

**Generación de Valor desde la Implementación de Logística Verde en Procesos
Productivos del Sector Automotriz con Impacto de Sostenibilidad Social y
Empresarial**

Laura Ximena Martínez Pérez

Universidad Santo Tomás

Proyecto de Investigación para optar por el Título de
Profesional en Negocios Internacionales

José Alexander Cely Ramírez

Tutor

Tunja – Boyacá

2024

1. Dedicatoria

Dedico este trabajo, fruto de años de esfuerzo, dedicación y aprendizajes, a todas aquellas personas que han sido el soporte y la motivación en cada paso de mi formación profesional y personal. En primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza y la sabiduría para alcanzar un nuevo logro. A mi familia quienes desde siempre me enseñaron el valor de la disciplina, la responsabilidad y el compromiso, creyendo siempre en mí con su apoyo incondicional. A mis demás seres queridos, que, en los momentos de dificultad, me brindaron su compañía y su comprensión. También a aquellos que me enseñaron, a lo largo de estos años, que cada desafío trae consigo una oportunidad de crecimiento. Gracias a todos por formar parte de mi camino hacia esta meta.

2. Agradecimientos

Con gran emoción y profundo agradecimiento a todas las personas que de alguna manera han contribuido a lo largo de mi camino académico y personal, permitiéndome alcanzar esta meta tan importante.

En primer lugar, le agradezco a Dios, por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para perseverar en cada paso de este proceso. A él, que ha sido mi guía en momentos de incertidumbre, le agradezco por infundir en mí el coraje para enfrentar los desafíos.

A mi familia, quienes con amor, paciencia y sacrificio han sido un pilar fundamental, ya que su ejemplo y sus valores son la base de todo lo que he alcanzado. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación, por brindarme su apoyo incondicional, y por creer en mis capacidades. A ellos, que me han motivado a dar siempre lo mejor de mí, les dedico este logro con la esperanza de retribuirles, de alguna forma, todo lo que han hecho por mí.

Le expreso mi más sincera gratitud a mi tutor tesis, el Dr. Alexander Cely, por su acompañamiento, entusiasmo y apoyo a lo largo de este proceso, sus conocimientos y consejos fueron fundamentales para llevar a cabo esta investigación. Así mismo, a mis demás profesores, quienes me inspiraron a desarrollar un pensamiento crítico y analítico, gracias por sus lecciones dentro y fuera del aula, que me impulsaron a esforzarme cada día más.

A la Universidad Santo Tomás y la Facultad de Negocios Internacionales, por ofrecerme las herramientas necesarias para formarme en el ámbito académico y profesional, así como por el acceso a los recursos y el apoyo brindado en todo momento. A mis amigos y demás seres queridos, quienes me brindaron palabras de ánimo o un gesto amable, e hicieron que el camino fuera más agradable.

Finalmente, dedico este logro a mí misma, por la dedicación y el esfuerzo puestos en cada momento de este camino, recordándome que los sueños siempre se alcanzan con disciplina, constancia y, sobre todo, pasión.

3. Tabla de contenido

1. Dedicatoria	2
2. Agradecimientos	3
4. Lista de tablas	6
Tabla 1. Esfuerzos de circularidad de nivel 1 (reutilización) de las principales empresas automotrices de Fortune 500.....	6
Tabla 2. Esfuerzos de circularidad de nivel 2 (remanufactura) de las principales empresas automotrices de Fortune 500.....	6
Tabla 3. Análisis de las estrategias de desarrollo sostenible del sector automotor en 2020 en relación con los Objetivos de Crecimiento Sostenible de la ONU.	7
5. Lista de figuras	7
Figura 1. Variables clave para la Industria 4.0 y las prácticas de GSC a partir de la literatura.	7
Figura 2. Integración simbiótica de métricas OEE y prácticas de fabricación sostenibles.	8
Figura 3. Integración de medidas de OEE con prácticas de fabricación sostenible.	8
Figura 4. Esquema de los diferentes niveles de circularidad.....	9
Figura 5. Índice SEC de 11 OEM de la industria automotriz	9
6. Glosario	10
7. Resumen	11
8. Abstract	12
9. Cuerpo del trabajo	13
10. Introducción	13
11. Planteamiento del problema y pregunta de investigación	14
12. Justificación.....	14
13. Objetivos.....	15
13.1. Objetivo general.....	15
13.2. Objetivos específicos	15
14. Marco de referencia.....	16
15. Metodología.....	18
16. Desarrollo y resultados de la investigación	19
16.1 El impacto de la sostenibilidad en la competitividad.....	19

16.2. La industria automotriz como agente de responsabilidad ambiental	22
16.4. Ciclo de Vida dentro de la Logística Verde.....	27
16.5. Estrategias de Circularidad en la Industria Automotriz	28
16.6. Innovaciones técnicas en los talleres de pintura automotriz.....	31
16.7. Perspectiva de la eficiencia energética en la fabricación de automóviles	32
16.8. Cumplimiento de los ODS con empresas del sector automotriz	33
16.9. Responsabilidad Social Corporativa (RSC) y los Informes GRI.....	34
16.10. Encuesta de percepción aplicada a una muestra por conveniencia en los concesionarios de Tunja.....	35
17. Conclusiones y recomendaciones	42
18. Referencias Bibliográficas	44
19. Anexos	50

4. Lista de tablas

Tabla 1. Esfuerzos de circularidad de nivel 1 (reutilización) de las principales empresas automotrices de Fortune 500.

Compañía	Iniciativas
Toyota	Reutilización de baterías híbridas cuando el vehículo llega al final de su vida útil de otras formas, como el almacenamiento de energía.
Volkswagen	Reutiliza residuos de fabricación, logística, talleres y desarrollo técnico para producir materiales de alta calidad.
Daimler	Venta de las piezas que se desmontan a talleres de reparación y clientes finales.
Motores BMW	Reutilización de materiales secundarios: aluminio (50%), acero (25%) y termoplásticos (20%).
Motores SAIC	Reutiliza el agua en sus procesos de fabricación.

Fuente: Elaboración propia con información de Valladares & Hamza (2023).

Tabla 2. Esfuerzos de circularidad de nivel 2 (remanufactura) de las principales empresas automotrices de Fortune 500.

Compañía	Iniciativas
Toyota	Recoge las piezas usadas de su red de distribuidores para reacondicionarlas y ponerlas a disposición de los clientes a precios competitivos.
Volkswagen	Piezas usadas de motores, cajas de cambios o electrónica, se remanufacturan, se prueban industrialmente y se pueden utilizar en otro vehículo.
Ford	Ford y HP colaboran para transformar residuos en piezas de automóvil.
Motores BMW	Remanufactura motores.
Motores SAIC	Remanufacturan motores completos y otras partes de motor

Fuente: Elaboración propia con información de Valladares & Hamza (2023).

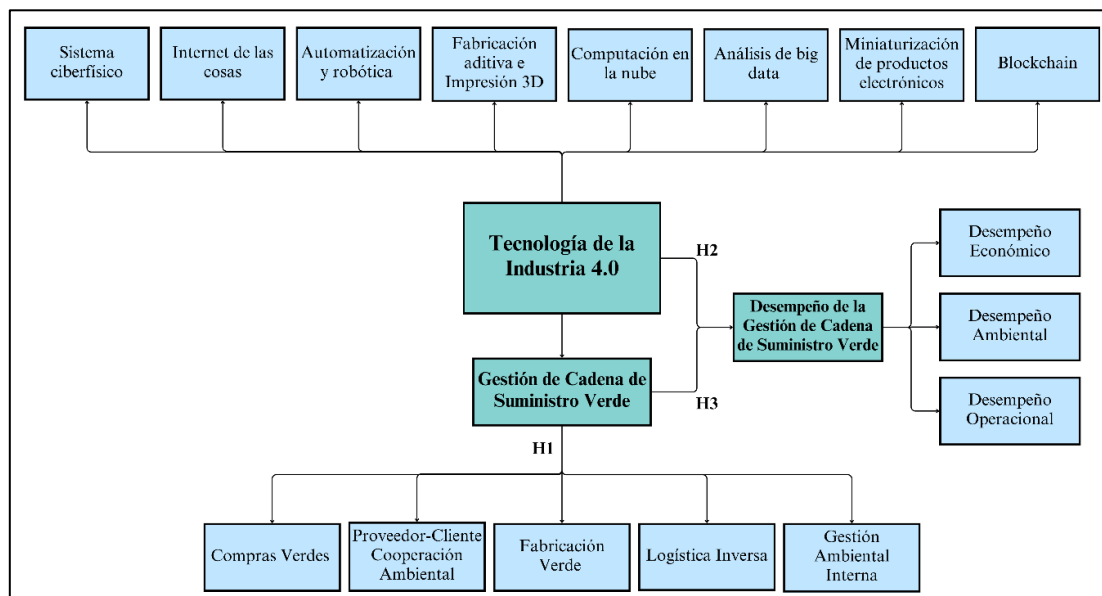
Tabla 3. Análisis de las estrategias de desarrollo sostenible del sector automotor en 2020 en relación con los Objetivos de Crecimiento Sostenible de la ONU.

ODS	Toyota	Mercedes Benz	BMW	Honda	Hyundai
Fin de la Pobreza.				Mejorar condiciones de vida de la población en los países en desarrollo, al ofrecer productos de movilidad adaptados.	Brindar apoyo y participación en actividades colaborativas basadas en las necesidades de las comunidades locales.
Hambre Cero.				Implementando el proyecto abMaS .	
Salud y Bienestar.	Reducción de sustancias químicas nocivas en las piezas de los automóviles.		Reducción de la contaminación atmosférica mediante vehículos híbridos y eléctricos.	Reducción de la contaminación atmosférica en la fase de uso y producción de vehículos.	Desarrollo de nuevas tecnologías y actividades de seguridad para prevenir accidentes.
Educación y Calidad.	Implementación de educación de la población en sostenibilidad.	Permitir que los empleados adquieran conocimientos para la era digital en su vida laboral.	Ofrecer formación y educación para que los trabajadores adquieran competencias laborales.	Educar al personal para adquirir habilidades especializadas y capacidades profesionales.	Apoyo a víctimas de accidentes de tránsito a través de la educación.
Igualdad de Género.		Aumentar la proporción de mujeres en puestos directivos de liderazgo.	Desarrollo de una cultura empresarial de diversidad de género.	Implementación de iniciativas para incrementar las mujeres en puestos directivos.	Construir una cultura corporativa que respete la diversidad.
Agua Limpia y Saneamiento.	Reducir el uso de agua en la producción en un 3% por vehículo y utilizar agua lluvia.	Reducción del consumo de agua en la producción en un 33% para turismos y en un 28% para vehículos comerciales en 2030.	Implementación de un proyecto de voluntariado que proporciona agua potable en los hogares de residentes de México, India y Tailandia.	Reducción del uso de agua en la producción de automóviles, reutilización del agua usada y purificación del agua antes de verterla al medio ambiente.	
Energía asequible y no Contaminante	Uso de fuentes de energía renovables en la producción.	Para 2030, reducir el consumo de energía en un 43% en la producción de turismos y en un 25% en la de vehículos comerciales mediante el "Diseño Ambiental".	Investir en sostenibilidad en todo el ciclo de vida de los vehículos (fomentando la electricidad procedente de fuentes renovables y el reciclaje).	Implementación del proyecto abMaS . Incremento de la oferta de vehículos eléctricos e híbridos y de propulsión por pilas de combustible.	Reducir el consumo de combustible mediante la aplicación de nuevas tecnologías en los motores y reducir el peso de los automóviles.
Trabajo Decente y Crecimiento Económico.	Respeto de los derechos humanos de todos los trabajadores. Empleo de inmigrantes.	Crear puestos de trabajo digitales con horarios flexibles y garantizar condiciones de trabajo humanas.	Lugares de trabajo adaptados ergonómicamente con un alto nivel de seguridad. Salarios de los trabajadores superiores a la media del mercado.	Controles mensuales del estado de la gestión de la fuerza laboral en todas las sucursales locales.	Cumplimiento de leyes de protección laboral y comunicación con sindicatos.
Industria, innovación e infraestructura	Fomentar el desarrollo tecnológico para el uso del hidrógeno y de materiales reciclados.	Participación en iniciativas para el desarrollo de tecnologías sostenibles. Construcción de fábricas con un alto nivel de interconexión.	Investir en el desarrollo de productos con las menores emisiones de CO ₂ posibles a lo largo del ciclo de vida del vehículo.	Implementación del proyecto abMaS , que combina servicios de movilidad y servicios energéticos.	Investir en el desarrollo de tecnología, especialmente en el desarrollo del sistema operativo del automóvil.
Reducción de las desigualdades	Promover la inclusión y la libertad de los trabajadores con empleos seguros.	Desarrollar una cultura corporativa donde todos los empleados se respeten entre sí.	Fomentar el equilibrio de género, las diferentes culturas y la edad de los trabajadores.	Implementar iniciativas para comprender la importancia de la diversidad.	Facilitar el acceso igualitario al transporte para todas las innovaciones móviles.
Ciudades y comunidades sostenibles	Gestión de riesgos ambientales mediante la realización de actividades preventivas.	Promoción de la movilidad sostenible en las zonas urbanas mediante la oferta de autobuses y camiones urbanos electricificados.	Resolver los problemas de contaminación del aire y reducir el ruido de los vehículos con movilidad eléctrica.	Suministro de vehículos a partir de diversas fuentes renovables.	Aumentar la seguridad y la calidad de los vehículos mediante el control de la calidad e inspección automatizada.
Producción y consumo responsables	Implementación de proyectos que fomenten la armonía con la naturaleza y la educación ecológica.	Aumentar la eficiencia de los vehículos y reducir significativamente el uso de materias primas.	Establecer procesos cíclicos de circulación de materiales para incrementar el reciclaje de vehículos y reducir la generación de residuos sólidos.	Fomentar la reducción, la reutilización y el reciclaje de recursos, reduciendo al mismo tiempo los residuos de producción.	Apoyo a las actividades de sostenibilidad de las comunidades locales mediante el voluntariado y el apoyo a proyectos de ONG y proveedores.
Acción por el clima	Reducción de las emisiones de CO ₂ durante el uso y la producción.	Reducción de emisiones de gases nocivos en la fase de uso y producción y en toda la cadena de suministro.	Desarrollo de vehículos con las menores emisiones de CO ₂ posibles a lo largo de todo el ciclo de vida del vehículo.	Mejora de la eficiencia del transporte y reducción de la carga medioambiental.	Reciclaje de residuos en la producción, reducción de la contaminación del aire, minimización del consumo de agua.
Vida submarina				Reciclaje de agua en sus plantas.	Reutilización de agua en la producción.
Vida de ecosistemas terrestres:	Apoyo a organizaciones sin fines de lucro y no gubernamentales.	Reducción del uso de agua y sustitución de materias primas por materiales reciclados.		Establecer directrices para la biodiversidad.	Implementación de actividades para reducir la contaminación.
Paz, justicia e instituciones sólidas	Protección de datos personales de los usuarios.		Establecimiento de un "Código de conducta".	Protección de datos personales de los usuarios.	
Alianzas para lograr los objetivos	Compartir principios comunes y cooperación con socios comerciales.	Implantación de tecnologías blockchain . Colaboración con asociaciones, organizaciones y otras empresas en diversos proyectos.	Creación de la Fundación Herbert Quandt, que fomenta el liderazgo responsable.	Construcción de instalaciones propias para pruebas de colisión en todos los ámbitos, que también se alquilan a otras empresas e instituciones de investigación.	Participación en actividades colaborativas basadas en las necesidades de las comunidades locales, incluidas ONG y proveedores.

