



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS - PLANEACIÓN

**PLAN TÁCTICO HACIA LA DESCARBONIZACIÓN LOGÍSTICA: EL CASO DE UNA
EMPRESA DE PRODUCTOS DIRIGIDOS AL SECTOR AUTOMOTOR**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. SANDRA MILENA RINCÓN RONCANCIO

TUTOR PRINCIPAL
DR. BENITO SÁNCHEZ LARA
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., SEPTIEMBRE DE 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Chias Becerril Luis
Secretario: Dr. García Martínez Mariano Antonio
Vocal: Dr. Sánchez Lara Benito
1^{er}. Suplente: M. en I. Rodríguez Rubio Jorge
2^{do}. Suplente: Dr. Cedillo Campos Miguel Gastón

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Edificio Posgrado de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, Ciudad de México.

TUTOR DE TESIS:

DR. BENITO SÁNCHEZ LARA

FIRMA

Dedicatoria

A Dios y mi familia, quienes han sido mi guía y mi fuerza en este largo camino. Agradezco a Dios por la sabiduría, paciencia y constancia que me ha brindado en cada paso de este proceso, y a mi familia por su amor y apoyo incondicional.

No puedo cambiar el mundo, pero espero que esta tesis sea mi pequeña contribución para hacer del mundo un lugar mejor.

Agradecimientos

En este momento de culminación de mi trabajo de tesis, quisiera expresar mi gratitud a todas las personas e instituciones que me han apoyado y guiado durante esta importante etapa de mi formación académica.

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento al Dr. Benito Sánchez Lara, mi tutor, por su orientación y guía inestimables durante todo el proceso de investigación. Su dedicación, experiencia y paciencia fueron fundamentales para que esta tesis fuera posible.

También deseo agradecer a otros profesores que han contribuido significativamente a mi formación en la universidad y al desarrollo de mi tesis, especialmente al Dr. Mariano García, al Mtr. Jorge Rodríguez, al Dr. Gastón Cedillo, al Dr. Luis Chías, al Mtr. Héctor Reséndiz y al Dr. Jair Morales por impartir clases interesantes y aportar conocimientos valiosos en mi área de estudio.

Además, quiero reconocer el apoyo continuo de las personas en la empresa donde realicé mi investigación, quienes brindaron información valiosa y se tomaron el tiempo necesario para abordar el tema. Su colaboración y conocimiento fue esencial para el éxito de mi tesis.

También quiero agradecer a Alex y Marco, mis compañeros, por hacer las clases más interesantes y divertidas, y a Monse por estar siempre dispuesta a apoyarme y colaborar en cada paso del proceso.

No puedo dejar de mencionar a la UNAM por brindarme la oportunidad de estudiar y aprender de grandes profesionales en mi campo. La formación recibida en la universidad me ha permitido enfrentar con confianza y seguridad los desafíos que he encontrado en el camino.

Así mismo, quisiera expresar mi agradecimiento a mis líderes en el trabajo, quienes comprendieron la importancia de esta etapa en mi formación académica y brindaron la flexibilidad necesaria para poder llevar a cabo este proyecto. Su apoyo y comprensión han sido fundamentales para poder equilibrar mis responsabilidades laborales con los compromisos académicos. Su liderazgo ha sido un ejemplo a seguir en mi carrera profesional.

Finalmente, pero no menos importante, a mi familia por todo el apoyo y confianza que me han brindado en mi camino académico y profesional. Su amor incondicional y apoyo inquebrantable me han impulsado a seguir adelante y perseguir mis metas. Un agradecimiento especial a Raúl, cuyo apoyo fue fundamental durante estos años.

A todos ustedes, muchas gracias por ser parte de este viaje y por ayudarme a llegar a este punto. Su contribución y apoyo han sido invaluable para el logro de este logro académico.

Resumen

En la actualidad, la descarbonización logística se ha convertido en un tema de gran importancia debido al impacto que puede tener en la reducción de emisiones de carbono y, por ende, en la lucha contra el cambio climático. Esta tesis aborda la problemática de la descarbonización logística en Latinoamérica, donde la implementación de estrategias de reducción de emisiones de carbono en la industria logística es limitada. El objetivo principal de la investigación es la formulación de un plan táctico para una empresa de productos para el sector automotor en Latinoamérica, con el propósito de encaminar la descarbonización en sus Operaciones de Logísticas de Transporte (OLT), y hacer compatible este plan con las directrices estratégicas de la empresa en términos de sostenibilidad. Se identifica una desconexión entre las decisiones estratégicas de sostenibilidad y las actividades operativas en el área logística, así como la falta de políticas y procesos estandarizados para la gestión de iniciativas de reducción ambiental. Los objetivos específicos incluyen la identificación de prácticas, criterios y herramientas existentes en la industria para la descarbonización en operaciones de logística y transporte, la evaluación de la condición actual de la empresa y la identificación de problemas y oportunidades en relación a la directriz de reducción de impacto ambiental, la contextualización del plan táctico y su validación mediante la consulta a líderes y especialistas de la empresa.

Estos objetivos se abordan en la tesis en cuatro capítulos. El primer capítulo aborda las operaciones logísticas, las iniciativas de reducción de impacto ambiental y los marcos para la descarbonización logística, además de presentar la red logística de la empresa, las operaciones de transporte y las iniciativas de descarbonización que se están implementando. En el segundo capítulo, se presenta el marco conceptual con el que se construye la estrategia de investigación, basado en la planeación táctica y la descarbonización logística, allí se discute la importancia de la contabilidad y el reporte de emisiones logísticas, y se detallan las prácticas de la industria como referencia. El tercer capítulo describe el proceso de formulación y presenta el plan táctico hacia la descarbonización logística, partiendo de un análisis situacional de la empresa e identificando diferentes acciones en áreas críticas, sobre las cuales se definen objetivos e indicadores para monitorearlos. Finalmente, el capítulo cuatro presenta las conclusiones obtenidas a partir de la investigación realizada, se identifican limitaciones del estudio y se dan algunas recomendaciones para continuar en el estudio de la descarbonización en OLT.

Palabras clave: Descarbonización Logística; Operaciones Logísticas de Transporte (OLT); Planeación Táctica; Empresas Usuarias del Transporte de Carga; Latinoamérica.

