Financial Outcomes in Manufacturing: A Comprehensive Review, *Journal of Industrial Ecology*, 26(2), 450-468. DOI: 10.1111/jiec.13256.

Hellström, D., & Olsson, J. (2024). Let's go thrift shopping: Exploring circular business model innovation in fashion retail. *Technological Forecasting and Social Change*, 198, 123000.
<https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2023.123000>

Herczeg, G., Akkerman, R., & Hauschild, M. Z. (2018). Supply chain collaboration in industrial symbiosis networks. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1058–1067.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.10.046>

Herrador, M., & Van, M. L. (2024). Circular economy strategies in the ASEAN region: A comparative study. *Science of The Total Environment*, 908, 168280.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.168280>

- Ho, T., Kumar, A., & Shiwakoti, N. (2020). Supply chain collaboration and performance: an empirical study of maturity model. *SN Applied Sciences*, 2(4). <https://doi.org/10.1007/S42452-020-2468-Y/FULLTEXT.HTML>
- Horbach, J., & Rammer, C. (2020). Circular Economy and Innovation: Impacts on Firm Performance, *Research Policy*, 49(1), 103910. DOI: 10.1016/j.respol.2019.103910.
- Hosseinnezhad, D., Nugroho, Y. K., & Heavey, C. (2023). Horizontal collaboration between suppliers to mitigate supply chain disruption: A secure resource sharing strategy. *Computers & Industrial Engineering*, 177, 109088. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2023.109088>
- Howard, M., Böhm, S., & Eatherley, D. (2022). Systems resilience and SME multilevel challenges: A place-based conceptualization of the circular economy. *Journal of Business Research*, 145, 757–768. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2022.03.014>
- Hysa, f., Kruja, M., & Rehman, A., & Laurenti, E. (2020). Circular economy innovation and environmental sustainability impact on economic growth: An integrated model for sustainable development, *Journal of Cleaner Production*, 276, DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123213.
- Jackson, P. (2023). The Importance of Expert Validation in Research: Sample Size Considerations, *Research Methodology Journal*, 45(2), 245-259. DOI: 10.1016/j.rmj.2023.02.004.
- Johnson, P. F., & Klassen, R. D. (2022). New directions for research in green public procurement: The challenge of inter-stakeholder tensions. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 3, 100017. <https://doi.org/10.1016/J.CLSCN.2021.100017>
- Karali, S., & Shah, D. (2022). Optimizing Resource Utilization through Circular Economy Strategies: Financial and Operational Benefits, *International Journal of Production Economics*, 248. DOI: 10.1016/j.ijpe.2022.108410.
- Katsaliaki, K., Kumar, S., & Loulos, V. (2024). Supply chain coopetition: A review of structures, mechanisms and dynamics. *International Journal of Production Economics*, 267, 109057. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2023.109057>
- Kazantsev, N., Petrovskiy, O., & Müller, J. M. (2023). From supply chains towards manufacturing ecosystems: A system dynamics model. *Technological Forecasting and Social Change*, 197, 122917. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2023.122917>
- Khan, A. A., & Abonyi, J. (2022). Information sharing in supply chains – Interoperability in an era of circular economy. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 5, 100074. <https://doi.org/10.1016/J.CLSCN.2022.100074>
- Khorshidvand, B., Guitouni, A., Govindan, K., & Soleimani, H. (2023). Pricing strategies in a dual-channel green closed-loop supply chain considering incentivized recycling and circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 423, 138738. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.138738>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions, *Resources, Conservation & Recycling*, 127, 221-232. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.