Fuente: Elaboración propia con información de Lukin et al. (2022).

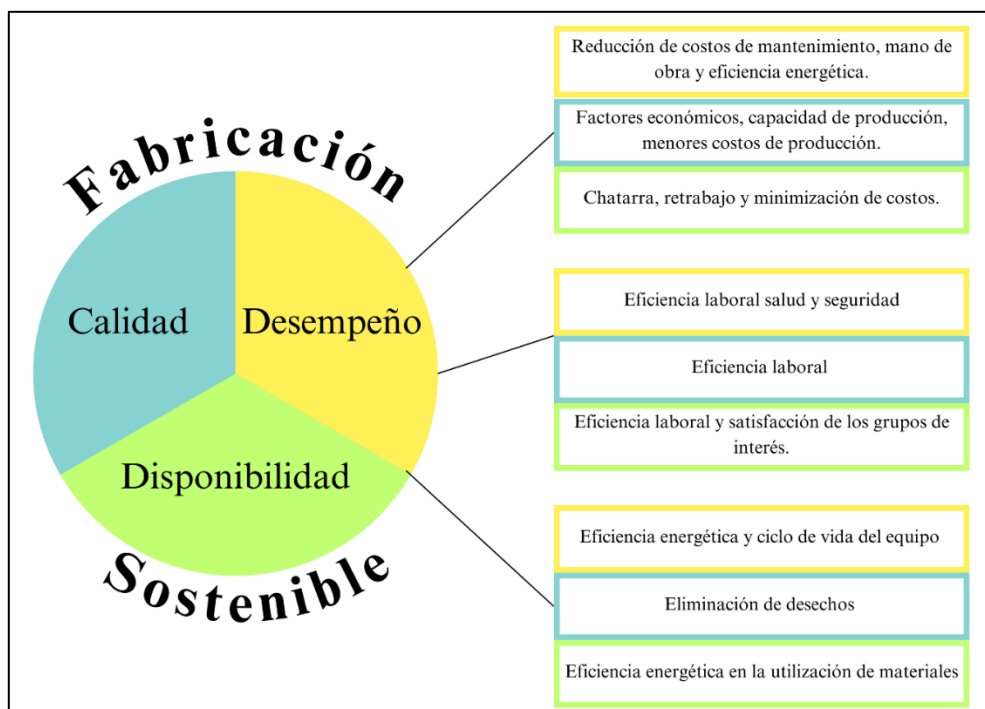
5. Lista de figuras

Figura 1. Variables clave para la Industria 4.0 y las prácticas de GSC a partir de la literatura.



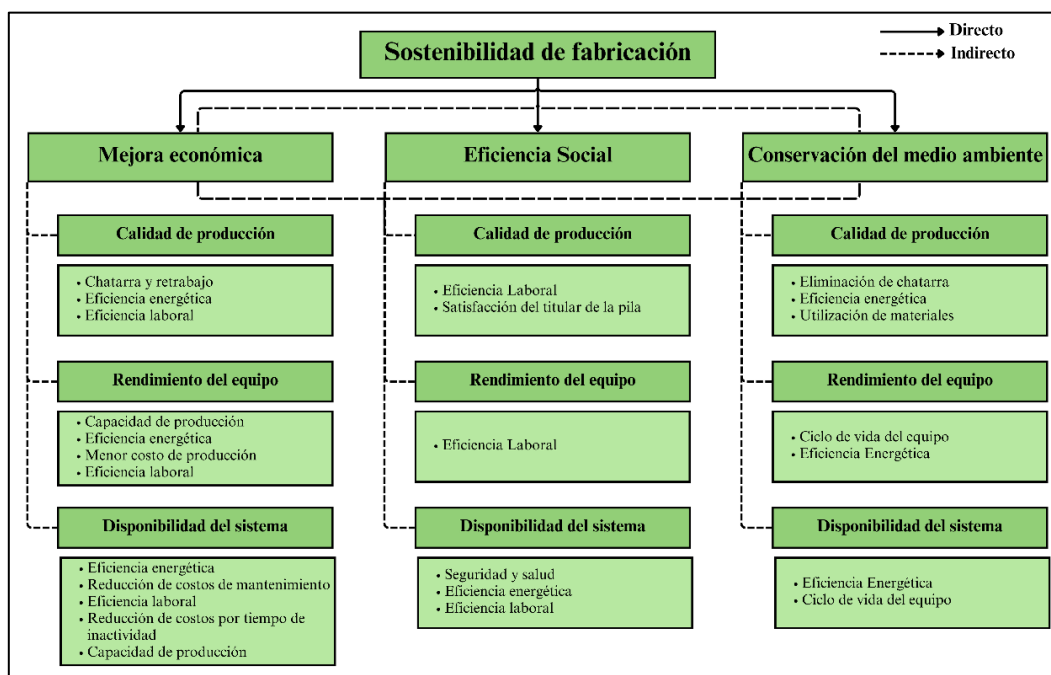
Fuente: Tomado de Ghadge et al. (2022).

Figura 2. Integración simbiótica de métricas OEE y prácticas de fabricación sostenibles.



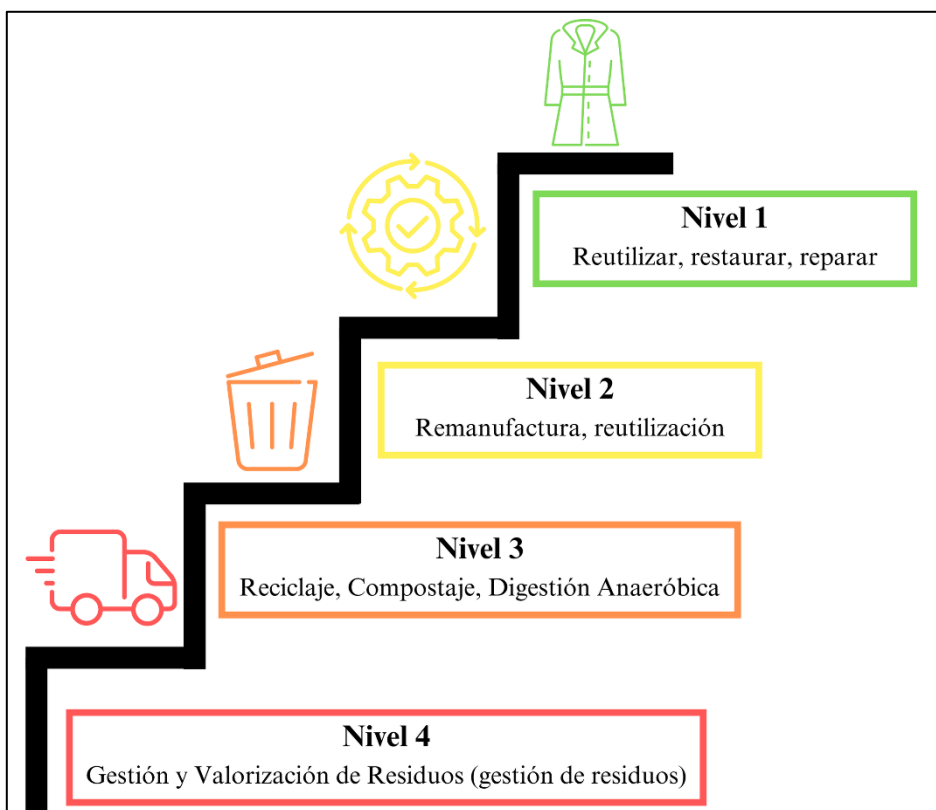
Fuente: Tomado de Zehra et al. (2024).

Figura 3. Integración de medidas de OEE con prácticas de fabricación sostenible.



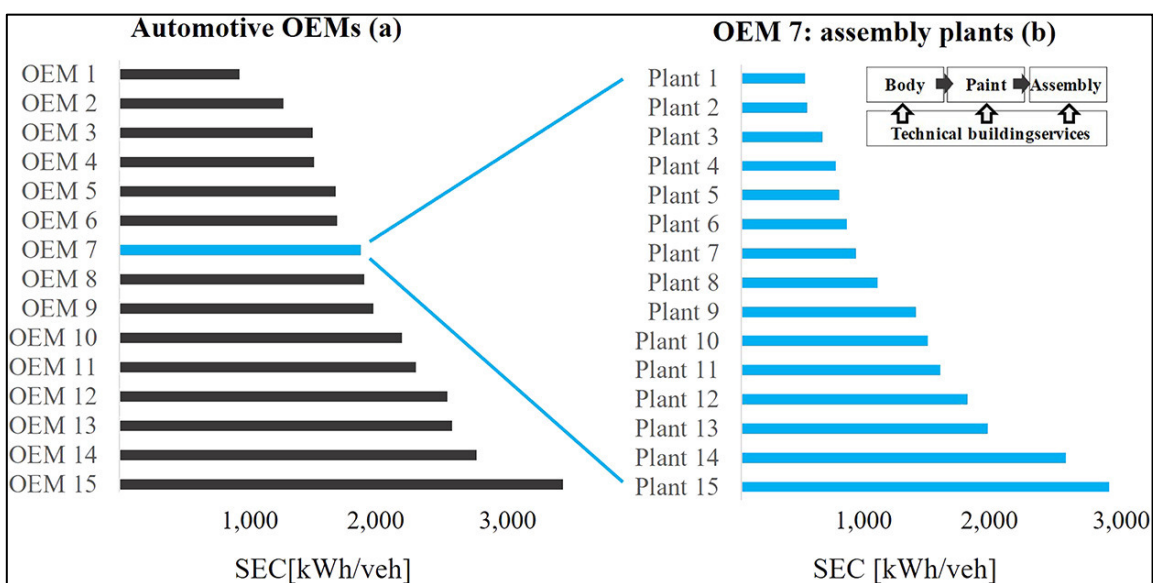
Fuente: Tomado de Zehra et al. (2024).

Figura 4. Esquema de los diferentes niveles de circularidad



Fuente: Tomado de Zehra et al. (2024).

Figura 5. Índice SEC de 11 OEM de la industria automotriz



Tomado de: Flickb et al. (2023).

6. Glosario

Logística verde: herramienta que busca la optimización de los procesos y una forma de disminución al máximo de los residuos y su adecuada disposición, para reducir el impacto medioambiental de las organizaciones el planeta y los recursos (Suarez & Silva, 2020).

Sostenibilidad: característica de desarrollo que comprende la satisfacción de las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus necesidades propias, donde la mayoría de países aúnan esfuerzos concretos para asegurar su progreso (UN, 2024)

Industria 4.0: modelo industrial para la autoorganización y la autogestión de sistemas de producción totalmente automatizados, que aprenden de manera autónoma e interactiva, incluyendo tecnologías digitales y de internet para mejorar la cadena de suministro y aportar a la transformación de productos (Sukhodolov, 2019).

Economía circular: es un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad de producción y consumo que implica compartir, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido (Parlamento Europeo, 2023).

Ciclo de vida: describe el cambio en las distintas fases de desarrollo del producto, entrada en el mercado y salida, este enfoque es una parte fundamental de la gestión empresarial y permitiendo optimizar decisiones en términos de costes, ventas y beneficios (Munich Business School, s.f.).

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): se constituyeron como parte de la Agenda 2030 por la ONU, donde se hace una llamada universal para equilibrar la sostenibilidad social, económica y ambiental, donde los países se han comprometido a priorizar su progreso a través de la creatividad, el conocimiento, la tecnología y los recursos financieros (UNDP, 2024).

Gases Efecto Invernadero (GEI): son aquellos gases acomodados en el ambiente terrestre que absorben la radiación infrarroja del sol que luego se retienen y aumentan la temperatura en la atmósfera debido a las actividades propias de la industrialización y la actividad humana, repercutiendo en la sostenibilidad del planeta (WWF, 2019).

Gestión de cadena de suministro: está formada por todas aquellas partes involucradas, de manera directa o indirecta en todas las actividades relacionadas con la transformación de un bien, desde la materia prima hasta el consumidor final, a través de la red de servicios, materiales y flujos de información (Manrique, 2019).

Fabricante de equipos originales (OEM): se define como una empresa que produce bienes de acuerdo con pedidos de otras de acuerdo con las especificaciones dadas, aplicado ampliamente en el mundo industrial, donde es posible la innovación en los productos (Dachyar, 2019)

Responsabilidad Social Empresarial (RSE): compromiso que las organizaciones desarrollan para operar de acuerdo con principios y políticas que tengan un impacto positivo en la sociedad y el medio ambiente, donde se garantice que su identidad de marca refleje sus valores y al mismo tiempo sean éticos y seguros (IBM, 2023).