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. OPERACIONES LOGÍSTICAS E INICIATIVAS DE REDUCCIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.....	3
1.1 Operaciones logísticas	3
1.2 Impactos de las operaciones logísticas	7
1.3 Iniciativas de reducción de impacto ambiental en operaciones logísticas.....	10
1.3.1 Cambio a modos de transporte con menos emisiones	10
1.3.2 Rediseño de la red de distribución.....	11
1.3.3 Optimización de carga y ruteo.....	12
1.3.4 Gestión de Vehículos.....	13
1.3.5 Gestión de empaques	13
1.3.6 Gestión de almacenes	14
1.3.7 Marcos para la descarbonización logística	15
1.4 Operaciones logísticas de Transporte e iniciativas de descarbonización en una empresa multinacional con presencia en Latinoamérica	17
1.4.1 Red logística de la empresa	17
1.4.2 Operaciones Logísticas de Transporte en la empresa.....	19
1.4.3 Iniciativas de descarbonización logística en la empresa	21
1.4.4 Problemática de las iniciativas de descarbonización logística en la empresa .	21
1.4.5 Objetivo General	22
1.4.6 Objetivos Específicos	23
1.5 Justificación y alcance	23
CAPÍTULO 2. PLANEACIÓN TÁCTICA Y DESCARBONIZACIÓN LOGÍSTICA	24
2.1 Planeación Táctica.....	24
2.1.1 Instancias de la Planeación	24
2.1.2 Coordinación entre la planeación táctica y las estrategias empresariales	25
2.1.3 Características de la planeación Táctica.....	26
2.1.4 El monitoreo en el marco de la planeación.....	27
2.2 Descarbonización logística.....	28
2.2.1 Prácticas de la Industria.....	29
2.2.2 Colaboración en la cadena de suministro	31
2.2.3 Contabilidad y Reporte de Emisiones Logísticas	31

2.3	Estrategia de Investigación	36
2.3.1	Etapa de Obtención de Información	37
2.3.1.1	Análisis Documental	37
2.3.1.2	Análisis Secundario	37
2.3.2	Etapa de Análisis de información	38
2.3.2.1	Analítica de Datos	38
2.3.2.2	Perfil Logístico de América Latina	39
2.3.3	Etapa de Diagnóstico	40
2.3.3.1	Análisis de Sistemas	40
2.3.4	Etapa de Prescripción	42
2.3.5	Etapa de Validación.....	44
2.3.5.1	Las 5E.....	45
2.3.5.2	Análisis de Stakeholders.....	46
2.3.5.3	Cuestionario Estructurado	46
CAPÍTULO 3. FORMULACIÓN DEL PLAN TÁCTICO PARA LA		
DESCARBONIZACIÓN LOGÍSTICA.....		48
3.1	Análisis situacional.....	48
3.1.1	Red física de la empresa	48
3.1.2	Operaciones Logísticas de Transporte de la empresa.....	52
3.2	Proceso de Planeación Táctica	56
3.2.1	Identificación de áreas de resultados críticas	56
3.2.2	Análisis de aspectos críticos	58
3.2.3	Definición de indicadores críticos de rendimiento	62
3.2.4	Definición de Objetivos del plan	64
3.2.5	Formulación del plan de acción.....	68
3.2.6	Resultados Esperados	76
3.3	Validación del plan táctico propuesto	85
3.3.1	Identificación de stakeholders clave.....	85
3.3.2	Administración del cuestionario	86
3.3.3	Resultados del cuestionario de validación.....	87
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES		90
ANEXO 1. CUESTIONARIO DE VALIDACIÓN.....		94
REFERENCIAS		95

Lista de Tablas

Tabla 1. Frecuencia y nivel de ejecución de las OLT en la empresa.....	20
Tabla 2. Iniciativas en el marco de Logística Verde en Latinoamérica.....	30
Tabla 3. Reglas constitutivas preliminares para metodologías genéricas de sistemas	41
Tabla 4. Características de los objetivos SMART	44
Tabla 5. Tipos de Stakeholders organizacionales.....	46
Tabla 6. Nivel de control sobre OLT en la empresa.....	52
Tabla 7. Volumen de operación de la empresa por país (%).....	55
Tabla 8. Distancia media de viaje de la empresa por país	55
Tabla 9. Porcentaje de operación por esquema de entrega de la empresa por país	56
Tabla 10. Criterios para selección de KRA	57
Tabla 11. Matriz de selección de KRA.....	57
Tabla 12. Indicadores Generales del Plan.....	62
Tabla 13. Indicadores de la Compra y del desarrollo de proveedores logísticos	63
Tabla 14. Indicadores del Modelado de la cadena de suministro y red logística	64
Tabla 15. Indicadores de la Planeación operativa de transportes	64
Tabla 16. Objetivos de la Compra y desarrollo de proveedores logísticos	67
Tabla 17. Objetivos del Modelado de la cadena de suministro y red logística	67
Tabla 18. Objetivos de la Planeación operativa de transportes	68
Tabla 19. Matriz RACI de Asignación de Responsabilidades del Plan	72
Tabla 20. Factores de intensidad de emisiones por modo y tipo de vehículo	79
Tabla 21. Stakeholders seleccionados por departamento	85

Lista de Figuras

Figura 1. Cadena Logística.....	3
Figura 2. TBL Logística Sostenible	8
Figura 3. Emisiones promedio de CO ₂ por modo.....	11
Figura 4. Porcentaje de Emisiones de CO ₂ por Sector en Latinoamérica en 2019	15
Figura 5. Marcos para la descarbonización logística	17
Figura 6. Red Logística de la Empresa.....	18
Figura 7. Instancias de la Planeación	24
Figura 8. Proceso de Planeación según Morrisey.....	26
Figura 9. Metodologías del marco GLEC	32
Figura 10. Emisiones del ciclo de vida de los combustibles	33
Figura 11. Alcances 1, 2 y 3 del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero.....	34
Figura 12. Cálculo de emisiones en los alcances 1 y 2	35
Figura 13. Cálculo de emisiones en el alcance 3 con datos de intensidad de emisiones....	35
Figura 14. Cálculo de emisiones en el alcance 3 con modelado detallado.....	36
Figura 15. Modelo de jerarquía de sistemas de Hitchins	42
Figura 16. Dimensiones del análisis de indicadores de transporte.....	43
Figura 17. Estrategia de Investigación	47
Figura 18. Nodos de la empresa en relación a los ámbitos logísticos del PERLOG.....	49
Figura 19. Nodos de la empresa en relación a los corredores logísticos del PERLOG	51
Figura 20. Nodos de la empresa en relación a las redes ferroviarias en América Latina...	53
Figura 21. Nodos de la empresa en relación a la población en América Latina	54
Figura 22. Relación de las OLT con los procesos de negocio de la empresa en México...	58
Figura 23. Sistema de las OLT en la empresa.....	59
Figura 24. Objetivos Generales del Plan	66
Figura 25. Plan de acción	69
Figura 26. Recursos del plan – Dinero	74
Figura 27. Recursos del plan – Tiempo de los empleados	74
Figura 28. Elementos principales del proceso de planeación táctica	75
Figura 29. Construcción de herramienta de monitoreo en relación al plan.....	77
Figura 30. Tablero de indicadores generales del plan	80
Figura 31. Tablero de indicadores - Compra y Desarrollo de Proveedores	81
Figura 32. Tablero de indicadores - Modelado de la cadena de suministro y red logística	82