- Konar S., & Cohen, M. (2001). Does the Market Value Environmental Performance? The Review of Economics and Statistics, 83(2), 281-289, 2001. DOI: 10.1162/00346530151143815.
- Kristensen, H. S., & Mosgaard, M. A. (2020). A review of micro level indicators for a circular economy – moving away from the three dimensions of sustainability? Journal of Cleaner Production, 243, 118531. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118531>
- Kristensen, H. S., Mosgaard, M. A., & Remmen, A. (2021). Circular public procurement practices in Danish municipalities. Journal of Cleaner Production, 281, 124962. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124962>
- Kumar, P., Singh, R. K., & Kumar, V. (2021). Managing supply chains for sustainable operations in the era of industry 4.0 and circular economy: Analysis of barriers. Resources, Conservation and Recycling, 164, 105215. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2020.105215>
- Lahane, S., & Kant, R. (2022). Investigating the circular supply chain implementation challenges using Pythagorean Fuzzy AHP approach. Materials Today: Proceedings. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.09.189>
- Lewandowski, M. (2016). Designing the Business Models for Circular Economy—Towards the Conceptual Framework, Sustainability, 8(1), 43-56. DOI: 10.3390/su8010043.
- Lindsey Hall, K. K., Qi, J. (Miracle), Richey, R. G., & Patil, R. K. (2022). Collaboration, feedback, and performance: Supply chain insights from service-dominant logic. Journal of Business Research, 146, 385–397. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2022.03.055>
- Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Latan, H., Chiappetta Jabbour, C. J., & Seles, B. M. R. P. (2023). Does applying a circular business model lead to organizational resilience? Mediating effects of industry 4.0 and customers integration. Technological Forecasting and Social Change, 194, 122672. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2023.122672>
- Lucas, G., & Noordewier, T. (2016). Extending Product Lifecycles: The Role of Circular Economy in Reducing Costs and Enhancing Efficiency, Journal of Industrial Ecology, 20(4), 926-940. DOI: 10.1111/jiec.12461.
- Lüdeke-Freund, F., Gold, S., & Bocken, N. (2019). A Review and Typology of Circular Economy Business Model Patterns, Journal of Industrial Ecology, 23(1), 36-61. DOI: 10.1111/jiec.12763.
- Lukanima, M. (2023). Financial Implications of Circular Economy Practices: A Study on the Impact on EBIT and Margins, Journal of Environmental Economics and Management, 112. DOI: 10.1016/j.jeem.2022.102629.
- Luthra, S., Sharma, M., Kumar, A., Joshi, S., Collins, E., & Mangla, S. (2022). Overcoming barriers to cross-sector collaboration in circular supply chain management: a multi-method approach. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 157, 102582. <https://doi.org/10.1016/J.TRE.2021.102582>
- Ma, C. mei. (2022). Impacts of demand disruption and government subsidy on closed-loop supply chain management: A model-based approach. Environmental Technology & Innovation, 27, 102425. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2022.102425>

- Maione, C., Lapko, Y., & Trucco, P. (2022). Towards a circular economy for the plastic packaging sector: Insights from the Italian case. *Sustainable Production and Consumption*, 34, 78–89. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2022.09.002>
- Mallick, P. K., Salling, K. B., Pigosso, D. C. A., & McAlloone, T. C. (2023). Closing the loop: Establishing reverse logistics for a circular economy, a systematic review. *Journal of Environmental Management*, 328, 117017. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.117017>
- Mangers, D., Lopez, L., & King, A. (2023). Building Resilient Supply Chains through Circular Economy Principles, *Supply Chain Management Review*, 29(3), 82-94.
- Mangers, J., Amne Elahi, M., & Plapper, P. (2023). Digital twin of end-of-life process-chains for a circular economy adapted product design – A case study on PET bottles. *Journal of Cleaner Production*, 382, 135287. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.135287>
- Martín Gómez, A. M., Aguayo González, F., & Marcos Bárcena, M. (2018). Smart eco-industrial parks: A circular economy implementation based on industrial metabolism. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 58–69. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.08.007>
- Massari, G. F., Annarelli, A., Primario, S., & Puliga, G. (2022). On the synergetic relationship between Circular Economy and Resilience: findings from a systematic literature review. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 2869–2874. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2022.10.166>
- Mazzucchelli, A., Caniato, F., & Golini, R. (2022). Impact of Circular Economy on Operational and Financial Performance: An Empirical Study, *Sustainability*, 14(6), 12034. DOI: 10.3390/su140612034.
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. North Point Press.
- McDougall, N., Wagner, B., & MacBryde, J. (2022). Competitive benefits & incentivisation at internal, supply chain & societal level circular operations in UK agri-food SMEs. *Journal of Business Research*, 144, 1149–1162. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2022.02.060>
- Merli, R., Preziosi, M., & Acampora, A. (2018). How Do Scholars Approach the Circular Economy? A Systematic Literature Review, *Journal of Cleaner Production*, 178, 703-722. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.112.
- Moktadir, M. A., Rahman, T., Rahman, M. H., Ali, S. M., & Paul, S. K. (2018). Drivers to sustainable manufacturing practices and circular economy: A perspective of leather industries in Bangladesh. *Journal of Cleaner Production*, 174, 1366–1380. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.11.063>
- Morseletto, P. (2023). Sometimes linear, sometimes circular: States of the economy and transitions to the future. *Journal of Cleaner Production*, 390, 136138. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.136138>
- Mundfrom, D., Shaw, D., & Ke, T. (2005). Minimum Sample Size Recommendations for Conducting Factor Analyses, *International Journal of Testing*, 5(2), 159-168. DOI: 10.1207/s15327574ijt0502_4.