7. Resumen

La globalización ha convertido a la sostenibilidad como base principal de desarrollo global en el siglo XXI, siendo promovido por la Agenda 2030 de la ONU, allí se establece un enfoque integral combinando factores sociales, económicos y ambientales, en donde a su vez participan de manera conjunta las empresas y los gobiernos. Es así, como la sostenibilidad empresarial se convierte en un foco para diseñar estrategias a corto, mediano y largo plazo, donde se resalta a las prácticas de logística verde como eje fundamental de eficiencia para optimizar los procesos y recursos dentro de la cadena de suministro automotriz. Así entonces, en este proyecto se desarrolla un enfoque cualitativo descriptivo con la revisión bibliométrica de literatura empleando bases de datos como ScienceDirect y Scopus, complementado por una encuesta aplicada en los concesionarios de Tunja para indagar acerca del impacto de la logística verde en el sector automotriz. En ese sentido, como resultado de esta tendencia, la industria está ajustando sus actividades operacionales con el fin de ser más conscientes sobre el alto impacto sobre el medio ambiente que se genera en las fases de producción, operación y fin de vida útil, pues esta industria requiere de un proceso de alta complejidad y con requerimiento de gran variedad de materiales para fabricar cada

vehículo. Es así, como se reconoce a la economía circular, la eficiencia energética, la mejora en los talleres de pintura, la inclusión de industria 4.0 y la consideración de los ODS como practicas sostenibles en el sector automotriz que contribuyen activamente a incursionar en la logística verde y al mismo tiempo con la generación de valor social y ambiental.

Palabras clave: Sostenibilidad, Logística verde, Industria automotriz y Cadena de suministro.

8. Abstract

Globalization has made sustainability the main basis for global development in the 21st century, being promoted by the UN's Agenda 2030, which establishes a comprehensive approach combining social, economic and environmental factors. Thus, business sustainability becomes a focus for designing short, medium and long-term strategies, where green logistics practices are highlighted as a fundamental axis to optimize processes and resources within the automotive supply chain. Thus, in this project, a descriptive qualitative approach is developed with a bibliometric review of literature using databases such as ScienceDirect and Scopus, complemented by a survey applied to dealerships in Tunja to investigate the impact of green logistics in the automotive sector. In this sense, because of this trend, the industry is adjusting its operational activities to be more aware of the high impact on the environment generated in the production, operation and end-of-life phases, since this industry requires a highly complex process and a wide variety of materials to manufacture each vehicle. Likewise, the circular economy, energy efficiency, improvements in paint shops, the inclusion of industry 4.0 and the consideration of the SDGs are recognized as sustainable practices in the automotive sector that actively contribute to entering green logistics and at the same time generating social and environmental value.

Key Words: *Sustainability, Green logistics, Automotive industry and Supply chain.*

9. Cuerpo del trabajo

10. Introducción

En un mundo globalizado, es imperante la preocupación por el cambio climático y los efectos negativos de la actividad industrial sobre el medio ambiente, por lo que, durante las últimas décadas, la sostenibilidad ha surgido como un elemento clave en la generación de competitividad de las empresas, con especial relevancia en sectores de alto impacto ambiental, como la industria automotriz. Este sector, se ha caracterizado por su consumo intensivo de diversos recursos y la emisión de gases contaminantes a lo largo de su cadena de suministro, enfrentando crecientes presiones para integrar prácticas más sostenibles; como respuesta, varias compañías han implementado estrategias de logística verde, incluidos en sus procesos productivos para generar valor social y empresarial, posicionándose como un enfoque estratégico para responder a las exigencias del mercado y de los consumidores.

Por su parte, la industria automotriz, debido a su capacidad de influir como agente de responsabilidad ambiental, se aborda desde el enfoque del Ciclo de Vida de los vehículos, evaluando sus implicaciones en proceso de producción, donde se destaca la economía circular como un eje fundamental para maximizar el aprovechamiento de materiales y recursos. Así mismo, se consideran innovaciones técnicas con la industria 4.0 junto la eficiencia energética, dentro de las fábricas automotrices con el fin de optimizar las fases operativas.

En este sentido, se explora el rol de la sostenibilidad organizacional dentro del contexto del sector automotriz, en el que se aborda el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como referente para alinear estas operaciones con metas planteadas en la Agenda 2030 de la ONU. Igualmente, se reconoce que la incorporación de prácticas de Responsabilidad Social Corporativa (RSC), junto con el uso de estándares como los Informes Global Reporting Initiative (GRI), refleja el compromiso integral por la transparencia en sus prácticas. Por último, se desarrolla un marco de desafíos y oportunidades, a través de una revisión de las prácticas actuales y un análisis del rol de esta industria en la transformación hacia un modelo más responsable y competitivo, determinando cómo con la implementación de la logística verde en los procesos productivos de este sector se generar valor.

11. Planteamiento del problema y pregunta de investigación

El sector automotriz enfrenta constantes desafíos ambientales, económicos y sociales en su transición hacia prácticas más sostenibles. Tradicionalmente, sus procesos productivos y logísticos dentro de la cadena de suministro han generado un impacto ambiental considerable debido a la alta dependencia de materiales y actividades que generan emisiones efecto invernadero y al mismo tiempo generan residuos. Así mismo, la presión de los consumidores y gobiernos, regulaciones ambientales más estrictas y la creciente importancia de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) están llevando a las empresas automotrices a replantearse sus estrategias operativas para minimizar su huella ecológica y mejorar su responsabilidad social.

¿Cómo contribuye la implementación de la logística verde en los procesos productivos del sector automotriz a la generación de valor con impacto en la sostenibilidad social y empresarial?

12. Justificación

En la actualidad la globalización se ha establecido como un eje principal para el desarrollo de la economía mundial, generando así que se intensifiquen las consecuencias sobre el medio ambiente, al mismo tiempo, ha surgido la sostenibilidad como una tendencia creciente para tomar acción por los impactos de la alta industrialización en el planeta. Particularmente, el sector automotriz se ha relacionado como el responsable de un significativo porcentaje de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) a lo largo de todo su Ciclo de Vida, es así, como la implementación de la logística verde se identifica como un medio para generar valor desde la perspectiva ambiental, económica y social.

Pues de esta manera, se justifica que durante sus procesos de producción es posible optimizar el uso de energía en las fábricas, mejorar las técnicas de pintura e incorporar la economía circular en la gestión de residuos; buscando como fin plantear una transformación progresiva de la industria hacia un modelo más sostenible, donde se contribuye al Pacto Mundial por el Medio Ambiente y al mismo tiempo, representa una oportunidad fundamental para que las empresas lo reconozcan como un beneficio de competitividad y crecimiento.

Así entonces, este proyecto de investigación busca profundizar en cómo la implementación de la logística verde en los procesos productivos del vehículo puede generar un valor significativo y diferenciador estratégico en el mercado automotriz global, teniendo en cuenta que la sostenibilidad ha dejado de ser una práctica opcional y se ha convertido en un factor competitivo, donde las empresas que adoptan prácticas responsables logran posicionarse mejor en un mercado exigente y obtienen beneficios integrales.

Por último, al analizar esta relación, la investigación contribuye a una comprensión más profunda de cómo los principios de sostenibilidad junto con la logística verde fortalecen la competitividad y posicionamiento de las empresas en el sector, sustentando que las empresas automotrices deben adoptar una visión a largo plazo que maximice la transparencia y el compromiso con la tendencia global sostenible, cumpliendo con las normativas internacionales para generar confianza.

13. Objetivos

13.1. Objetivo general

Plantear un modelo para implementación de logística verde en los procesos productivos del sector automotriz como generador de valor en la sostenibilidad social y empresarial.

13.2. Objetivos específicos

- Identificar las prácticas potenciales de logística verde aplicables en los procesos productivos del sector automotriz.
- Establecer estrategias de implementación para la mejora optima de recursos, energía y residuos alineadas a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).
- Proponer un modelo de logística verde con trascendencia social, empresarial y ambiental que contribuya a la competitividad de la industria automotriz.

14. Marco de referencia

Desde el principio de la humanidad ha estado presente la necesidad del desplazamiento, así es como el automóvil se reconoce como el resultado de un proceso evolutivo que inició con los carruajes impulsado por tracción animal, la palabra automóvil se deriva del griego autó, «a sí mismo», y del latín mobilis, «que se mueve»; siendo definido como “máquina que transporta personas o cosas de un lugar a otro”. Su historia comienza cuando en 1886 Karl Benz, un ingeniero mecánico alemán, revoluciona la historia presentando el primer automóvil del mundo, pues el 29 de enero de ese año obtuvo la patente que certificaba el modelo Motorwagen, un vehículo con un motor de combustión interna de gasolina en el chasis, que logró movilizarse de manera autónoma mediante un sistema de transmisión por correa. Aun así, estos automóviles carecían de techo, justificado por cuestiones de peso y potencia, pero en 1910 Cadillac creó el primer coche con techo rígido.

Luego, en 1914 la demanda era tan elevada que Henry Ford transformó el modo de fabricar al establecer una cadena de montaje en el que el vehículo se ensamblaba a medida que recorría la planta, así se empezó a producir en masa, pasando de un automóvil cada 12 horas a uno cada 90 minutos, con este sistema se logró alcanzar cifras que hasta entonces eran impensables, como la fabricación de 100 autos por día que incluso alcanzó hasta los 1.000. En el caso de Europa su producción era artesanal y en pequeñas series, por lo que un vehículo en esta época era un artículo de lujo al que solo podían acceder la clase alta, aun así, en Francia se desarrollaron inventos como el parabrisas, los neumáticos y las luces. Sin embargo, en EE.UU., Ford tenía la intención de ofrecer un automóvil al alcance de todos los usuarios con un modelo sin lujos, robusto y a menor precio, el “Ford T”.

En este sentido, durante la primera y segunda guerra mundial (1914 – 1918) (1939 – 1945), se dejó a un lado los automóviles para fabricar armamento, mientras que en Estados Unidos las labores automotrices seguían evolucionando para el trabajo de los militares y civiles, no obstante, en Europa también se avanzó en nuevos modelos de carrocería auto portante, para conseguir una producción más ligera y económica. Así entonces, el vehículo se ha convertido en el periodo de unos cien años, en el principal medio de transporte y en un producto industrial relacionado con el desarrollo, así mismo, el incremento de vehículos ha provocado problemas importantes como la pérdida de vidas humanas, impacto sobre el medio

ambiente, y congestión del tráfico en las ciudades, estas situaciones han alertado tanto a los ciudadanos como a las autoridades sobre el peligro que tiene el uso generalizado del automóvil; donde el diseño y la seguridad reconocen como las dos variables más influyentes para cumplir con las exigencias técnicas de las legislaciones nacionales e internacionales (Fernández, 2016).

De este modo, la competitividad actual del sector automotriz propende de satisfacer la demanda cada vez más específica de los usuarios y al mismo tiempo cumplir con las imposiciones reglamentarias dadas por la crisis del petróleo y por la gran preocupación medioambiental. Así mismo, como respuesta a la preocupación de requerimientos de materiales y emisión de gases efecto invernadero, a través de iniciativas legislativas para exigir vehículos de cero emisiones impulsaron a las empresas automotrices a invertir en la investigación y desarrollo para llevar a cabo una mejora de eficiencia y rendimiento en las baterías con el fin de realizar una transición a vehículos híbridos y eléctricos que han presentado gran acogida dentro del mercado. Igualmente, se destaca que, conforme al avance de la industria automotriz, dentro de un mundo globalizado e interconectado, las soluciones tecnológicas más requeridas por los usuarios de las diferentes marcas son: aviso de ángulos ciegos, frenado de emergencia, alerta de exceso de velocidad, sistema pilotado de aparcamiento, sistema para detectar el cansancio del conductor, dirección electrónica y conectividad a la red.

Por último, se destaca que la innovación se convirtió en la fuerza impulsora al desarrollar sistemas de conducción autónoma, integración de inteligencia artificial y aprendizaje automático que han revolucionado la seguridad y la eficiencia de los vehículos. Adicionalmente, en la búsqueda de transportes sostenibles la ciencia se ha enfocado en progresar hacia la utilización de combustibles alternativos como los biocombustibles y el hidrógeno para lograr una propulsión automotriz más limpia y haciendo la migración desde los fósiles tradicionales como el petróleo o el gas, planteando un sustituto fiable que puede reducir los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero, que contribuye a una reducción de la huella ambiental general del transporte (ArcGIS, 2024).

15. Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación se empleó un método cualitativo que según Sampieri (2014) “comprende los fenómenos al explorarse desde la perspectiva de los participantes en su ambiente natural y en relación con el contexto, que además se apoya de datos cuantitativos”. Así mismo, se complementa con un estudio descriptivo que de acuerdo con Sabino (1992) “muestra las características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, donde se utilizan criterios sistemáticos para poner en manifiesto su estructura y comportamiento”, de este modo se analiza la “Generación de valor desde la implementación de la logística verde en procesos productivos del sector automotriz con impacto de sostenibilidad social y empresarial”, donde se comienza con el proceso mismo de inmersión en el contexto, la recolección de los primeros datos y su análisis por medio de una revisión de literatura sistemática. Así entonces, se seleccionaron los conceptos “clave” para conferirle dirección a la consulta, siendo “*green logistic*”, “*automotive industry*”, “*sustainable development goals*”, “*circularity*” “*energy efficiency*”, “*corporate social responsibility*”, “*industry 4.0*”, “*innovation*”, “*supply chain management*”, “*efficiency*” utilizando el operador booleano de “and”, a fin de tener un límite en las bases de datos Scient Direct y Scopus. Allí se seleccionaron las fuentes primarias en el periodo de tiempo comprendido entre 2019 y 2024, tales como artículos, informes y revisiones en inglés, ya que estas son altamente especializadas y sistematizan en mayor medida la información permitiendo profundizar más en el tema a desarrollar.