Figura 33. Tablero complementario de Distribución geográfica.....	83
Figura 34. Tablero de indicadores - Planeación Operativa de Transporte	84
Figura 35. Análisis de Stakeholders	86
Figura 36. Resultados del cuestionario de validación del plan	88

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la reducción de emisiones de carbono se ha convertido en un tema de gran relevancia, se ha llegado a un consenso mundial sobre la necesidad de desacelerar y mitigar el impacto del cambio climático (Meyer, 2020). Para ello, gobiernos y organizaciones han establecido objetivos alineados con el Acuerdo de París, con el fin de limitar el calentamiento global a no más de 2°C, principalmente a través de la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) (United Nations, 2022). Sin embargo, uno de los sectores económicos más difíciles de reducir en cuanto a emisiones es el de la logística y en particular el del transporte de carga, que a nivel global es responsable de entre el 80% y 90% de las emisiones de carbono relacionadas con la logística (McKinnon, 2018). Es por ello que la Descarbonización Logística se ha convertido en un tema de gran importancia, ya que su implementación puede tener un impacto significativo en la reducción de emisiones y, por ende, en la lucha contra el cambio climático.

En este contexto las empresas están bajo una presión cada vez mayor para descarbonizar sus operaciones logísticas, lo que requiere la implementación de nuevas estrategias y tecnologías para reducir su huella de carbono. Para facilitar el desarrollo de estrategias de reducción del impacto ambiental en la logística, se han desarrollado diversos marcos, incluyendo ASI (Bongardt et al., 2019), ASIF (Schipper & Marie-Lilliu, 1999) y Logística Verde (McKinnon & Woodburn, 1996). Estos marcos permiten a los tomadores de decisiones seleccionar iniciativas de reducción y determinar cómo deben ser coordinadas. De estos marcos, Logística Verde ha sido el más ampliamente abordado, especialmente en Europa, donde el 30% de las empresas han implementado o están implementando estrategias de descarbonización (McKinnon & Petersen, 2021). Sin embargo, en Latinoamérica, el enfoque en la descarbonización en la industria logística ha sido limitado y pocas empresas han implementado estrategias de descarbonización (Rincón-Roncancio & Sánchez-Lara, 2022).

En esta tesis se aborda la problemática de la gestión y monitoreo de iniciativas de descarbonización en las Operaciones de Logística y Transporte (OLT) de una empresa de productos dirigidos al sector automotor con presencia en Latinoamérica como caso de estudio. Se identifica que se desconoce la contribución que puede tener el área logística en los objetivos de sostenibilidad de la empresa, como consecuencia de una evidente desconexión entre las decisiones estratégicas de sustentabilidad y las actividades operativas en el área logística, así como la falta de políticas y procesos estandarizados para la gestión

de iniciativas de reducción ambiental. Además, hay una brecha de conocimiento en sustentabilidad y descarbonización logística por parte de los líderes y especialistas. Considerando esto, la tesis busca responder a las siguientes preguntas de investigación: (1) ¿Cómo empatar las decisiones estratégicas respecto de iniciativas de descarbonización logística con las operaciones de la misma naturaleza?, (2) ¿Qué cambios se deben considerar en las OLT para contribuir a la descarbonización logística?

La investigación se enfoca en la formulación de un plan táctico para la empresa caso de estudio, con el propósito de lograr la descarbonización en sus OLT. Además, se busca hacer compatible este plan con las directrices estratégicas de la empresa en términos de sostenibilidad. La importancia de esta investigación radica en que, al presentar un caso específico en Latinoamérica, se puede motivar a futuros investigadores en la región a abordar el tema y fomentar la adopción de prácticas sostenibles en el sector logístico. Los objetivos específicos incluyen la identificación de prácticas, criterios y herramientas existentes en la industria para la descarbonización en OLT, la evaluación de la condición actual de la empresa y la identificación de problemas y oportunidades en relación a la directriz de reducción de impacto ambiental, la contextualización del plan táctico en las prácticas, criterios y herramientas aplicables en la empresa para la descarbonización en OLT, y la validación del plan táctico propuesto mediante la consulta a líderes y especialistas de la empresa, considerando su ética, eficiencia, eficacia y efectividad.

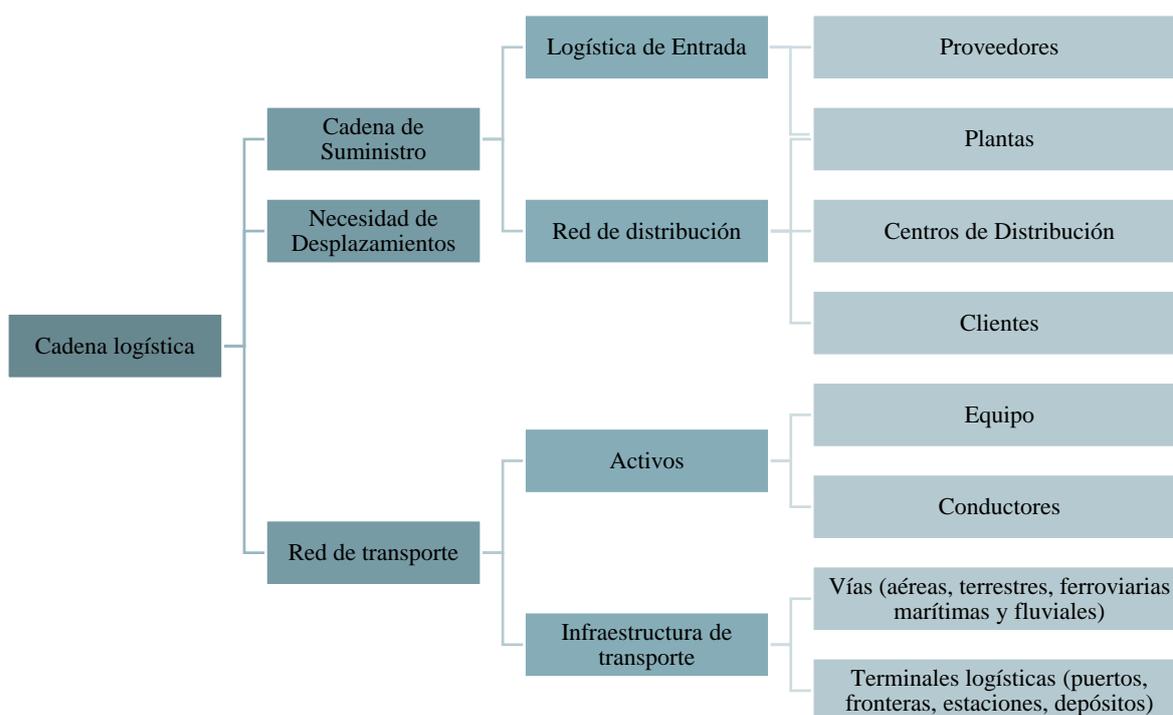
El plan resultante, propone modificaciones a las OLT en la empresa y los procesos de negocio asociados en México para integrar la sostenibilidad y el cálculo y reporte de emisiones logísticas mediante la adopción del Marco Operativo GLEC. Estas modificaciones habilitan la implementación de estrategias de logística verde a través del uso de herramientas tecnológicas, la colaboración con proveedores y el entrenamiento. Además, el plan facilita la toma de decisiones basadas en indicadores críticos de rendimiento y permite monitorear la efectividad de las iniciativas de descarbonización. El plan resulta relevante para la estrategia y valores corporativos, cumple con los criterios de negocio relacionados con la sustentabilidad y tiene potencial para ser replicado en otros países de la región.