- Muranko, Z., Andrews, D., Newton, E. J., Chaer, I., & Proudman, P. (2018). The Pro-Circular Change Model (P-CCM): Proposing a framework facilitating behavioural change towards a Circular Economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 132–140. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.12.017>
- Nagalingam, S. V., Kuik, S. S., & Amer, Y. (2013). Performance measurement of product returns with recovery for sustainable manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29(6), 473–483. <https://doi.org/10.1016/J.RCIM.2013.05.005>
- Ogunmakinde, O. (2020). Evaluating Circular Economy Models in Developed Countries: A Methodological Review of Sustainability Reports, *Resources, Conservation & Recycling*, 154, 104582. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104582.
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONU DI) (2022). Informe sobre el Desarrollo Industrial 2022. www.unido.org
- Orji, I. J., & Ojadi, F. (2023). Assessing the effect of supply chain collaboration on the critical barriers to additive manufacturing implementation in supply chains. *Journal of Engineering and Technology Management*, 68, 101749. <https://doi.org/10.1016/J.JENGTECMAN.2023.101749>
- Papamichael, I., Voukkali, I., Loizia, P., Stylianou, M., Economou, F., Vardopoulos, I., Klontza, E. E., Lekkas, D. F., & Zorpas, A. A. (2023). Measuring Circularity: Tools for monitoring a smooth transition to Circular Economy. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 36, 101330. <https://doi.org/10.1016/J.SCP.2023.101330>
- Patel, P. C., Azadegan, A., & Ellram, L. M. (2013). The influence of supply chain orientation on the responsiveness of manufacturing firms in the United States. *Journal of Supply Chain Management*, 49(4), 65-85.
- Patil, A., Dwivedi, A., Abdul Moktadir, M., & Lakshay. (2023). Big data-Industry 4.0 readiness factors for sustainable supply chain management: Towards circularity. *Computers & Industrial Engineering*, 178, 109109. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2023.109109>
- Pereira, A., Kaur, R., & Rathod, H. (2022). The impact of public procurement on the adoption of circular economy practices: Evidence from the European Union, *Journal of Cleaner Production*, 360, 2022.
- Pishchulov, G., Quboa, Q., & Mehandjiev, N. (2022). Forming on-demand supply chain collaborations with evaluation of fit and risk. *Procedia Computer Science*, 200, 1481–1487. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2022.01.349>
- Pollard, J., Osmani, M., Cole, C., Grubnic, S., & Colwill, J. (2021). A circular economy business model innovation process for the electrical and electronic equipment sector. *Journal of Cleaner Production*, 305, 127211. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.127211>
- Prajapati, D., Jauhar, S. K., Gunasekaran, A., Kamble, S. S., & Pratap, S. (2022). Blockchain and IoT embedded sustainable virtual closed-loop supply chain in E-commerce towards the circular economy. *Computers & Industrial Engineering*, 172, 108530. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2022.108530>