Posteriormente, para establecer la utilidad de estas fuentes convino comenzar analizando el *abstract*, las palabras clave y en caso de considerarse de interés se examinaron las conclusiones, observaciones o comentarios finales; y en última instancia, todo el artículo. Cuando se culminó con la compilación de la literatura se consideró la elaboración del mapa de revisión, con el fin de generar los resúmenes de los artículos, como también la extracción de ideas claves, cifras y hallazgos, para luego comenzar la redacción de la investigación. En seguida, se realiza un trabajo de campo para la recolección de datos a una muestra por conveniencia formada por los casos disponibles a los que se tiene acceso, es decir, los principales concesionarios de Tunja (Volkswagen, Mazda, Kia, Nissan, Subaru y Renault) junto con algunos trabajadores de la empresa Autobuses AGA de Colombia SAS, siendo una investigación social sobre individuos con características semejantes que es la muestra

definitiva (Alaminos & Castejón, 2006). A estos se les aplicó un instrumento con el propósito es examinar la forma en que los individuos perciben y experimentan el fenómeno que los rodea, profundizando en sus puntos de vista e interpretaciones. Así entonces se desarrolló una encuesta compuesta por quince (15) preguntas cerradas referentes a cada capítulo de la presente investigación, en las que se contienen opciones de respuesta previamente delimitadas que resultan más fáciles de codificar y analizar, así entonces, se empleó la escala de Likert, presentando juicios en modo de afirmaciones con dirección favorable o positiva y desfavorable o negativa, ante las que se solicitó la reacción de los participantes al elegir uno de los puntos planteados.

16. Desarrollo y resultados de la investigación

16.1 El impacto de la sostenibilidad en la competitividad

En la actualidad, una de las problemáticas que afecta en mayor medida al mundo es el cambio climático, pues a pesar de la necesidad por disminuir los GEI (gases efecto invernadero) para 2050, las emisiones de carbono antropogénicas siguen aumentando de manera constante y creciente (Gebler et al. 2020), por lo que es fundamental aunar esfuerzos para lograr la descarbonización de las actividades sociales y así reducir progresivamente los GEI, en función de que el calentamiento global debe limitarse por debajo de los 2°C según el Acuerdo de París (Rockström et al 2017).

Mientras tanto, en el siglo XXI, la sostenibilidad se ha convertido en la tendencia global para ofrecer una solución a corto, mediano y largo plazo a las problemáticas sociales, económicas y ambientales; este es un término con implicaciones muy profundas que ha alcanzado un estatus de clase mundial rápidamente (Lukin et al. 2022), donde en el Informe “Nuestro Futuro Común” de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, se definió a la sostenibilidad como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para cumplir con sus propias necesidades” (Brundtland et al. 1987).

Luego, en junio 1992, fue celebrada la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Cumbre de la Tierra), en que la que por primera vez se

implementó el concepto de “desarrollo sostenible” a una mayor escala, asegurando que era un objetivo posible a nivel local, nacional, regional e internacional, allí los delegados de 179 países llegaron al acuerdo adoptar nuevas formas de producir y consumir de dentro de límites ecológicos para minimizar el cambio climático y la degradación ambiental (ONU, 2024).

De ahí que, para superar la naturaleza abstracta de la sostenibilidad la ONU (Organización de las Naciones Unidas), por medio del Pacto Mundial, que es la iniciativa voluntaria de gobernanza global más grande del mundo, propone diez principios relacionados con la implementación de buenas prácticas y valores sostenibles en las empresas, en complemento con un modelo de gestión estratégica de seis pasos imperativos, es decir, comprometerse, evaluar, definir, implementar, medir y comunicar los objetivos de sostenibilidad, este Pacto ha sido eficaz para establecer una base común de estándares mínimos de sostenibilidad (Kingo, 2019).

Igualmente, en la Cumbre de la ONU de 2015 llevada a cabo en New York, se reunieron más de 150 líderes mundiales, en la que se aprobó formalmente el nuevo plan titulado “Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”, donde la columna vertebral principal de este acuerdo se constituye por 17 grandes ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible), que buscan abordar problemas globales actuales relacionados con la economía, la sociedad y el medio ambiente, siendo aplicables directamente a las empresas, los gobiernos y la población (SDGS, 2020).

Aunque los ODS no son jurídicamente vinculantes, se espera que la mayoría de países se apropien de estos, estableciendo un marco con sus propias políticas, planes y programas de desarrollo sostenible, pues la ONU también considera que, se debe hacer una transición pronta de proyectos de alianzas pequeños y a corto plazo, a alianzas múltiples y de largo plazo que tengan la capacidad de generar un impacto considerable (Rosati & Faria, 2019).

Ahora bien, estas preocupaciones mundiales con respecto al desarrollo sostenible son un parte importante de la actividad empresarial, y es allí donde surge el concepto de “Sostenibilidad Empresarial” (SO), que conlleva a una reformulación de la visión, misión, estructura, procesos y actividades dentro de la organización, con el fin de aumentar la competitividad y a la vez reducir el impacto ambiental. Así mismo, una de las razones por las que las empresas deben implementar las estrategias sostenibles, es debido a que, la

demanda de productos respetuosos con el medio ambiente está en crecimiento dentro de la mayoría de industrias, en función de que los consumidores buscan sentirse mejor con todo lo que compran (Prashar, 2019). Por su parte, Elechi (2020), asegura que, desde la ética, el medio ambiente es un fin en sí mismo, por lo que se debe tratar con respeto, y donde los seres humanos tienen la obligación moral de protegerlo, preservarlo y sostenerlo; de este modo, con relación a la sostenibilidad, una entidad puede actuar moralmente cuando cumple con esta tendencia y lo hace porque es correcto.

Adicionalmente, las prácticas de sostenibilidad organizacional varían según el tamaño, el nivel de madurez, complejidad en los procesos, planificación estratégica, estructura y los intereses de las partes. La SO, también contribuye a tomar las decisiones orientadas a la reducción del impacto sobre el medio ambiente, por tanto, al implementar enfoques sostenibles, favorece la imagen organizacional, mejora la utilización de recursos y crea las condiciones para obtener una ventaja competitiva (Patón et al. 2019). Es así, como el modelo de Cioca (2019) plantea las siguientes etapas para ser aplicadas a la SO:

- a.** La identificación, evaluación y comprensión de la capacidad organizacional para determinar los factores que afectan el avance de un programa para lanzar el desarrollo sostenible.
- b.** Identificación y evaluación de las actividades realizadas para el desarrollo sostenible.
- c.** Generar el informe basado en la evaluación organizacional.
- d.** Desarrollar un plan de acción para aumentar la probabilidad de SO.

Sin embargo, Wolff et al. (2020), encontraron en su estudio que la falta de comprensión común de la sostenibilidad, de responsabilidad y de objetivos; son los principales desafíos clave para impulsar las medidas de sostenibilidad. En concordancia, con los hallazgos de Engert & Baumgartner (2016) donde se evidencia que, para cerrar esa brecha entre la formulación e implementación de estrategias de SO, se asocia con factores de éxito como: liderazgo, control de gestión, motivación, comunicación y cultura organizacional.

16.2. La industria automotriz como agente de responsabilidad ambiental

En los últimos años, la industria automotriz ha sido objeto de diversas críticas con relación a la sostenibilidad, desde que se desencadenó la polémica del Grupo Volkswagen, a raíz del *Dieselgate*, tras manipular el software para indicar menor cantidad de emisiones contaminantes de las que realmente se generaban en sus vehículos, a partir de esto los fabricantes de esta industria se enfrentan a la fuerte presión pública para que vinculen sus objetivos empresariales con las responsabilidades ambientales y sociales (Wolff et al. 2020). Así mismo, la industria automotriz es responsable de una parte importante de los impactos ambientales antropogénicos generados a lo largo de los años, con un 14% de todas las emisiones directas e indirectas, aumentando un 2% anual desde 1990 (Lamb et al. 2021).

Es cierto que esta industria es uno de los actores más importantes para la economía mundial, pero las preocupaciones sobre su impacto ambiental han aumentado, dada su naturaleza intensiva en recursos dentro de los procesos de fabricación y al mismo tiempo su gran potencial para contribuir significativamente a las huellas ecológicas, de modo que la necesidad por la integración de prácticas logísticas sostenibles se convierte en imperativa (Carpitella, 2024). Esta es una industria en desarrollo continuo y creciente que tiene un enorme potencial para mejorar las condiciones del medio ambiente y lograr un uso más eficiente de los recursos, pues si bien históricamente el principal impulsor de soluciones tecnológicas más sostenibles ha sido la política, pero los avances en industrias como la automotriz, hace pensar que se esté cambiando a un sistema de impulso empresarial (Wolff et al. 2020).

Así mismo, el sector automotriz también se ve afectado por la globalización, ya que de acuerdo con las tendencias de sostenibilidad se les imponen mayores exigencias a los fabricantes, y a su vez también se están fomentando regulaciones legales a nivel nacional y mundial, con relación al consumo de energía, emisiones de GEI y seguridad. Es así, como el mundo actual sería impensable sin los avances tan significativos que ha tenido la industria automotriz, ya que a lo largo del tiempo ha presentado grandes cambios en su actividad, en función de proteger en mayor medida el medio ambiente y ser conscientes de adoptar los ODS, pues esta industria está creando nuevos productos en los que emplea materiales renovables y procesos de producción innovadores (Lukin et al. 2022).

Igualmente, con el propósito de crear valor económico, representa un sistema complejo de conexiones con productos directos e indirectos, por lo que las agencias reguladoras evalúan que estas empresas fabricantes cumplan con los estándares ambientales y disminuyan su impacto negativo en los procesos de producción y los productos; esta situación ha generado que se adopten estrategias comerciales innovadoras y tecnologías de información para lograr paulatinamente los objetivos ambientales y económicos (Cioca et al. 2019).

Por tanto, los fabricantes de automóviles se enfrentan a una doble presión: una para contribuir al medio ambiente y otra para mantener su rendimiento a largo plazo (Kushwaha & Sharma, 2016). De este modo, la industria en cuestión afronta desafíos constantes para mejorar la sostenibilidad dentro de sus procesos de fabricación, haciendo especial énfasis en contribuir a la dimensión económica, ambiental, comercial y de políticas (Giampieri et al. 2020). Así mismo, según Gebler (2020), estas fábricas representan una estructura técnica y operativa compleja que funcionan en conjunto para producir los vehículos, por lo que para lograr su descarbonización implica una comprensión holística y sistémica de todos los flujos de recursos ecológicamente relevantes, implementación de soluciones de mitigación y una planificación del ciclo de vida; considerando que esta industria también tiene un efecto multiplicador en la economía, al involucrar otros sectores como la minería, el acero, los combustibles, los productos químicos (Lenort et al. 2023).

De este modo, también se han desarrollado vehículos con sistemas de propulsión alternativos, como los eléctricos, que se han convertido en una solución integral, ecológica, y sostenible para cumplir con las regulaciones ambientales de reducir las emisiones de GEI, sin embargo, la contaminación generada, se traslada de su fase de uso a la de fabricación, considerando que se ejerce una fuerte presión por la creciente extracción de litio, cobalto y cobre, que han dado lugar a prácticas mineras imprudentes e insostenible (Philippot et al. 2019).

16.3. Cadena de suministro verde integrada a la Industria 4.0

El sistema de gestión de la cadena de suministro (SCM), se define como la coordinación estratégica que integra las funciones, procesos y transacciones dentro de la organización, con el objetivo de mejorar el rendimiento y obtener una ventaja competitiva en el mercado (Sánchez et al. 2020). La SCM, también abarca la gestión del flujo y transformación de los bienes desde la materia prima hasta el usuario final, incluyendo proveedores almacenes, clientes, centros de distribución, capacidad de producción; siendo estos algunos de los recursos involucrados para cumplir con el requerimiento del cliente con respecto al valor, el costo y el tiempo. Igualmente, la gestión de la cadena de suministro ha experimentado diversas transformaciones, al ajustarse constantemente a los cambios de la globalización y de la economía, donde las organizaciones reconocen que ser sostenible y eficaz es un aspecto preponderante, por tanto, las SC se han vuelto más fluidas para adaptarse a la oferta y demanda, pero para lograr una sostenibilidad tanto financiera como de crecimiento, resulta fundamental tener en cuenta: la gestión de la calidad, del conocimiento, del rendimiento, de proyectos y la visualización de datos (Dumitrascu et al. 2020).

Por su parte, la producción de vehículos en la industria automotriz se caracteriza por tener largas cadenas de suministro con diversas tecnologías (Gebler et al. 2020), al mismo tiempo enfrentan la presión de mantener estrictas regulaciones ambientales sin que se comprometan la innovación y los avances alcanzados (Russo et al. 2018), por lo que Xu (2018) cree que las organizaciones se encuentran incorporando tecnologías de la Industria 4.0 (I4.0) dentro de su estrategia y visión corporativa, teniendo en cuenta que esta intenta construir sistemas inteligentes a través de la integración de objetos físicos con tecnologías digitales (Fatorachian & Kazemi, 2020).

De este modo, las cadenas de suministro actuales deben centrarse en vincular e impulsar este tipo de tecnologías como el internet de las cosas (IoT), sistemas ciberfísicos (CPS) y blockchain (BC), con el objetivo de hacer que las operaciones sean eficientes, autónomos y sostenibles (Koh et al. 2019). Así entonces, en el aspecto medio ambiental, contribuye a la reducción del consumo de energía y recursos, como también la disminución de residuos o emisiones de CO₂ durante los procesos de producción y la cadena de suministro (Sarkis & Zhu, 2017). Recientemente, algunos académicos han tratado de identificar la

preparación de la Industria 4.0, junto con el desarrollo de sus modelos de madurez, la evaluación de patrones de adopción y factores críticos para una implementación exitosa (Ghadge et al. 2022).