CAPÍTULO 1. OPERACIONES LOGÍSTICAS E INICIATIVAS DE REDUCCIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

1.1 Operaciones logísticas

Las operaciones logísticas representan la gestión integrada de las actividades necesarias para mover productos a través de la cadena de suministro (Dey et al., 2011), desde el aprovisionamiento de insumos y materias primas hasta la distribución y entrega de productos terminados a clientes finales, e incluso el flujo inverso. Su objetivo es llevar la cantidad y calidad correcta de productos al lugar correcto, en el momento correcto y para el cliente correcto (Farahani et al., 2011). Las operaciones logísticas se desarrollan en la cadena que se muestra en la **Figura 1**, la cual cuenta con diversos elementos que deben ser considerados y coordinados para asegurar una operación eficiente.

Figura 1. Cadena Logística



Fuente: (Gerhard & Ranjan, 2004)

Las actividades logísticas se pueden dividir en 3 grupos principales: (1) Logística de entrada, que se encarga del movimiento y almacenamiento de insumos, materiales o productos recibidos de los proveedores; (2) Gestión de materiales, que se encarga del almacenamiento y los flujos de materiales al interior de la empresa; y (3) Logística de salida o Distribución física, que se encarga del almacenamiento y transporte de productos desde el punto de

fabricación final, pasando por centros de distribución hasta la entrega al cliente. A partir de estos grupos se identifican las siguientes funciones clave: Transporte y Almacenamiento, de los cuales se describirán a continuación las operaciones logísticas asociadas.

Operaciones Logísticas de Transporte

Las Operaciones Logísticas de Transporte (OLT) son aquellas relacionadas con el movimiento de bienes materiales de un punto geográfico a otro (Grabara et al., 2014); se consideran de gran importancia, ya que impactan directamente a dos de los intereses principales de las empresas: (1) Servicio al cliente, al considerar que se deben planear de forma adecuada los tiempos de traslado entre las locaciones de la empresa y las de los clientes para garantizar la entrega de bienes en el momento y lugar adecuados; y (2) Utilidades, teniendo en cuenta que de acuerdo con Farahani et al. (2011) el transporte representa entre uno y dos tercios de los costos logísticos totales. Existen seis principales OLT que se describen a continuación.

Selección y operación de los modos de transporte

Los 5 principales modos de transporte son terrestre, ferroviario, marítimo y/o fluvial, aéreo y tuberías; cualquiera de ellos puede ser seleccionado para la entrega de productos a los clientes de manera individual (intermodal) o combinada (multimodal). La selección y operación del modo de transporte se hace de acuerdo con la necesidad, teniendo en cuenta el tamaño del envío, la relación entre el valor del producto y la rapidez del modo de transporte, la relación precio-volumen, entre otros aspectos.

Diseño de la red de distribución

El diseño de la red de distribución especifica la ubicación de los almacenes y la cantidad y tipo de producto que se asigna a cada instalación en función de la locación del mercado (presente y futuro) buscando optimizar el costo (principalmente asociado al transporte) y los niveles de servicio. De acuerdo con Mourits & Evers (1995), el desempeño de la cadena de suministro logística asociada a este diseño se considera un arma estratégica importante para lograr y mantener la fuerza competitiva.

Diseño de la estrategia de ruteo

La estrategia de ruteo es uno de los puntos considerados al momento de diseñar la red de distribución mencionada en el punto anterior, sin embargo, se debe revisar constantemente

de acuerdo con la situación actual de la red tomando decisiones con respecto a los esquemas de envío que se usaran para los clientes y tipos de producto específicos, tales como: (1) Envíos directos, desde el fabricante hasta el cliente, (2) Con almacenamiento y ensamble en tránsito, (3) Con almacén intermedio por parte del distribuidor, (4) Con almacén intermedio y entregas de última milla, (5) Con almacén intermedio y entregas tipo ocurre y (6) Donde los productos siempre están en movimiento, sin almacenamiento o cruce de andén (en inglés Cross dock). Uno de los métodos más utilizados para el diseño de la estrategia de ruteo es el método de ruteo de vehículos (VRP, por sus siglas en inglés) o cualquiera de sus variantes; y de acuerdo con Sánchez-Lara, B. (2019) sus principales objetivos son minimizar los costos globales del transporte, incluyendo los costos fijos, minimizar el número de vehículos y operadores requeridos, balancear las rutas de acuerdo al tiempo de viaje y vehículo, y minimizar las penalizaciones asociadas con servicio en la red.

Gestión de la capacidad de transporte

La utilización de la capacidad de los vehículos se define en términos de la relación de la cantidad que transporta el vehículo y la cantidad máxima que podría transportar, se considera un factor de gran importancia, teniendo en cuenta que está directamente relacionado tanto con el aprovechamiento de los recursos como con la eficiencia en los nodos de la red. La gestión de la capacidad de transporte puede abordarse desde distintos ángulos: desde la selección del vehículo (y su capacidad) teniendo en cuenta la posición dentro de la estrategia de ruteo; desde la selección del esquema, que de acuerdo con Sánchez-Lara, B. (2019) puede ser entre dos alternativas: un esquema tipo LTL (Less Than Truckload, por sus siglas en inglés), es decir consolidar carga de diferentes clientes en el mismo vehículo que va al mismo destino, y un esquema tipo FTL (Full Truck Load, por sus siglas en inglés), es decir camión o carga completa por un mismo cliente; en este último esquema también se pueden incluir estrategias de cubillaje, donde de acuerdo a la frecuencia de envío y características de los productos se diseña la mejor disposición dentro del vehículo para aprovechar al máximo su capacidad.