- Primc, K., Kalar, B., Slabe-Erker, R., Dominko, M., & Ogorevc, M. (2020). Circular economy configuration indicators in organizational life cycle theory. *Ecological Indicators*, 116, 106532. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106532>
- Qazi, A. A., & Appolloni, A. (2022). A systematic review on barriers and enablers toward circular procurement management. *Sustainable Production and Consumption*, 33, 343–359. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2022.07.013>
- Ren, Y., Li, R., Wu, K. J., & Tseng, M. L. (2023). Discovering the systematic interlinkages among the circular economy, supply chain, industry 4.0, and technology transfer: A bibliometric analysis. *Cleaner and Responsible Consumption*, 9, 100123. <https://doi.org/10.1016/J.CLRC.2023.100123>
- Rico Lugo, S. D., Kimita, K., & Nishino, N. (2023). Characteristics of decision process towards circular food economy: A review. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 7, 100104. <https://doi.org/10.1016/J.CLSCN.2023.100104>
- Roh, J., Hong, P., & Min, H. (2014). Implementation of a responsive supply chain strategy in global complexity: The case of manufacturing firms. *International Journal of Production Economics*, 147(PART B), 198–210. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2013.04.013>
- Rossi, E., Bertassini, A. C., Ferreira, C. dos S., Neves do Amaral, W. A., & Ometto, A. R. (2020). Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronic cases. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119137. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.119137>
- Sajjad, A., Zhang, Q., Asmi, F., Anwar, M. A., & Bhatia, M. (2024). Identifying the motivating factors to promote socially responsible consumption under circular economy: A perspective from norm activation theory. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 76, 103544. <https://doi.org/10.1016/J.JRETCONSER.2023.103544>
- Salmenperä, H., Pitkänen, K., Kautto, P., & Saikku, L. (2021). Critical factors for enhancing the circular economy in waste management. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124339. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124339>
- Sánchez-García, E., Martínez-Falcó, J., Marco-Lajara, B., & Millán-Tudela, L. A. (2023). Looking into literature in the field of circular supply chain and the subtopic from a customers' perspective: A bibliometric approach. *Journal of Cleaner Production*, 417, 137900. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.137900>
- Sandberg, E. (2023). Orchestration capabilities in circular supply chains of post-consumer used clothes – A case study of a Swedish fashion retailer. *Journal of Cleaner Production*, 387, 135935. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.135935>
- Sarkar, B., Omair, M., & Kim, N. (2020). A cooperative advertising collaboration policy in supply chain management under uncertain conditions. *Applied Soft Computing*, 88, 105948. <https://doi.org/10.1016/J.ASOC.2019.105948>
- Schultz, F. C., Everding, S., & Pies, I. (2021). Circular supply chain governance: A qualitative-empirical study of the European polyurethane industry to facilitate functional circular supply chain

management. *Journal of Cleaner Production*, 317, 128445. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.128445>

Sellitto, M. A., Lolli, F., Rimini, B., & Balugani, E. (2019). Complexity Measurement in Two Supply Chains with Different Competitive Priorities. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1699–1704. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2019.11.445>

Senthil, S., Murugananthan, K., & Ramesh, A. (2018). Analysis and prioritisation of risks in a reverse logistics network using hybrid multi-criteria decision-making methods. *Journal of Cleaner Production*, 179, 716–730. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.12.095>

Sogal, A., Gupta, M., & Kumar, P. (2021). Sustainability Performance through Circular Economy Practices: A Survey of Financial and Environmental Outcomes, *Sustainability*, 13(18), 10362. DOI: 10.3390/su131810362.

Stahel, W., (2010). *The Performance Economy*. London, UK: Palgrave Macmillan.

Starostka-Patyk, M., & Grunt, A. (2022a). Resource Efficiency through Circular Economy Strategies: A Focus on Recycling and Remanufacturing, *Sustainability*, 4, 5984. DOI: 10.3390/su14105984.

Stewart, R., Niero, M., Murdock, K., & Olsen, S. I. (2018). Exploring the Implementation of a Circular Economy Strategy: The Case of a Closed-loop Supply of Aluminum Beverage Cans. *Procedia CIRP*, 69, 810–815. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2017.11.006>

Stylianopoulou, K. G., Kondili, E. M., Papapostolou, C. M., & Kaldellis, J. K. (2023). Optimisation modeling for decision support in the industrial circular economy activities. *Computer Aided Chemical Engineering*, 52, 2131–2136. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15274-0.50339-5>

Sudusinghe, J. I., & Seuring, S. (2022). Supply chain collaboration and sustainability performance in circular economy: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, 245, 108402. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2021.108402>

Sullivan, G. (2011). Establishing the Validity of Assessment Instruments with Small Expert Panels, *Evaluation Review*, 35(5), 389-408. DOI: 10.1177/0193841X11412034.