De la misma manera, se ha trabajado con grandes esfuerzos para digitalizar la industria automotriz, haciendo énfasis en la importancia del implementar el uso de la tecnología 4.0 para mejorar su eficiencia y eficacia dentro de la SCM, ya que de acuerdo con Ghadge et al. (2022), esta es una nueva mentalidad empresarial que contribuye a ejecutar la transición al desarrollo sostenible, ya que puede influir en una cadena de suministro verde (GSC), al combinar el IoT con fábricas y logística inteligente permitiendo tener toda la información en tiempo real sobre las actividades a lo largo de los procesos. Por lo que, varias tecnologías como la impresión 3D, la robótica y la inteligencia artificial (AI), pueden mejorar el diseño de productos, la producción y la eficiencia en la cadena de suministro, respectivamente

Por consiguiente, el uso de análisis de big data (BDA), también puede mejorar de manera significativa la presión de los pronósticos y la planificación de la demanda en la SCM automotriz, igualmente se cree que el IoT, el CPS, el blockchain, la automatización, la robótica y la fabricación aditiva aportan beneficios importantes a esta industria manufacturera, en medida que del IoT, permite una interconexión entre varios dispositivos electrónicos, sensores y máquinas a través de códigos de identificación automática, recopilación de datos y redes de sensores inalámbricos (Farahani et al. 2017). El BC, también resulta altamente aplicable para optimizar la logística debido a su capacidad de rastrear los productos en tiempo real, junto con la recopilación y análisis de grandes cantidades de información (Saber et al. 2019).

Como se muestra en la Figura 1, en el estudio realizado por Ghadge et al (2022) “Vínculo entre la Industria 4.0 y la gestión de la cadena de suministro ecológica: evidencia de la industria automotriz”, se muestra que en H1 y H2, las tecnologías de la Industria 4.0 se correlacionarán positivamente con las prácticas y el desempeño de la GSC, por lo que en H3 se tendría una receptividad adecuada en la GSC, es así como se respalda que la implementación de estas tecnologías dentro de las fábricas y la logística, conducen a una SCM más eficiente y competitiva, en el contexto ambiental y económico del sector

automotriz, por ende, esto ayudaría a que los profesionales adopten de manera progresiva los sistemas de producción inteligentes.

Así como la Industria 4.0 es un facilitador para contribuir a la sostenibilidad en el sector automotriz, la OEE (Efectividad General del Equipo), también lo es, pues se considera una herramienta Lean a fin de determinar y mejorar la eficiencia de los equipos o procesos fabricación maximizando todo su potencial. Así mismo, los principios de la sostenibilidad (ambiental, económico y social) también sirven como conceptos vinculados con la implementación de la OEE, en función de que esta reduce eficazmente las necesidades de materia prima, minimiza el desperdicio de producción y reduce el consumo de energía, lo que conduce a una mejora en el impacto ambiental y garantiza que se optimicen de manera óptima los recursos (Zehra et al. 2024).

La Figura 2, demuestra la relación directa de los elementos que contribuyen a la OEE (disponibilidad, calidad y desempeño) con los factores sostenibles (ambientales, sociales y económicos), evidenciando que existe un vínculo significativo al utilizarse una mejora positiva de la eficacia de los equipos de la OEE, por lo que se fomenta el desarrollo sostenible en las empresas manufactureras del sector automotriz (Zehra et al. 2024).

Igualmente, es pertinente observar a partir de la Figura 3, que los factores clave de la fabricación, es decir, la mejora económica, la conservación del medio ambiente y la eficiencia social, presentan una fuerte interrelación y dependencia de la disponibilidad del sistema, el rendimiento del equipo y la calidad de la producción, lo que se lograría de manera óptima empleado la OEE (Zehra et al. 2024).

Ahora bien, según el estudio realizado por Zehra et al (2024), llamado “Optimización de la fabricación de automóviles: un enfoque holístico que integra la eficacia general de los equipos para lograr una mayor eficiencia y sostenibilidad”, revela que, conforme al anterior información, la OEE también está relacionada con la Industria 4.0, considerando una relación directa en con los siguientes aspectos:

- I. **Toma de decisiones basada en datos:** al aprovechar los datos en tiempo real junto con el análisis detallado del rendimiento de las máquinas mejora de los procesos.

- II. Automatización y fabricación inteligente:** al integrarse tecnologías de la I4.0, se agilizan operaciones, se reducen pérdidas y se mejora la eficiencia, siendo posible un cambio en el panorama de la fabricación.
- III. Conectividad e interoperabilidad:** al incorporarse diversas máquinas y procesos se enfatiza en crear una interconexión fluida a lo largo de la cadena de producción, mejorando el rendimiento.
- IV. Eficiencia, sostenibilidad y optimización de recursos:** se demuestran los objetivos compartidos entre I4.0 y la fabricación sostenible, logrando una producción eficiente.

16.4. Ciclo de Vida dentro de la Logística Verde

El automóvil, como producto específico no solo se trata de las emisiones generadas por el tubo de escape, sino que el proceso de contaminación es mucho más amplio, pues se consume energía y se producen GEI incluso antes de convertirse en un producto terminado, por lo tanto, para determinar el impacto nocivo total de un automóvil sobre el medio ambiente, es relevante observar su ciclo de vida completo, a esto se le llama Análisis del Ciclo de Vida (ACV), comenzando con la extracción de los minerales brutos de la Tierra, seguido en la fase de producción en la que se generan aún más emisiones, para su posterior compra por una persona donde al conducirlo se emiten GEI por el tubo de escape, y por último, se necesita más energía para convertirlo en desechos y reciclarlo nuevamente, para así comenzar una vez más el ciclo de vida (Lukin et al. 2022).

Por su parte, Williams & Blyth (2023), aseguran que las consecuencias ambientales de la industria automotriz no se limitan a la fase de uso, sino que estos impactos se originan en todas las fases del ciclo de vida, dividiéndose en tres fases principales; fabricación, uso y fin de vida; donde los principales impactos sobre el medio ambiente asociados a esta industria son: uso de recursos no renovables durante la operación; uso de agua y energía durante la etapa de fabricación y las emisiones asociadas con la generación de energía; los procesos de fabricación, especialmente la pintura de vehículos, causan contaminación de la tierra, el aire y el agua; logística global utilizada para transportar vehículos después de la fabricación; y flujo de desechos al final de la vida útil.

Así entonces, la evaluación del ciclo de vida respalda la organización técnica por el diseño de procesos y planificación de maquinaria lo que representa una toma de decisiones integradoras de sostenibilidad ambiental y eficiencia operativa, pues es posible una reconceptualización interna de la fábrica (Zheng et al. 2020). Es así, como en el presente proyecto de investigación se propone la logística verde como una recomendación práctica para las empresas productoras de automóviles, concentrándose principalmente en la circularidad de los materiales, la eficiencia de energía y la mejora en los talleres de pintura.

De ahí que Trivellas et al. (2020) afirman que la logística tiene un importante potencial con respecto al control del cuidado del medio ambiente, desde su accionar en los procesos de transporte de mercancías, el reciclado de productos, el ahorro de energía y recursos, la minimización de la contaminación ambiental y demás aspectos de la cadena de suministro que pueden ser abordados desde una logística verde. Considerando “la logística verde como una herramienta que busca optimizar los procesos en medida de ser una forma para disminuir al máximo los residuos y mejorar su disposición reduciendo la presión que el hombre ejerce sobre el planeta” (Suarez & Silva, 2020), se fundamenta la importancia de implementar logística verde dentro de las organizaciones, al expresarse como una oportunidad para generar un crecimiento sostenible, respondiendo a la necesidad de generar valor ambiental, económico y social.

16.5. Estrategias de Circularidad en la Industria Automotriz

En un sistema económico complejo con la globalización de por medio, conlleva a productos y variables cambiantes, por esta razón, la economía circular (CE) busca encontrar soluciones que contribuyan a la sostenibilidad. La CE es un término de gran alcance que incluye, ecosistema industrial, producción más limpia, sistemas de fabricación, diseño de cuna a cuna y economía de rendimiento, entre otros (Korhonen et al. 2019). Adicionalmente, propone que los materiales empleados en los procesos conserven su máximo valor y calidad durante el mayor tiempo posible de la vida útil del producto, esta va más allá de solo ser un simple reciclaje, pues analiza la mejor manera de reutilizar los materiales extraídos en productos que empleen la menor cantidad de recursos y energía, por lo que existen diferentes marcos para que sean implementados (ver Figura 4). Igualmente, se considera que los

requisitos previos para una transición de economía lineal a circular para cualquier empresa son: rechazar, reducir, renovar, repensar y rediseñar.

En la Figura 4, cada uno de los niveles presentado hace referencia a un conjunto de prácticas, por su parte, el nivel 1 implica la reutilización (cuando un producto es desechado mientras está en buenas condiciones y sigue cumpliendo su función original), la renovación (actualización de un producto antiguo) y la reparación (mantenimiento de un producto para ser utilizado en su función original). Ahora bien, el nivel 2 se relaciona con la remanufactura (uso de piezas descartadas para la misma función en un nuevo producto). En cuanto al nivel 3, involucra el reciclaje, compostaje y digestión anaeróbica, lo que corresponde al procesamiento de materiales la obtener menor cantidad de estos. Por último, el nivel 4 integra la gestión y recuperación de residuos, a través del ensamblaje, curado y sedimentación de los productos de desecho y también la incineración de materiales (Morseletto, 2020).

En lugar de simplemente reciclar, para obtener materiales de calidad media o baja, la CE, establece que al reutilizar de manera correcta no se incurriría en volver de nuevo a las materias primas vírgenes, ya que al cambiar el diseño de la cuna a la tumba por el de la cuna a la cuna, es posible obtener una cadena de suministro de circuito cerrado enfocada en prácticas restaurativas y regenerativas (Valladares & Hamza, 2023).

Por su parte, Rajput & Singh (2019), aseguran que la CE, permite la adaptación del sistema industrial a un concepto de fin de vida con restauración y la eliminación de uso de material tóxico, donde se persiga el objetivo de reducir y reutilizar el desperdicio a través de la implementación de modelos de sistemas de productos y materiales, de este modo, las empresas al volverse más circulares, disminuyen su dependencia de recursos y la susceptibilidad a las fluctuaciones de los precios de materiales requeridos para sus procesos. La CE, también ofrece una solución práctica para integrar la fabricación sostenible con la protección del medio ambiente, teniendo en cuenta que con su implementación se brinda un espacio para lograr el crecimiento económico dentro de los límites del planeta y al mismo tiempo garantiza que las empresas puedan continuar operando, pero de una manera las consciente (Molotokienè, 2020). Así mismo, se espera que la Industria 4.0, contribuya a la dimensión ambiental de la sostenibilidad, en medida de que la fabricación de los productos

cree mayor valor, al promover una producción con recursos más limpios y operaciones ecológicas (Ching et al. 2022).

Así entonces, la industria automotriz, es responsable de una parte importante de los impactos ambientales antropogénicos por lo que, en el marco de la economía circular, esta proporciona una solución sólida y sostenible a lo largo del ciclo de vida del automóvil, demostrando que hay evidencia de los planes de varias empresas automotrices para conceptualizar como pueden ingresar a la CE de manera significativa. Por ejemplo, Mercedes Benz, se encuentra rediseñando la fabricación de sus vehículos probando con la incorporación de carrocerías livianas, también está trabajando con aleaciones de aluminio para el capó, guardabarros, techo y tapa del maletero; además, está utilizando materiales con menos sustancias nocivas, por lo que el agua puede retenerse y reutilizarse dentro del ciclo aproximadamente tres veces más (Valladares & Hamza, 2023). Respecto a los niveles 1 y 2 de circularidad mencionados anteriormente se presentan los siguientes aportes de las principales empresas de esta industria en las Tabla 1 y Tabla 2, respectivamente.

De igual manera, también se ha presentado una creciente tendencia de sustituir metales por plásticos, que conlleva a la reducción de peso y, por ende, a menores emisiones, aun así, los desechos plásticos tienen una mayor complejidad para descomponerse y se almacenan en todo el mundo, pero este está cambiando, ya que estos residuos se utilizan como combustible alternativo o se transforman en nuevos productos de construcción (Čabalová et al. 2021).

A pesar de estos cambios y beneficios significativos de los plásticos, su introducción no es tan fácil de recuperar ni reciclar en comparación con los metales, esto se debe a que gran parte de los compuestos automotrices son heterogéneos, lo que significa que hay fuertes conexiones con otros plásticos, haciendo más difícil su reciclaje. Otro problema que surge, son los residuos de trituración, ya que en el momento que el vehículo llega al final de su vida útil el proceso de tratamiento físico y metálico genera más desechos, por lo que, una solución de producción más limpia para el creciente uso de plástico en la industria automotriz es el cambio de estos derivados del petróleo o unos de fuentes renovables (Valladares & Hamza, 2023); estos se denominan bioplásticos, que están compuestos de fibras naturales y

polímeros, pero la cuestión clave es garantizar que no se degraden a lo largo de la vida útil del automóvil (Vieyra et al. 2022).

16.6. Innovaciones técnicas en los talleres de pintura automotriz

Como bien se sabe, los talleres de pintura desempeñan un rol fundamental en los procesos de producción de los vehículos brindando estética y protección contra la corrosión, sin embargo, la integración de prácticas sostenibles en estas instalaciones es crucial para la búsqueda de un futuro automotriz más ecológico (Carpitella, 2024). Pues de acuerdo con Onofre (2020) las operaciones de pintado se han identificado como una de las etapas más contaminantes en la fabricación de automóviles, considerando su elevada demanda de energía, agua, recursos y la generación de residuos, asociados en las plantas de ensamblaje (Chronopoulos, 2020).

Este impacto ambiental está estrechamente derivado de la liberación de compuestos orgánicos volátiles (VOC), contaminantes atmosféricos peligrosos (HAP) y otras emisiones nocivas; aun así, conforme los marcos regulatorios se fortalecen la conciencia ambiental también, existiendo una necesidad creciente de examinar las tecnologías usadas en estas instalaciones (Bysko, 2020). Los métodos tradicionales de pintura implican el uso de recubrimientos a base de aglutinantes, solventes, pigmentos y aditivos que al ser empleados con pistolas de pulverización o sistemas automatizados liberan gran cantidad de sustancias químicas nocivas hacia la atmosfera (Carpitella, 2024).

De este modo, esta problemática representa un riesgo sustancial que debe ser abordado de manera inmediata, por lo que la implementación de un programa en tiempo real de monitoreo ambiental proactivo dentro y alrededor de los talleres de pintura automotriz surge como una posible solución, donde una red sofisticada de sensores y controladores hacen seguimiento al proceso de recubrimiento de carrocerías en blanco, y al integrarse en el marco operativo de los talleres se evaluaría de manera constante las emisiones y la calidad del agua y del aire para informar rápidamente sobre los valores anormales (Carpitella, 2024).