Definición de los roles de los agentes logísticos

En una cadena logística intervienen distintos agentes, que asumen roles específicos; dentro de los principales se encuentran: los clientes generadores de carga, los transportistas, las navieras, los agentes de carga transitorios (freight forwarders, en inglés), los operadores

logísticos, los consolidadores, los consignatarios, los proveedores de maniobras de carga y descarga, entre otros. La definición de los roles y responsabilidades de cada uno de los involucrados dentro de la cadena logística se convierte entonces en una necesidad para garantizar la entrega de un desempeño adecuado a lo largo de esta.

Selección de proveedores de transporte

Directamente relacionada con el punto anterior, la selección de los proveedores de transporte es uno de los elementos más importantes para los clientes generadores de carga, ya que de acuerdo con Murphy & Farris (1993) el transporte rápido y confiable puede ser utilizado como una ventaja competitiva dentro de la estrategia de las compañías actuales. La selección se hace con base en dos factores principales: la confiabilidad y el desempeño de los proveedores en términos de servicio a la hora de la recolección y entrega de los productos, el tiempo tránsito total y el costo. A su vez los proveedores de transporte realizan la selección de sus conductores teniendo en cuenta los mismos factores (confiabilidad y desempeño), ahora enfocados en que hagan un buen uso de los activos y brinden a los clientes un nivel de servicio aceptable.

Operaciones Logísticas de Almacenamiento

Las Operaciones Logísticas de Almacenamiento (OLA), en contraste con las OLT que toman lugar principalmente en los arcos de la red, se llevan a cabo en los nodos. Las OLA están relacionadas con el almacenamiento físico, flujo interno y manejo de materiales, así como con el procesamiento de la información necesaria sobre las mercancías almacenadas. Son importantes al estar directamente relacionadas con el control de los inventarios y su principal objetivo es garantizar que tanto la capacidad y el nivel de existencias, como la manipulación del inventario son eficientes y efectivos. Existen tres principales OLA que se describen a continuación.

Diseño de la disposición del almacén

De acuerdo con Gunasekaran et al. (1999), los diseños de los almacenes a menudo se descuidan debido a que las organizaciones tratan a los almacenes como un lugar transitorio para el producto hasta que necesita ser enviado al cliente; sin embargo, otros autores como Hassan (2002) resaltan la importancia de este diseño ya que se debe garantizar que se mantenga la calidad de los productos además de que sean fácilmente identificables y accesibles. El diseño de la disposición del almacén contempla varios factores, incluyendo el

tamaño, el número y la ubicación de los muelles de carga y descarga, el diseño de los pasillos, el patrón del flujo, los requisitos de espacio y la asignación de artículos a las ubicaciones de almacenamiento. Así mismo busca características modulares, adaptables, y flexibles que le permitan responder a entornos y necesidades cambiantes, mejorar la utilización del espacio y optimizar los movimientos al interior del almacén aumentando así la productividad.

Manipulación de materiales

Una de las actividades más importantes al interior de un almacén es la manipulación de los materiales desde su ingreso, paletización, selección, embalaje y carga. Su planeación debe considerar la elección de los equipos para realizar la actividad, los flujos de acuerdo con la disposición previamente descrita y los procedimientos a seguir por parte del personal al interior del almacén con el objetivo de garantizar la disponibilidad del producto en el momento requerido con la calidad intacta.

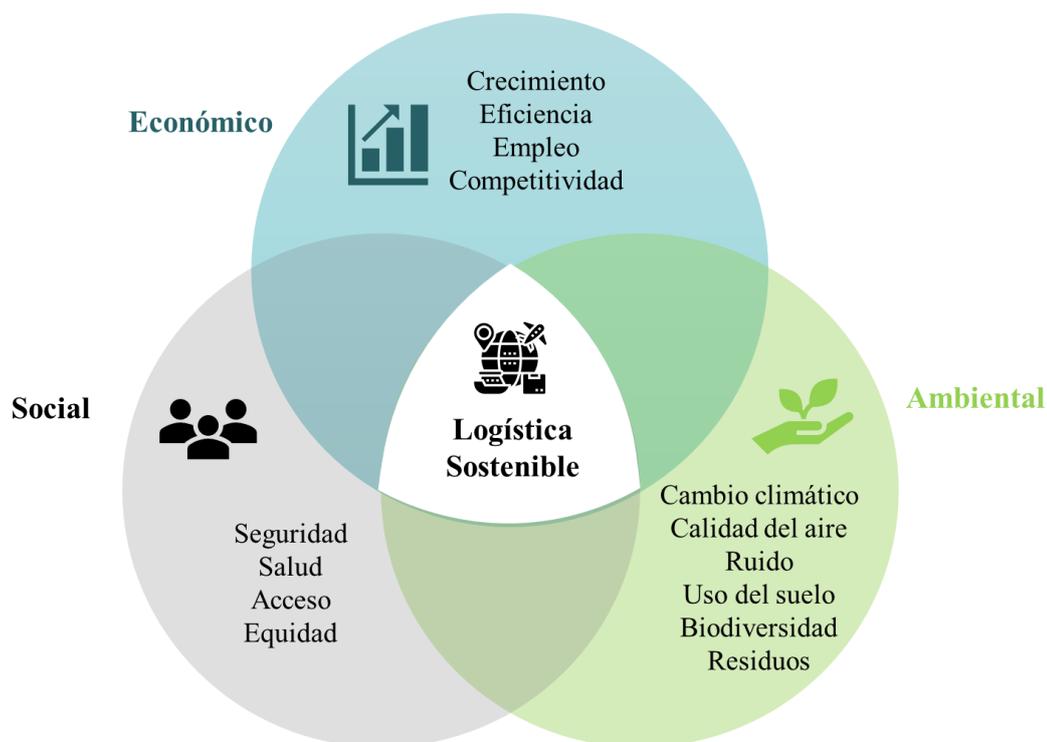
Estrategia de asignación de inventarios

La estrategia de asignación de inventarios debe garantizar que los productos se encuentran en los almacenes adecuados de acuerdo con los puntos de demanda, además de generar una lógica de reserva para pedidos de los clientes. La asignación suele basarse en criterios específicos como primeras entradas, primeras salidas (FIFO por sus siglas en inglés), últimas entradas, primeras salidas (LIFO por sus siglas en inglés), primero en caducar, primero en salir (FEFO por sus siglas en inglés), lote, tamaño del envío, zona y almacén.

1.2 Impactos de las operaciones logísticas

De acuerdo con McKinnon et al. (2015) la logística y sus actividades principales han sido fundamentales para el desarrollo económico y el bienestar social, además de considerarse un factor clave en el desempeño empresarial. Tradicionalmente la gestión logística ha tenido como objetivo principal, y en muchos casos único, el maximizar la rentabilidad; sin embargo, dada la importancia de la logística en la cadena de suministro surge también la necesidad de su gestión desde un punto de vista de sostenibilidad, no sólo reduciendo los costos en términos económicos, sino también tomando en consideración factores ambientales y sociales, incluidos los asociados al cambio climático, la contaminación del aire, el ruido, los accidentes y el uso de la tierra. En la **Figura 2** se presentan los principales aspectos relacionados a la logística en el contexto del triple resultado o TBL por sus siglas en inglés (Triple Bottom Line).