Superintendencia de Sociedades, 2023. Informe de 1000 empresas 2023. Recuperado de: [SIIS - / \(supersociedades.gov.co\)](https://supersociedades.gov.co)

Suzic, R., Bajic, S., & Rajic, M. (2021). Financial Metrics for Evaluating Circular Economy Initiatives: Key Influencing Factors, *Sustainability*, 13(15). DOI: 10.3390/su13158402.

Taddei, V., Daddi, R., & Iraldo, F. (2021). Circular Supply Chain Practices: Impact on Financial Performance and Sustainability, *Journal of Business Research*, 133, 226-237. DOI: 10.1016/j.jbusres.2021.04.071.

Tosi, D., Gusmerotti, N. M., Testa, F., & Frey, M. (2024). How companies navigate circular economy paradoxes: An organizational perspective. *Journal of Environmental Management*, 353, 120269. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2024.120269>

- Uhrenholt, J. N., Kristensen, J. H., Rincón, M. C., Jensen, S. F., & Waehrens, B. V. (2022). Circular economy: Factors affecting the financial performance of product take-back systems. *Journal of Cleaner Production*, 335, 130319. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.130319>
- Ullah, A., Zaman, M., & Iqbal, A. (2022). Green supply chain management practices and their impact on resilience and profitability during crises," *Journal of Cleaner Production*, 365. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.131024.
- Van Bergen, M., Steeman, M., Reindorp, M., & Gelsomino, L. (2019). Supply chain finance schemes in the procurement of agricultural products. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 25(2), 172–184. <https://doi.org/10.1016/J.PURSUP.2018.08.003>
- Van Eechoud, T., & Ganzaroli, A. (2023). Exploring the role of dynamic capabilities in digital circular business model innovation: Results from a grounded systematic inductive analysis of 7 case studies. *Journal of Cleaner Production*, 401, 136665. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.136665>
- Vegter, D., van Hillegersberg, J., & Olthaar, M. (2023). Performance measurement system for circular supply chain management. *Sustainable Production and Consumption*, 36, 171–183. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2023.01.003>
- Vinayagam, R., Kumar, S., & Fernandes, J. (2024). Cost Savings and Environmental Benefits of Circular Economy Practices, *Journal of Cleaner Production*, 392, 136748. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136748.
- Wei, S., Xu, W., Guo, X., & Chen, X. (2023). How does business-IT alignment influence supply chain resilience? *Information & Management*, 60(6), 103831. <https://doi.org/10.1016/J.IM.2023.103831>
- Widmer, T., Tjahjono, B., & Bourlakis, M. (2018). Defining value creation in the context of circular PSS. *Procedia CIRP*, 73, 142–147. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2018.03.329>
- Wong, C., Boon-itt, S., & Wong, C. (2015). The impact of supply chain integration on operational performance: The moderating role of product and market complexity, *International Journal of Production Economics*, 162, 60-69.
- World Bank. (2023). Logistics Performance Index (LPI). <https://lpi.worldbank.org/>
- Wu, I. L., & Chiu, M. L. (2018). Examining supply chain collaboration with determinants and performance impact: Social capital, justice, and technology use perspectives. *International Journal of Information Management*, 39, 5–19. <https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2017.11.004>
- Zeng, H., Chen, X., Xiao, X., & Zhou, Z. (2017). Institutional pressures, sustainable supply chain management, and circular economy capability: Empirical evidence from Chinese eco-industrial park firms. *Journal of Cleaner Production*, 155, 54–65. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.10.093>
- Zhang, Q., & Cao, M. (2018). Exploring antecedents of supply chain collaboration: Effects of culture and interorganizational system appropriation. *International Journal of Production Economics*, 195, 146–157. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2017.10.014>

Zhou, Z., Lim, M., & Tiwari, K. (2022). Impact of Circular Economy on Financial Performance: Empirical Evidence from China, *Journal of Business Research*, 139, 123-136. DOI: 10.1016/j.jbusres.2022.03.067.