Sin embargo, el desarrollo de este programa se encontraría limitado por diversas barreras categorizadas en: clase alta de complejidad (A), en la que se encuentran desafíos

como la inversión inicial elevada, existencia de obsolescencia tecnológica y resistencia de los empleados. Luego en la clase de complejidad media (B), están los problemas de integración, rotación del personal y prioridades en competencia. Por último, clase de baja complejidad (C), se identifican dificultades como un presupuesto limitado, costos operativos y cumplimiento de los estándares de la industria. Por ende, lo anterior se considera que debe ser abordado desde un enfoque integral que incluya la asignación de recursos, planificación de fuerza laboral y estrategias sólidas de cumplimiento y comunicación, con el fin de establecer una sinergia para abordar estos desafíos (Carpitella, 2024).

16.7. Perspectiva de la eficiencia energética en la fabricación de automóviles

El consumo de energía del sector industrial se caracteriza por ser uno de los mayores contribuyentes, por lo tanto, se convierte en un foco importante para los gobiernos y organismos reguladores, en el caso de la industria automotriz se reconoce como una de las más demandantes al considerar su proceso de fabricación complejo, ya que los componentes de estos automóviles se reúnen en cientos de plantas operadas por diversos OEM (fabricante de equipos originales), que dividen el procesos en tres pasos principales: taller de carrocería, taller de pintura y ensamblaje final; de donde la necesidad de energética es requerida tanto por el equipo de manufactura como por los servicios técnicos del edificio (TBS), entre estos la calefacción, ventilación, aire acondicionado e iluminación. Es así, como el indicador de rendimiento energético (EnPI) más ampliamente aplicado para el análisis y la evaluación de las plantas de producción de automóviles es el consumo específico de energía (SEC), expresado como energía necesaria para producir un vehículo (kWh/veh), como se evidencia en la Figura 5, el SEC para esta industria oscila significativamente entre 900 kWh/veh y 3500 kWh/veh (Flickb et al. 2023).

De igual forma, los OEM automotrices adoptan diferentes procesos y materiales de fabricación, debido a la variedad de modelos en los vehículos, el volumen solicitado y la disponibilidad de los proveedores externos. Sin embargo, el consumo de energía para iluminación depende de los requisitos de las instalaciones, la estructura del edificio y la disponibilidad de luz natural, en caso de realizar trabajo manual intensivo se consume más energía para iluminar. Así mismo, los motores son unos de los mayores procesos de gasto de

energía en las plantas de fabricación, al emplear aire comprimido, ventiladores, bombas o robots; e igualmente las técnicas de soldadura de piezas por puntos, por haz de laser, con gas inherente metálico (MIG) o con gas activo metálico (MAG), junto con las operaciones de pintado y sellado de los vehículos (Giampieri et al. 2020).

En este sentido, el aumento de eficiencia energética en la fabricación de automóviles representa una estrategia común para mejorar el desempeño ambiental en las plantas, en el caso de Volkswagen ha aumentado su rendimiento de energía en un 2,39% anual por vehículo en el periodo 2010 – 2018, de esta manera, una progresiva transición a paneles solares junto con un sistema de almacenamiento de energía en baterías (BESS), que garanticen constantemente el suministro de energía (Gebler, 2020).

16.8. Cumplimiento de los ODS con empresas del sector automotriz

Si bien la ONU considera que todos los ODS son igualmente importantes, corresponde a cada empresa interpretar y priorizar su implementación, ya que estos son uno de los impulsores más significativos dentro de cada organización al momento de orientarse hacia la sostenibilidad, estos permiten alinearse en la selección de estrategias específicas, pues de acuerdo con el Pacto Mundial de las Naciones Unidas, todos los ODS pueden dividirse en tres grupos según cómo la práctica empresarial puede afectarlos: “liderar y dar forma”, “cooperar con otros” y “seguir y amplificar”, donde algunas empresas prefieren concentrarse en un número limitado de ODS, mientras que otras intentan involucrarse en la mayoría de los objetivos (Calabrese, 2021). En cuanto a la industria automotriz la Tabla 3, presenta los avances en materia de contribución de las principales empresas fabricantes de automóviles en el mundo.

También se establece que factores como el continente donde se encuentra la empresa, afecta directamente las preferencias por los ODS, debido a la heterogeneidad de aspectos geográficos, sociales y culturales; como también el desempeño económico del país, de manera que la contribución de las empresas automotrices a la Agenda 2030 se condiciona a los riesgos y oportunidades que cada objetivo representa.

16.9. Responsabilidad Social Corporativa (RSC) y los Informes GRI

Ahora bien, la Global Reporting Initiative (GRI), es una fundación sin ánimo de lucro creada en 1997, donde se estableció un marco para que las empresas generen un informe sobre su desarrollo sostenible, la GRI, ha sido ampliamente implementada por el 92% de las 250 empresas más grandes del mundo y continúa adoptándose. Esta iniciativa, proporciona una imagen completa y equilibrada de los temas de sostenibilidad, creando un lenguaje común entre cualquier organización grande o pequeña, pública o privada, de cualquier sector o ubicación, donde a través de la elaboración de estos informes públicos sobre los impactos económicos, ambientales y sociales dentro de la empresa, se muestra si sus contribuciones son positivas o negativas hacia el desarrollo sostenible (Wolff, 2020).

La estructura de la GRI se divide en estándares universales que son GRI 101 (fundamentos), 102 (información general), 103 (enfoque de gestión); y los estándares temáticos serie 200 (economía) como desempeño económico y presencia en el mercado, serie 300 (ambiental) como energía y residuos y serie 400 (social) como salud y seguridad en el trabajo; cada estándar incluye varias divulgaciones específicas que deben informarse de manera cualitativa y cuantitativa. Adicionalmente incluyen requerimientos (lo que se debe), recomendaciones (lo que se debería) y directrices (antecedentes) (ANDI, 2022).

Ahora bien, las prácticas de sostenibilidad y aplicación de conceptos sociales, económicos y ambientales dentro de las empresas pueden enmarcarse en la responsabilidad social corporativa (RSC), siendo definida como el compromiso de una empresa con el desarrollo sostenible más allá de sus obligaciones legales, incluyendo los principios de transparencia, ética, derechos humanos, medio ambiente y comunidad (Wolff, 2020).

En cuanto al sector automotriz estos dos conceptos están estrechamente relacionados debido a que los informes GRI, permiten conocer el impacto ambiental dentro de su cadena de suministro (SCM), incluyendo el uso de materias primas, el consumo de energía, la gestión de residuos y el ciclo de vida de los vehículos. Por su parte, la RSC se asegura el compromiso constante con la sostenibilidad, alineando sus prácticas de fabricación en el cumplimiento de los ODS, siendo un claro ejemplo grandes empresas como Toyota, Volkswagen, Ford y Mercedes Benz que publican estos informes anualmente en sus páginas web oficiales.

16.10. Encuesta de percepción aplicada a una muestra por conveniencia en los concesionarios de Tunja

El objetivo de esta encuesta fue recopilar información cualitativa enfocándose en entender la perspectiva de colaboradores del área directiva, administrativa, comercial de concesionarios en Tunja como Volkswagen, Mazda, Kia, Nissan, Subaru y Renault, relacionando el impacto social y ambiental de la implementación de la logística verde en el sector automotriz. Así mismo se aplicó bajo una muestra por conveniencia que fue elegida debido a la accesibilidad y disponibilidad de los participantes, asegurando que fuera respondida por personas con experiencia directa en el ámbito de los concesionarios y conocimiento práctico sobre las operaciones automotrices. Por último, se resalta que se realizaron quince (15) preguntas, cuatro (4) orientadas a la caracterización del encuestado y once (11) dirigidas a los temas abordados dentro del presente proyecto de investigación, analizadas de la siguiente manera.

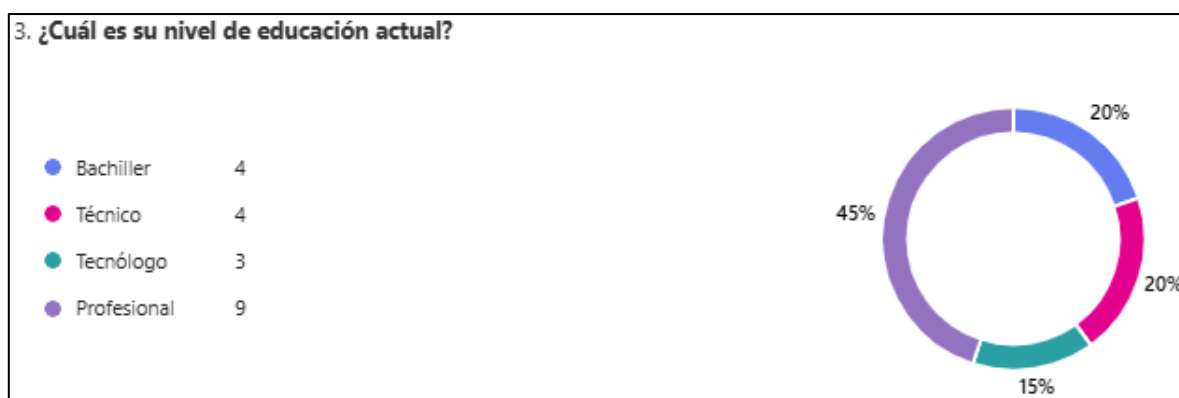
Figura 6. Pregunta 2 en la encuesta de percepción a seis concesionarios en Tunja.



Fuente: Elaboración propia

De las 20 personas encuestadas el 60% (12) fueron hombres y el 40% (8) mujeres.

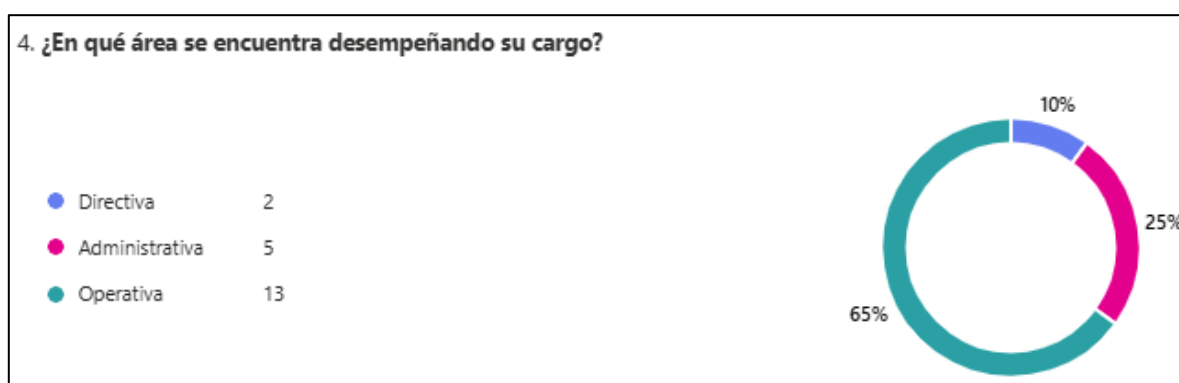
Figura 7. Pregunta 3 en la encuesta de percepción a seis concesionarios en Tunja.



Fuente: Elaboración propia

Respecto al nivel de educación, de las 20 personas encuestadas 45% (9) fueron profesionales, el 20% (4) bachilleres, el 20% (4) técnicos y por último el 15% tecnólogos.

Figura 8. Pregunta 4 en la encuesta de percepción a seis concesionarios en Tunja.



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las áreas de trabajo de los colaboradores, se realizó dentro de la operativa con 65% (13), en la administrativa con 25% (5) y finalmente en la directiva con 10% (2).

Figura 9. Pregunta 5 en la encuesta de percepción a seis concesionarios en Tunja.



Fuente: Elaboración propia

Con referencia al impacto de las políticas ambientales en competitividad de las empresas automotrices, se reconoce que 40% lo destaca como Muy positiva, el 25% positiva, el 20% Neutral y el 15% Negativa, de manera que esto sugiere que un 65% de los participantes considera que este tipo de políticas son beneficiosas para la empresa y se fortalece su posición en el mercado, lo que llevaría a una mayor confianza de los clientes por adoptar un compromiso con el medio ambiente.

Figura 10. Pregunta 6 en la encuesta de percepción a seis concesionarios en Tunja.



Fuente: Elaboración propia

En relación con la importancia de adoptar practicas sostenibles en la industria automotriz, se muestra que el 75% lo considera muy importante y el 25% importante, por lo que el 100% lo reconocen con un hecho fundamental que refleja una conciencia significativa sobre el valor estratégico de la sostenibilidad, que también actúa en torno de crecientes demandas ambientales y sociales.

Figura 11. Pregunta 7 en la encuesta de percepción a seis concesionarios en Tunja.

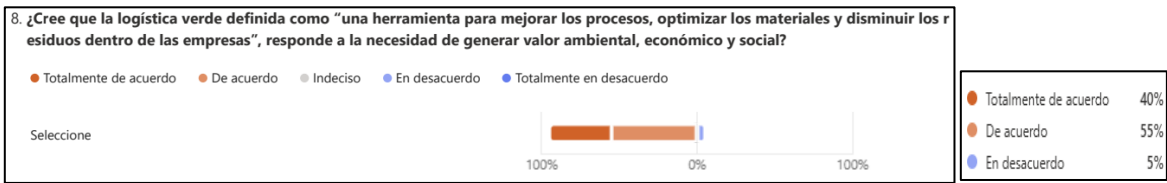


Fuente: Elaboración propia

Respecto al impacto de incluir tecnologías 4.0 en la cadena de suministro automotriz para ser más eficientes y sostenibles, se destaca un 20% Muy positivo, un 60% Positivo, Neutral 15% y Negativo 5%, en este sentido el 80% se percibe que sería favorable, al reflejar un reconocimiento del potencial de estas tecnologías para reducir costos, optimizar recursos y disminuir el impacto ambiental en las operaciones automotrices, respaldando que las

tecnologías emergentes son vistas como soluciones estratégicas para abordar las demandas cambiantes.