Figura 2. TBL Logística Sostenible



Fuente: (Uttam Gunjal et al., 2015)

Bajo este marco, las operaciones logísticas mencionadas en la sección anterior deben considerar en su gestión los impactos generados en los ámbitos social, económico y ambiental, los cuales se describen a continuación.

Impactos Sociales

De acuerdo con Calatayud & Montes (2021), la logística es un factor de competitividad de las economías y un habilitador de la integración regional; de manera similar, Martínez Marin (2011) afirma que dada la importancia de la logística y en particular del transporte de mercancías en la economía actual, el desarrollo de una nación puede verse afectado en gran medida por la logística. En este contexto, la dimensión social de la logística parte del hecho de que el principal motivo de desarrollo de un país debe ser el bienestar social y por ello se tienen grandes retos empresariales para generar fuentes de empleo y trabajar en la mejora del estatus social de las personas que habitan en las zonas de influencia.

Triantafyllou (2019) detalla los aspectos que deben considerar los actores logísticos bajo la dimensión social de la logística sostenible: en primer lugar, el desarrollo de políticas y

procesos de gestión para proteger los derechos laborales de acuerdo con los requisitos legislativos vigentes; en segundo lugar, la respuesta a la creciente conciencia de los consumidores sobre las prácticas ambientales, asociadas también con la conservación de la salud, mediante el uso de formas renovables de energía, cambio a modos de transporte más sostenibles y reducción de los impactos ambientales de las actividades logísticas; en tercer lugar medidas asociadas a la reducción de tráfico y accidentes; y finalmente acciones para garantizar el acceso equitativo de la población a los servicios logísticos.

Impactos Económicos

Debido a la creciente distancia entre los puntos de adquisición y consumo de productos a nivel global, la industria logística se considera una de la más importantes para la economía (Sezer & Abasiz, 2017), al convertirse en una herramienta significativa que aporta ventajas competitivas tanto a los países como a las empresas. Es así como la logística actualmente juega un papel significativo en el desarrollo y en los indicadores económicos al proporcionar importantes contribuciones macroeconómicas a los países, generar empleo e ingresos y atraer inversiones extranjeras.

A nivel empresarial, la logística es una herramienta clave para aumentar la competitividad de las organizaciones siendo estas dependientes del sector logístico sin importar el tipo de industria al que pertenecen. La importancia económica de las operaciones logísticas en las empresas se evidencia en 2 aspectos principales: (1) El valor agregado al negocio en términos de las medidas de rendimiento financiero como los ingresos y los activos, así como los niveles de servicio al cliente; y (2) La reducción de los costos asociados optimizando el uso de los recursos disponibles. Para lograrlo, las organizaciones deben invertir tanto en la cantidad como en la calidad, desarrollando servicios logísticos innovadores y eficientes (El-Berishy et al., 2013).

Impactos Ambientales

La interacción entre la logística y el medio ambiente está inmersa en las funciones de valor agregado que realiza una empresa; a medida que los recursos se utilizan para mover los productos a través de la cadena de suministro, los contaminantes se producen implícitamente como subproductos. Vidová et al. (2012) afirman que la gestión adecuada y la conciencia de las implicaciones ambientales de las actividades logísticas pueden reducir significativamente el impacto negativo. El objetivo general es lograr una gestión ambiental integral que

garantice la minimización del impacto ambiental desde el principio hasta el final del ciclo de vida del producto; la logística es una de las funciones principales en esta gestión, teniendo en cuenta que sus actividades tienen un impacto directo en el medio ambiente por medio de emisiones contaminantes asociadas a:

- El modo de transporte y vehículos empleados;
- La utilización de la capacidad de carga;
- Las distancias recorridas en función de la red logística existente;
- Los empaques utilizados y residuos generados;
- La energía requerida para la operación en las instalaciones;
- La utilización de la capacidad de almacenamiento;
- La disposición de productos dañados, etc.

De acuerdo con McKinnon (2021), es probable que el cambio climático ejerza una fuerte influencia en el desarrollo económico y el bienestar social durante las próximas décadas, dado que se tiene un tiempo limitado para lograr reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para prevenir grandes desastres ecológicos. En este contexto, los gobiernos y organizaciones deben establecer objetivos para reducir los impactos ambientales, principalmente asociados a las emisiones de Dióxido de carbono (CO₂); uno de los sectores con mayores dificultades para reducir sus impactos en el ambiente es precisamente el logístico, debido a su gran dependencia de los combustibles fósiles y al alto crecimiento proyectado como resultado de la globalización. Teniendo en cuenta esto, la sección a continuación estará concentrada en las iniciativas de reducción de impacto ambiental asociadas a las operaciones logísticas.

1.3 Iniciativas de reducción de impacto ambiental en operaciones logísticas

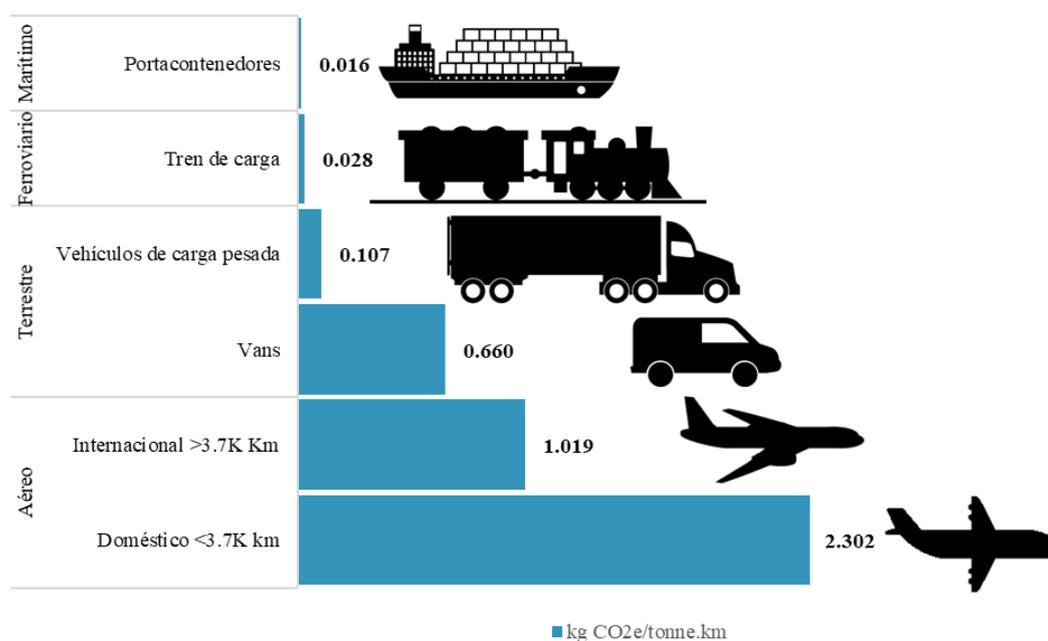
En respuesta a los impactos ambientales generados por la logística, distintos actores académicos, gubernamentales y empresariales han identificado una serie de iniciativas para la reducción de estos. A continuación, se presentan las principales:

1.3.1 Cambio a modos de transporte con menos emisiones

Directamente relacionadas con la OLT de Selección y operación de los modos de transporte mencionada en la sección anterior, las iniciativas que promueven el cambio de modos de transporte parten de las grandes diferencias en emisiones de los modos entre sí (ver **Figura 3**), donde se evidencia que desde el punto de vista ambiental se deben preferir los modos

marítimo y ferroviario sobre el terrestre y aéreo, o bien configurar opciones multimodales. De acuerdo con Woodburn & Whiteing (2012) si bien la función de promoción del uso de los modos ferroviario y marítimo debe partir de acciones gubernamentales que garanticen la infraestructura necesaria, los usuarios de carga ya cuentan con múltiples motivantes que pueden apoyar la selección de estos modos, entre los cuales se encuentran los posibles ahorros económicos asociados a la reducción del uso de combustible que tiene mayor intensidad en el modo terrestre; una mayor confiabilidad y menor variabilidad en las operaciones al evitar la propensión a congestiones propia de las redes carreteras; ventajas competitivas asociadas a la estrategia de responsabilidad social empresarial; entre otros.

Figura 3. Emisiones promedio de CO₂ por modo¹



Fuente: (Hill et al., 2021)

1.3.2 Rediseño de la red de distribución

El diseño (o rediseño) estratégico de las redes de distribución y en particular la selección de ubicaciones de las instalaciones logísticas tales como puntos de almacenaje, puntos de carga, descarga y transferencia de mercancías, y terminales logísticas como iniciativa de reducción de impacto ambiental implica el uso de criterios ambientales en las etapas de diseño de la cadena de suministro así como en la toma de decisiones, de forma simultánea a las métricas

¹ Valores para carga promedio en CO₂ equivalente; modo aéreo incluye los efectos indirectos de las emisiones distintas a CO₂.

tradicionales de costos y servicio al cliente. De acuerdo con Harris et al. (2015) existen dos formas principales de considerar aspectos ecológicos o ambientales como parte del diseño de redes:

1. Modelar un diseño de red tradicional con aspectos ambientales considerados como restricciones u objetivos.
2. Modelar cadenas de suministro extendidas, con objetivos y restricciones ambientales, en búsqueda de un circuito cerrado que incluya la logística inversa con instalaciones y procesos adicionales tales como recolección y reciclaje.

1.3.3 Optimización de carga y ruteo

Son aquellas iniciativas asociadas a la optimización del uso de la red logística existente por medio de planeación de ruta y aumento del uso de la capacidad de los vehículos.

Optimización del ruteo de los vehículos

Directamente relacionadas con la OLT de diseño de la estrategia de ruteo mencionada en la sección anterior, las iniciativas de optimización de ruteo de los vehículos se enfocan en el diseño de las rutas para satisfacer necesidades de los clientes en función de los vehículos disponibles, niveles de servicio requeridos, ventanas de tiempo, entre otras restricciones con el objetivo de minimizar los costos económicos y ambientales al reducir distancias de viaje innecesarias. De acuerdo con Eglese & Black (2012), adicional a los factores previamente mencionados, cuando se pretende reducir el impacto ambiental también deben considerarse otros factores como el ordenamiento de los recursos de tal manera que los viajes difíciles (como aquellos en el centro de una ciudad congestionada) se programen para un momento del día en el que su impacto se minimice. Dada la complejidad y variabilidad de los factores que influyen en el ruteo, tradicionalmente se acude a modelos que se resuelven por medio del uso de softwares computacionales.

Aprovechamiento del espacio de carga

Estas iniciativas están enfocadas en la mejora del porcentaje de ocupación de los vehículos de carga, así como en la reducción de viajes vacíos por medio de:

- Reestructura de las reglas de negocio y optimización ponderando adecuadamente el % de uso de los vehículos contra otros factores como niveles de inventario requeridos,

optimización del uso del espacio de los almacenes, productividad de las operaciones de carga y descarga, entre otros

- Anticipación de la demanda para planear el uso de los vehículos en función de sus picos y valles.
- Consolidación de embarques con competidores u otras compañías de otras industrias.
 - Uso de software para cubricaje.

1.3.4 Gestión de Vehículos

Las iniciativas centradas en la gestión de vehículos buscan reducir el consumo de combustible y las emisiones mediante la adopción de estrategias y nuevas tecnologías e incluyen diversas actividades tales como:

- Inspección de emisiones.
- Dispositivos de reducción de emisiones.
- Programas de eficiencia energética.
- Programas de Mantenimiento Preventivo.
- Monitoreo y gestión de uso de combustible.
- Monitoreo de distancias de viaje.
- Regulación de las velocidades máximas.
- Sistemas automáticos de inflado de llantas.
- Uso de tecnologías más limpias y eficientes.
- Uso de biocombustibles.
- Incorporación de vehículos eléctricos o híbridos.
- Prácticas de conducción ecológica

1.3.5 Gestión de empaques

De acuerdo con Dopico-Parada et al. (2021) los empaques deben ser una solución que cumple con diversas funciones, entre las cuales se destaca la protección de los productos de factores internos y externos, garantizando su calidad y seguridad y alargando la vida del producto, también debe facilitar el transporte, manipulación y almacenamiento, funcionar como soporte de información y gestión de marca e incluso generar una experiencia de consumo. Todo esto, se puede hacer al menor costo posible para los consumidores y de forma sostenible, lo cual según Ji et al. (2021) incluye:

- Elección de materiales ecológicos.

- Desarrollo de nuevos materiales de empaque.
- Diseño de empaques eficientes.
- Restricción de empaques excesivos.
- Creación de sistemas de almacenamiento y retorno de empaques.
- Desarrollar estrategias de reutilización, reciclaje y disposición de empaques.
- Uso de cajas reutilizables en lugar de Cartones.
- Firmas electrónicas que reemplazan la evidencia de entrega física.

Además de los beneficios propios de la reducción del uso de materiales de empaque, McKinnon et al. (2015) mencionan que este tipo de iniciativas tienen un impacto secundario muy importante al influenciar de acuerdo a su forma, dimensiones y forma de apilar el uso del espacio de almacenamiento y transporte a lo largo de la cadena y por lo tanto las emisiones asociadas.