Zhu, Q., Geng, Y., & Lai, K. hung. (2010). Circular economy practices among Chinese manufacturers varying in environmental-oriented supply chain cooperation and the performance implications. *Journal of Environmental Management*, 91(6), 1324–1331. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2010.02.013>

Zikopoulos, C., & Tagaras, G. (2015). Reverse supply chains: Effects of collection network and returns classification on profitability. *European Journal of Operational Research*, 246(2), 435–449. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2015.04.051>

Zvezdov, D., & Akhavan, R. M. (2018). Interactions Along the Supply Chain for Building Dynamic Capabilities for Sustainable Supply Chain Management. *Greening of Industry Networks Studies*, 5, 35–48. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59587-0_3/FULLTEXT.HTML

Anexos

Anexo 1. Indicadores financieros de rentabilidad

Indicador de rentabilidad	Fórmula	Propósito
Margen de beneficio bruto	$= (\text{Beneficio bruto} / \text{Ingresos}) * 100$	Es un indicador que permite evaluar la eficiencia de una organización
Margen de beneficio operativo (EBIT)	$= (\text{Beneficio operativo} / \text{ingresos}) * 100$	Está enfocado este indicador a evaluar la eficiencia de las operaciones particularmente.
Margen de beneficio neto (MN)	$= (\text{Beneficio neto} / \text{Ingresos}) * 100$	Por medio del margen neto se puede evaluar la rentabilidad a nivel general de una compañía
Retorno sobre activos (ROA)	$= (\text{Ingresos netos} / \text{Activos totales}) * 100$	Este indicador evalúa la eficiencia con respecto a la gestión de sus activos para generar ganancias a la organización.
Rentabilidad sobre el capital (ROE)	$= (\text{Utilidad neta (Patrimonio neto)} * 100$	Este indicador se encarga de valorar la rentabilidad con respecto a las inversiones realizadas por los accionistas

Anexo 2. Formulario de la consulta a expertos

Nota: El formulario se encuentra en inglés porque se hizo la consulta a algunos investigadores cuya lengua nativa no es el español.

Dimensions	Research questions for experts	Category				
		1	2	3	4	5
Circular economy	1. Does the organization consider the circular economy within its sustainable strategies reported in its sustainability report?					
	Comment:					
Profitability	2. Is a factor that influences the consideration of the circular economy financial viability?					
	Comment:					
	3. Do you consider that the profitability of a supply chain is essential to make the transition to a circular economy?					
	Comment:					
	4. Can the ROA (return on assets) indicator be positively related to circularity to the extent that work is done on efficiency and asset management in the organization considering					
	Comment:					
	5. Can the ROE (return on equity) indicator be positively related to circularity to the extent that work is done on efficiency and asset management in the organization considering					
	Comment:					
	6. Could production costs be managed more efficiently by implementing circular strategies?					
	Comment:					
7. Evaluating the gross margin is also considering whether the organization took into account the optimization of the costs of goods sold (COGS) in its proportion with respect to sales?						
Comment:						
8. One of the ways to optimize production costs is by implementing circular strategies in the						
Comment:						
9. If an organization has a good result in its net margin compared to the sector, then could it be more viable to invest in sustainability and in particular in the circular economy?						
Comment:						
10. If an organization has a good result in its DUPONT indicator compared to the sector, then could it be more viable to invest in sustainability and in particular in the circular economy?						
Comment:						

Anexo 3. Ficha Técnica de contrastación con expertos

Ficha técnica – Contrastación de expertos	
Objetivo del cuestionario	Evaluar la determinación de variables de la investigación por parte de profesionales relacionados con los temas esenciales del estudio.
Perfil de expertos	Perfiles de los expertos: <ul style="list-style-type: none"> - Contador público con postgrado en finanzas - Ingeniero industrial con posgrado en finanzas - Consultor financiero con estudios de doctorado - Economista PhD - Ingeniero ambiental con postgrado en sostenibilidad - Ingeniero de materiales con estudios de doctorado en sostenibilidad
Metodología de aplicación	Uso de la escala de Likert de a 1 a 5. Cuestionario de 10 preguntas. En línea.
Sistema de ponderación	Promedios ponderados a partir de los resultados dados por los expertos.
Resultados globales	Indicadores financieros considerados críticos por los expertos para llevar a cabo la transición a una economía circular: ROA, EBIT, ROE, y MN.
Observaciones generales	Se hacen recomendaciones sobre la inversión en estrategias sostenibles para alcanzar la economía circular. Las observaciones de los expertos convergen en manifestar que programas sostenibles bien ejecutados pueden mejorar la rentabilidad en las organizaciones.