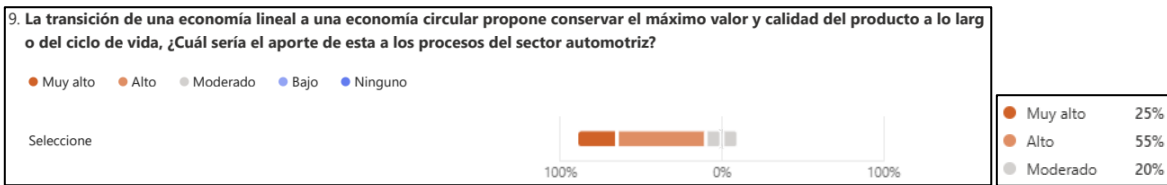
Figura 12. Pregunta 8 en la encuesta de percepción a seis concesionarios en Tunja.



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la generación de valor ambiental, económico y social con la logística verde, las respuestas recibidas fueron un 40% Totalmente de acuerdo, De acuerdo 55% y el Desacuerdo 5%, lo que denota una aceptación del 95% en un contexto empresarial, al reconocer esta herramienta como un referente para la mejora en diversos aspectos.

Figura 13. Pregunta 9 en la encuesta de percepción a seis concesionarios en Tunja.



Fuente: Elaboración propia

Con referencia al aporte de la transición progresiva de economía lineal a una circular en los procesos automotrices, la percepción resultante fue un 25% Muy alto, un 55% Alto y un 20% Moderado, comprendiendo que un 80% destaca como importante y positivo la amplia aceptación de la economía circular como un modelo de gestión valioso para ser más sostenible y eficiente dentro de la industria automotriz.

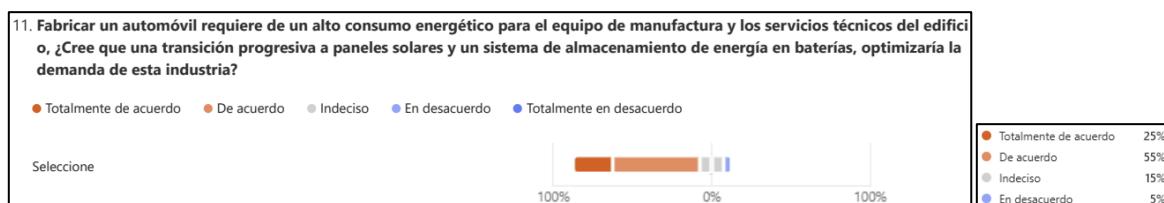
Figura 14. Pregunta 10 en la encuesta de percepción a seis concesionarios en Tunja.



Fuente: Elaboración propia

En relación con la propuesta de implementación de un programa de monitoreo en tiempo real para los procesos de pintura, un 25% lo considera Muy importante, un 60% Importante y un 15% Algo importante, de este modo en total un 80% lo identifica como una iniciativa significativa e innovadora sobre la necesidad de gestionar y reducir las emisiones contaminantes en una de las etapas más críticas de la fabricación automotriz.

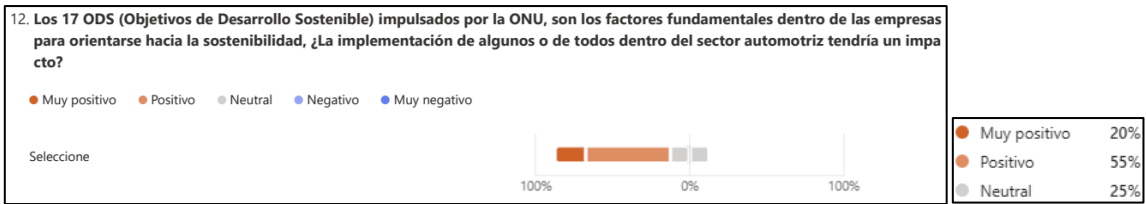
Figura 15. Pregunta 11 en la encuesta de percepción a seis concesionarios en Tunja.



Fuente: Elaboración propia

Respecto a la optimización de la demanda de esta industria dada por la transición paulatina a fuentes de energía renovable, el 25% se encuentra Totalmente de acuerdo, el 55% De acuerdo, el 15% Indeciso y el 5% en desacuerdo, así entonces se alcanza la aprobación del 80%, lo que sugiere una fuerte inclinación hacia la adopción de energías renovables como una solución óptima para reducir el consumo energético y los costos asociados.

Figura 16. Pregunta 12 en la encuesta de percepción a seis concesionarios en Tunja.



Fuente: Elaboración propia

En cuanto al impacto de la implementación de algunos o la mayoría de ODS dentro de la industria automotriz, la percepción resultante fue de 20% Muy positivo, 55% Positivo y 25% Neutral, de manera que un 75% considera que se presentaría un valor favorable que contribuiría significativamente a las expectativas de los consumidores, reguladores y otros grupos de interés para estar acorde a la tendencia de la ONU.

Figura 17. Pregunta 13 en la encuesta de percepción a seis concesionarios en Tunja.



Fuente: Elaboración propia

Con referencia a la inclusión de Responsabilidad Social Empresarial (RSE) dentro de la gestión estratégica de este tipo de empresas, se destaca que un 40% lo reconocieron como Muy importante, un 50% importante y un 10% Algo importante, lo que implica un 90% de percepción favorable, ya que se comprende como un eje fundamental de competitividad al ser más conscientes de prácticas empresariales sostenibles.

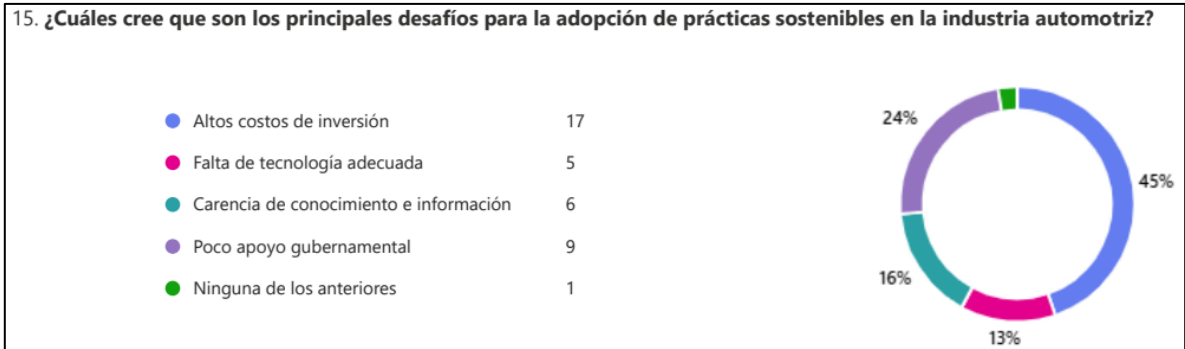
Figura 18. Pregunta 14 en la encuesta de percepción a seis concesionarios en Tunja.



Fuente: Elaboración propia

En relación con el cumplimiento de reducir los GEI por medio de los automóviles eléctricos como solución integral sostenible, el 25% esta Totalmente de acuerdo, el 40% De acuerdo y el 35% Indeciso, es así como el 65% identifica este nuevo tipo de automóviles como un factor determinante y con alto potencial para que esta industria contribuya de manera significativa al acuerdo por el clima.

Figura 19. Pregunta 15 en la encuesta de percepción a seis concesionarios en Tunja.



Fuente: Elaboración propia

Respecto a los principales desafíos para cumplir con la adopción de prácticas sostenibles en la industria automotriz, se reconoce que un 45% (17) indica ser por los altos costos de inversión, un 24% (9) por el poco apoyo gubernamental, un 16% (6) por la carencia de conocimiento e información, un 13% (5) por la falta de tecnología adecuada, de manera que a pesar de que se tenga la intención de aportar en mayor medida a esta tendencia sostenible persisten limitantes notables que deberían ser abordadas de manera conjunta alineadas a las necesidades de esta industria.

17. Conclusiones y recomendaciones

En primer lugar, se identificaron varias prácticas de logística verde que pueden aplicarse efectivamente dentro de la industria automotriz, como la economía circular, la optimización del consumo energético y el uso de insumos de menor impacto ambiental. Este análisis confirmó que la implementación de esta logística en el sector requiere una visión integral del ciclo de vida, de la fabricación, uso y fin de vida útil, esto permite reducir la huella de carbono de la industria y maximizar el uso de recursos. Además, el análisis de la logística verde se destaca por estar estrechamente vinculada con prácticas de Responsabilidad Social Corporativa (RSC), lo que mejora la percepción de las empresas automotrices y su compromiso hacia la sostenibilidad.

Un punto central en el desarrollo de este proyecto fue la relación entre las estrategias de logística verde y su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), teniendo en cuenta que prácticas de optimización de recursos permiten reducir el consumo de energía, minimizando los residuos generados y, al mismo tiempo, mitigando el impacto ambiental. En particular, la investigación encontró que las innovaciones en los talleres de pintura, como el uso de sistemas de recubrimiento ecológico, pueden reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en el proceso, contribuyendo a la mejora de la calidad del aire y al cumplimiento de los ODS 12 (producción y consumo responsable) y 13 (acción por el clima).

Como resultado final, se propone un modelo de logística verde que integra aspectos sociales, empresariales y ambientales, diseñado para fortalecer la competitividad del sector automotriz mediante la mejora de la sostenibilidad, incluyendo el desarrollo de políticas orientadas a asegurar una cadena de valor sostenible, donde también se promueve la participación de la industria en programas de responsabilidad social y ambiental, como los informes GRI, que desempeñan un rol fundamental en la transparencia y en el seguimiento del impacto de las prácticas implementadas.

La inclusión de herramientas de Industria 4.0 en el ámbito de la logística verde, aporta innovaciones tecnológicas que transforman la eficiencia operativa, tales como el Internet de las Cosas (IoT), el análisis de datos y los sistemas de inteligencia artificial permiten una

supervisión más precisa y una toma de decisiones basada en datos, que contribuyen a la reducción de desechos y al uso eficiente de los recursos.

Se concluye que la implementación de la logística verde se convierte, por tanto, en un factor de éxito que no solo permite a las empresas cumplir con las regulaciones ambientales cada vez más estrictas, sino que también abre nuevas oportunidades de mercado al posicionar a la empresa como líder en sostenibilidad, para responder a la creciente demanda de consumidores y socios comerciales que prefieren productos responsables con el medio ambiente.

Así mismo, conforme a los resultados obtenidos en la encuesta se evidencia una percepción positiva y comprometida de los concesionarios en Tunja y la empresa AGA, con respecto al impacto de la logística verde en la industria automotriz, donde se reconoce que las políticas ambientales contribuyen de manera significativa a la competitividad, lo que refleja un reconocimiento del potencial de tecnologías de industria 4.0, economía circular, transición a una eficiencia energética y cumplimiento de los ODS, para optimizar recursos y reducir el impacto ambiental, en donde se consolidan como estrategias clave para alcanzar la eficiencia y sostenibilidad en las operaciones.

Finalmente, el análisis de la industria automotriz como agente de responsabilidad ambiental confirma que este sector tiene la capacidad y responsabilidad de liderar cambios significativos en favor de la sostenibilidad, demostrando que la industria no solo es capaz de adaptarse a las demandas ambientales, sino de actuar como motor de cambio, ya que si las estrategias de logística verde, se adoptan de manera integral, representan un potencial significativo para transformar los modelos de negocio en sistemas más responsables y conscientes de su impacto.

18. Referencias Bibliográficas

- Alaminos, A., & Castejón, J. (2006). *Elaboración, análisis e interpretación de encuestas, cuestionarios y escalas de opinión*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/16372347.pdf>
- ANDI. (2022). *Global Reporting Initiative*. Obtenido de <https://www.andi.com.co/uploads/GRI-sostenibilidad-2022.pdf>
- ArcGIS. (22 de Abril de 2024). *The Evolution of the Automotive Industry*. Obtenido de <https://storymaps.arcgis.com/stories/1cb045ec69b84362a4a31e2e7a31ed76>
- Brundtland, G., Khalid, M., & Agnelli, S. (20 de Marzo de 1987). *Our Common Future ('Brundtland Report')*. Obtenido de <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- Bysko, S., Krystek, J., & Bysko, S. (Febrero de 2020). *Automotive Paint Shop 4.0*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835218305965>
- Čabalová, I., Ház, A., Krilek, J., Bubeniková, T., Melicherčík, J., & Kuvík, T. (3 de Julio de 2021). *Recycling of Wastes Plastics and Tires from Automotive Industry*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/13/2210>
- Calabrese, A., Costa, R., Gastaldi, M., Levialdi, N., & Villazon, R. (15 de Octubre de 2021). *Implications for Sustainable Development Goals: A framework to assess company disclosure in sustainability reporting*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621028274>
- Carpitella, S. (7 de Febrero de 2024). *Overcoming Barriers to Digital Transformation towards Greener Supply Chains in Automotive Paint Shop Operations*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/5/1948>
- Carpitella, S. (27 de Febrero de 2024). *Overcoming Barriers to Digital Transformation towards Greener Supply Chains in Automotive Paint Shop Operations*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/5/1948>
- Ching, N., Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Maroufkhani, P., & Asadi, S. (1 de Febrero de 2022). *Industry 4.0 applications for sustainable manufacturing: A systematic literature review and a roadmap to sustainable development*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621042992>
- Chronopoulos, G., Cakmak, G.-E., Tempany, P., & Klein, G. (2020). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document on Surface Treatment Using Organic Solvents including Preservation of Wood and Wood Products with Chemicals*. Obtenido de https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2021-06/jrc122816_sts_2020_final.pdf

- Cioca, L., Ivascu, L., Turi, A., Artene, A., & Gaman, G. (15 de Noviembre de 2019). *Sustainable Development Model for the Automotive Industr.* Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/22/6447#B1-sustainability-11-06447>
- Dachyar, M. (2019). *Original Equipment Manufacturer (OEM) Site Selection of Traditional Medicine Companies in Indonesia.* Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/598/1/012090/pdf>
- Dumitrascu, O., Dumitrascu, M., & Dobrota, D. (30 de Octubre de 2020). *Performance Evaluation for a Sustainable Supply Chain Management System in the Automotive Industry Using Artificial Intelligence.* Obtenido de <https://www.mdpi.com/2227-9717/8/11/1384>
- Elechi, M. (2020). *UTILITARIAN CONSEQUENTIALISM IN ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY: AN EVALUATION.* Obtenido de <https://www.nigerianjournalonline.com/index.php/EVAIA/article/view/1260>
- Engert, S., & Baumgartner, R. (1 de Febrero de 2016). *Corporate sustainability strategy – bridging the gap between formulation and implementation.* Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615018259>
- Farahani, P., Meier, C., & Wilke, J. (2017). *Digital Supply Chain Management Agenda for the Automotive Supplier Industry.* Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-40967-2_8
- Fatorachian, H., & Kazemi, H. (14 de Enero de 2020). *Impact of Industry 4.0 on supply chain performance.* Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09537287.2020.1712487>
- Fernández, O. (2016). *La evolución del automóvil.* Obtenido de <https://bibliotecavirtualsenior.es/wp-content/uploads/2016/05/La-evolucion-del-automovill.pdf>
- Flickb, D., Vrunab, M., Bartos, M., Ji, L., Herrmann, C., & Thiede, S. (2023). *Machine learning based internal and external energy assessment of automotive factories.* Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850623000781#bib0005>
- Gebler, M., Cerdas, J. F., Thiede, S., & Herrmann, C. (10 de Octubre de 2020). *Life cycle assessment of an automotive factory: Identifying challenges for the decarbonization of automotive production – A case study.* Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620323775>
- Ghadge, A., Mogale, D., Bourlakis, M., Maiyar, L., & Moradlou, H. (Julio de 2022). *Link between Industry 4.0 and green supply chain management: Evidence from the automotive industry.* Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036083522200362X>

- Giampieri, A., Ling-Chin, J., Mab, Z., Smallbone, A., & Roskilly, A. (1 de Marzo de 2020). *https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919317611*. Obtenido de *https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919317611*
- IBM. (2023). *¿Qué es la RSE?* Obtenido de *https://www.ibm.com/mx-es/topics/corporate-social-responsibility*
- Kingo, L. (2019). *The UN Global Compact: Finding Solutions to Global Challenges*. Obtenido de UN: *https://www.un.org/en/un-chronicle/un-global-compact-finding-solutions-global-challenges*
- Koh, L., Orzes, G., & Jia, F. (20 de Diciembre de 2019). *The fourth industrial revolution (Industry 4.0): technologies disruption on operations and supply chain management*. Obtenido de *https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJOPM-08-2019-788/full/html*
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2019). *Circular Economy: The Concept and its Limitations*. Obtenido de *https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800916300325*
- Kushwaha, G., & Sharma, N. (10 de Mayo de 2016). *Green initiatives: a step towards sustainable development and firm's performance in the automobile industry*. Obtenido de *https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615010008*
- Lamb, W., Wiedmann, T., & Pongratz, J. (29 de Junio de 2021). *A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018*. Obtenido de *https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abee4e/meta*
- Lenort, R., Wicher, P., & Zapletal, F. (10 de Febrero de 2023). *On influencing factors for Sustainable Development goal prioritisation in the automotive industry*. Obtenido de *https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622052921#b2*
- Lukin, E., Krajnović, A., & Bosna, J. (28 de Marzo de 2022). *Sustainability Strategies and Achieving SDGs: A Comparative Analysis of Leading Companies in the Automotive Industry*. Obtenido de *https://www.mdpi.com/2071-1050/14/7/4000#B16-sustainability-14-04000*
- Manrique, M. (2019). *Supply chain management: a look from the theoretical perspective*. Obtenido de *https://www.redalyc.org/journal/290/29062051009/html/*
- Masson, V. (2019). *Global warming of 1.5°C*. Obtenido de *https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf*
- Molotkienè, E. (2020). *A Philosophical analysis of the concept of sustainable development*. Obtenido de *https://core.ac.uk/reader/327108970*

- Morseletto, P. (Febrero de 2020). *Targets for a circular economy*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344919304598>
- Munich Business School. (s.f.). *Ciclo de vida del producto*. Obtenido de <https://www.munich-business-school.de/es/l/diccionario-de-estudios-empresariales/ciclo-de-vida-del-producto#:~:text=Definici%C3%B3n%20del%20ciclo%20de%20vida%20del%20p,roducto&text=Describe%20el%20cambio%20en%20las,de%20costes%2C%20ventas%20y%20beneficios>.
- Onofre, A., Godina, R., Carvalhob, H., & Catarino, I. (1 de Noviembre de 2020). *Eco-innovation in the cleaning process: An application of dry ice blasting in automotive painting industry*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620330328>
- ONU. (2024). *United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil, 3-14 June 1992*. Obtenido de <https://www.un.org/es/conferences/environment/rio1992>
- Parlamento Europeo. (24 de Mayo de 2023). *Economía circular: definición, importancia y beneficios*. Obtenido de <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>
- Patón, D., Baldassarre, M., Rodríguez, M., & Piattini, M. (Julio de 2019). *Application of ISO 14000 to Information Technology Governance and Management*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920548918303684>
- Philippot, M., Alvarez, G., & Ayerbe, E. (19 de Febrero de 2019). *Eco-Efficiency of a Lithium-Ion Battery for Electric Vehicles: Influence of Manufacturing Country and Commodity Prices on GHG Emissions and Costs*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2313-0105/5/1/23>
- Prashar, A. (20 de Octubre de 2019). *Towards sustainable development in industrial small and Medium-sized Enterprises: An energy sustainability approach*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619323856>
- Rajput, S., & Singh, S. (Diciembre de 2019). *Connecting circular economy and industry 4.0*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268401218311599>
- Rockström, J., Gaffney, O., Rogelj, J., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., & Joachim, H. (24 de Marzo de 2017). *A roadmap for rapid decarbonization*. Obtenido de <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.aah3443>
- Rosati, F., & Faria, L. (1 de Abril de 2019). *Addressing the SDGs in sustainability reports: The relationship with institutional factors*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618338150>

- Russo, T., Tregua, & De Chiara, A. (2018). *Trends and Drivers in CSR Disclosure: A Focus on Reporting Practices in the Automotive Industry*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10551-016-3235-2>
- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). *Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management*. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2018.1533261>
- Sabino, C. (1992). *El proceso de investigación*. Obtenido de https://paginas.ufm.edu/sabino/ingles/book/proceso_investigacion.pdf
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. Obtenido de https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Sánchez, R., Cruz, S., Ojeda, S., & Ramirez, E. (27 de Agosto de 2020). *Sustainable Supply Chain Management—A Literature Review on Emerging Economies*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/17/6972>
- Sarkis, J., & Zhu, Q. (2017 de Agosto de 2017). *Environmental sustainability and production: taking the road less travelled*. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2017.1365182>
- SDGS. (2020). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Obtenido de <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Suarez, D., & Silva, C. (2020). *La logística verde como estrategia de competitividad, empresas ambientalmente racionales y el uso eficaz de los recursos*. Obtenido de <https://www.editorialeidec.com/wp-content/uploads/2020/07/LA-LOGISTICA-VERDE-COMO-ESTRATEGIA-DE-COMPETITIVIDAD-EMPRESAS-AMBIENTALMENTE-RA.pdf>
- Sukhodolov, Y. (2019). *The Notion, Essence, and Peculiarities of Industry 4.0 as a Sphere of Industry*. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-94310-7_1
- Trivellas, P., Malindretos, G., & Reklitis, P. (15 de Diciembre de 2020). *Implications of Green Logistics Management on Sustainable Business and Supply Chain Performance: Evidence from a Survey in the Greek Agri-Food Sector*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/24/10515>
- UN. (2024). *Sostenibilidad*. Obtenido de <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/sostenibilidad>
- UNDP. (2024). *¿Qué son los Objetivos de Desarrollo Sostenible?* Obtenido de <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

- Valladares, H., & Hamza, R. (Agosto de 2023). *Automotive industry's circularity applications and industry 4.0*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010023000495>
- Vieyra, H., Molina, J., Calderón, J., & Santana, A. (21 de Agosto de 2022). *Engineering, Recyclable, and Biodegradable Plastics in the Automotive Industry: A Review*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/16/3412>
- Williams, I., & Blyth, M. (1 de Febrero de 2023). *Autogeddon or autoheaven: Environmental and social effects of the automotive industry from launch to present*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/22/6447#B1-sustainability-11-06447>
- Wolff, S., Brönnner, M., Held, M., & Lienkamp, M. (10 de Diciembre de 2020). *Transforming automotive companies into sustainability leaders: A concept for managing current challenges*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620342244>
- WWF. (2019). *¿Qué son los Gases de Efecto Invernadero (GEI)?* Obtenido de <https://www.wwf.org.co/?325754/Que-son-los-Gases-de-Efecto-Invernadero-GEI>
- Xu, L. (2018). *Industry 4.0: state of the art and future trends*. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Zehra, K., Mirjat, N., Shakih, S., Harijan, K., Kumar, L., & Assad, M. (3 de Abril de 2024). *Optimizing Auto Manufacturing: A Holistic Approach Integrating Overall Equipment Effectiveness for Enhanced Efficiency and Sustainability*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/7/2973>
- Zheng, J., Zhou, X., Yu, Y., Wu, J., Ling, W., & Ma, H. (20 de Abril de 2020). *Low carbon, high efficiency and sustainable production of traditional manufacturing methods through process design strategy: Improvement process for sand casting defects*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619347870>

19. Anexos

Proyecto de Investigación: Generación de Valor desde la Implementación de la Logística Verde en Procesos Productivos del Sector Automotriz con Impacto de Sostenibilidad Social y Empresarial

La Universidad Santo Tomás, como Institución de Educación Superior, entidad sin ánimo de lucro, identificada con NIT 860.012.357-6, en cumplimiento de lo previsto en el Decreto 1377 de 2013, reglamentario de la Ley 1581 de 2012, y actuando en su calidad de Responsable del Tratamiento de Datos, solicita su autorización para que, de manera previa, expresa, libre, y debidamente informada, permita dar tratamiento a los datos personales de identificación y contacto que suministra a través del presente formulario. La finalidad por la que la Universidad recolecta los datos aquí solicitados es: **Proyecto de Investigación: Generación de Valor desde la Implementación de la Logística Verde en Procesos Productivos del Sector Automotriz con Impacto de Sostenibilidad Social y Empresarial.**

A. Acepto

B. No acepto

1. Seleccione su género

a. Masculino

b. Femenino

2. ¿Cuál es su nivel de educación actual?

a. Bachiller

b. Técnico

c. Tecnólogo

d. Profesional

3. ¿En qué área se encuentra desempeñando su cargo?

a. Directiva

b. Administrativa

c. Operativa

- 4. ¿En qué medida las políticas ambientales afectan la competitividad de las empresas automotrices?**
- a. Muy positiva
 - b. Positiva
 - c. Neutral
 - d. Negativa
 - e. Muy negativa
- 5. ¿Qué tan importante considera que es adoptar prácticas de sostenibilidad empresarial en la industria automotriz para ser más competente?**
- a. Muy importante
 - b. Importante
 - c. Algo importante
 - d. Poco importante
 - e. No es importante
- 6. Según su criterio, ¿Los automóviles eléctricos son una solución integral, ecológica, y sostenible para cumplir con las regulaciones ambientales de reducir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI)?**
- a. Totalmente de acuerdo
 - b. De acuerdo
 - c. Indeciso
 - d. En desacuerdo
 - e. Totalmente en desacuerdo
- 7. ¿El impacto de incluir elementos de la Industria 4.0 (Inteligencia Artificial, Internet de las Cosas, Blockchain) en la gestión de cadena de suministro (SCM) automotriz para ejecutar operaciones más eficientes y sostenibles, sería?**
- a. Muy positivo
 - b. Positivo

- c. Neutral
 - d. Negativo
 - e. Muy negativo
- 8. ¿Cree que la logística verde definida como “una herramienta para mejorar los procesos, optimizar los materiales y disminuir los residuos dentro de las empresas”, responde a la necesidad de generar valor ambiental, económico y social?**
- a. Totalmente de acuerdo
 - b. De acuerdo
 - c. Indeciso
 - d. En desacuerdo
 - e. Totalmente en desacuerdo
- 9. La transición de una economía lineal a una economía circular propone conservar el máximo valor y calidad del producto a lo largo del ciclo de vida, ¿Cuál sería el aporte de esta a los procesos del sector automotriz?**
- a. Muy alto
 - b. Alto
 - c. Moderado
 - d. Bajo
 - e. Ninguno
- 10. Se ha identificado que las operaciones de pintado son una de las etapas más contaminantes en la fabricación de automóviles, ¿Considera que la aplicación de un programa en tiempo real para el monitoreo ambiental de las emisiones sería?**
- a. Muy importante
 - b. Importante
 - c. Algo importante
 - d. Poco importante
 - e. No es importante

11. Fabricar un automóvil requiere de un alto consumo energético para el equipo de manufactura y los servicios técnicos del edificio, ¿Cree que una transición progresiva a paneles solares y un sistema de almacenamiento de energía en baterías, optimizaría la demanda de esta industria?

- a. Totalmente de acuerdo
- b. De acuerdo
- c. Indeciso
- d. En desacuerdo
- e. Totalmente en desacuerdo

12. Los 17 ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) impulsados por la ONU, son los factores fundamentales dentro de las empresas para orientarse hacia la sostenibilidad, ¿La implementación de algunos o de todos dentro del sector automotriz tendría un impacto?

- a. Muy positivo
- b. Positivo
- c. Neutral
- d. Negativo
- e. Muy negativo

13. La Responsabilidad Social Empresarial (RSE), se define como “el compromiso de una compañía con el desarrollo sostenible más allá de sus obligaciones legales”, ¿Incluir esta gestión dentro de la estrategia y misión corporativa automotriz, es?

- a. Muy importante
- b. Importante
- c. Algo importante
- d. Poco importante
- e. No es importante

14. ¿Cuáles cree que son los principales desafíos para la adopción de prácticas sostenibles en la industria automotriz?

- a. Altos costos de inversión
- b. Falta de tecnología adecuada
- c. Carencia de conocimiento e información
- d. Poco apoyo gubernamental
- e. Ninguna de los anteriores