1.3.6 Gestión de almacenes

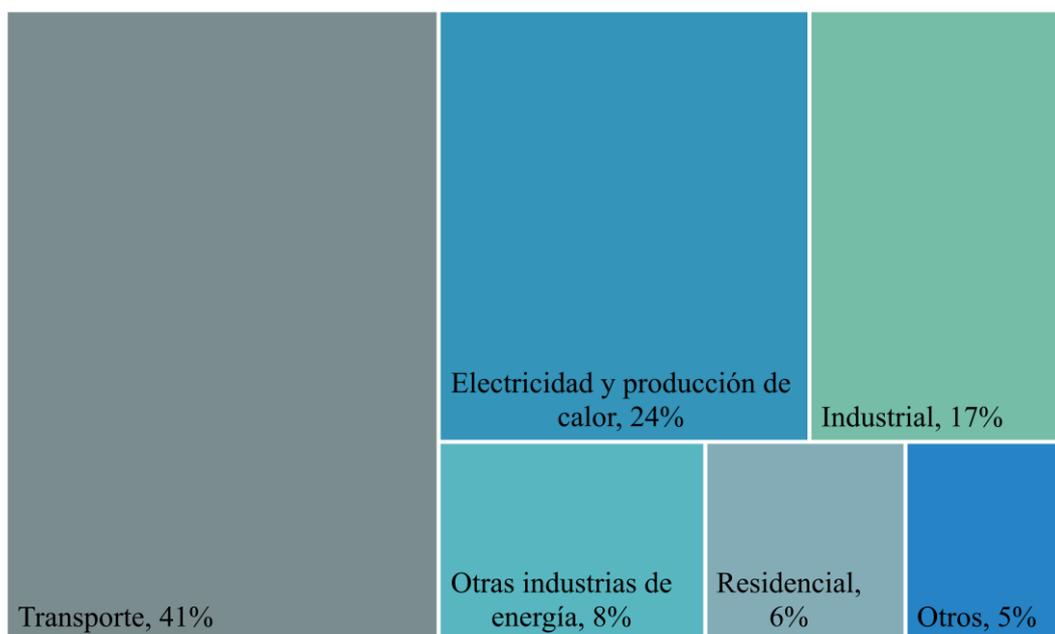
Este tipo de iniciativas se centran en el diseño y estructuración de las operaciones de almacenamiento para instalaciones existentes de tal forma que se minimiza u optimiza el consumo de energía por medio de acciones como:

- Diseño de sistemas de iluminación y aire acondicionado de bajo consumo.
- Selección de equipamientos de trabajo considerando factores de consumo energético.
- Uso de energías renovables, tales como paneles solares.
- Optimización del uso espacio.
- Optimización de los flujos internos.
- Gestión de inventarios.
- Manejo de residuos.
- Control del uso del agua.
- Disposición adecuada de productos dañados.

Cabe aclarar que de acuerdo con Baker & Marchant (2015) otros factores como el uso de la tierra y el diseño de la construcción de las instalaciones, incluyendo el uso de los materiales son también de gran impacto y deben considerarse a un nivel macro, por ejemplo en las discusiones y operacionalización de los rediseños de la red de distribución mencionados en la sección 1.3.2.

Si bien, los impactos de las operaciones logísticas en el ambiente pueden provenir de cualquiera de sus actividades, de acuerdo con McKinnon (2018), el transporte de mercancías suele representar entre el 80% y el 90% de las emisiones de carbono relacionadas a la logística, aunado a esto en 2019 la Agencia Internacional de Energía IEA estimó que el sector transporte en todo el mundo genera alrededor del 24% de las emisiones de CO₂, una cifra que en Latinoamérica llega al 41% (Ver **Figura 4**). Teniendo en cuenta esto, este trabajo se centrará en las iniciativas de reducción de impacto ambiental en operaciones logísticas de transporte.

Figura 4. *Porcentaje de Emisiones de CO₂ por Sector en Latinoamérica en 2019²*



Fuente: (IEA, 2021) .

1.3.7 Marcos para la descarbonización logística

La generación de estrategias de reducción de impacto ambiental se facilita por medio del uso de marcos que permiten a los tomadores de decisiones seleccionar las iniciativas de reducción a implementar y determinar la forma en que se deben coordinar. Existen 3 marcos principales asociados a la descarbonización de las OLT:

1. ASI

Por sus siglas en inglés A: Avoid, S: Shift, I: Improve; es un marco general de origen alemán desarrollado en la década de 1990 como un enfoque para estructurar políticas públicas para

² Otros sectores incluyen: agricultura, pesca, servicios públicos y comerciales y consumo final no especificado en otra parte.

reducir el impacto ambiental del transporte al evitar/reducir la demanda mejorando la eficiencia del sistema como un todo en primer lugar, posteriormente cambiar/mantener la selección modal del transporte desde aquella que más energía consume y por tanto contamina, hacia modos menos contaminantes, y finalmente mejorar la eficiencia operativa, así como el uso de los vehículos y el combustible (Bongardt et al., 2019).

2. ASIF

Por sus siglas en inglés A: Activity, S: Structure, I: Intensity, F: Fuel choice; es un marco desarrollado por Schipper & Marie-Lilliu en 1999 para evaluar oportunidades de reducción en el nivel de actividad de transporte, alterar la estructura modal del sistema de transporte, reducir la intensidad energética de la operación de transporte y recortar el contenido de carbono del combustible.

3. Logística Verde

El marco de logística verde o Green Logistics en inglés, fue creado con la intención de hacer las operaciones de transporte de mercancías más ecológicas; se desarrolló originalmente en el curso de un proyecto de investigación del Reino Unido en 1996 por McKinnon y Woodburn y posteriormente fue refinado por McKinnon mismo en compañía de Piecyk. El marco busca reducir los costos ambientales de la logística asociados a la producción económica de un actor logístico por medio de cinco parámetros clave:

- **Reparto Modal**, asociado al cambio en la proporción de carga transportada por los diferentes modos hacia aquellos con menos emisiones.
- **Intensidad del transporte de Carga**, asociado a la reducción del factor de manipulación (relación del peso de los bienes en una economía y las toneladas de carga levantadas) y distancia de los trayectos.
- **Utilización de Activos**, asociado al uso más efectivo de los vehículos por medio de la reducción de viajes vacíos y aumento del uso de la capacidad de carga.
- **Eficiencia Energética**, asociado a la reducción del consumo de energía principalmente por medio de las características de los vehículos, estilo de conducción y condiciones del tráfico.
- **Contenido de carbono de la energía**, asociado a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero principalmente relacionado al tipo de combustible.

La **Figura 5**, muestra la forma en que se interrelacionan los 3 marcos mencionados.

Figura 5. Marcos para la descarbonización logística



Fuente: (McKinnon, 2018)

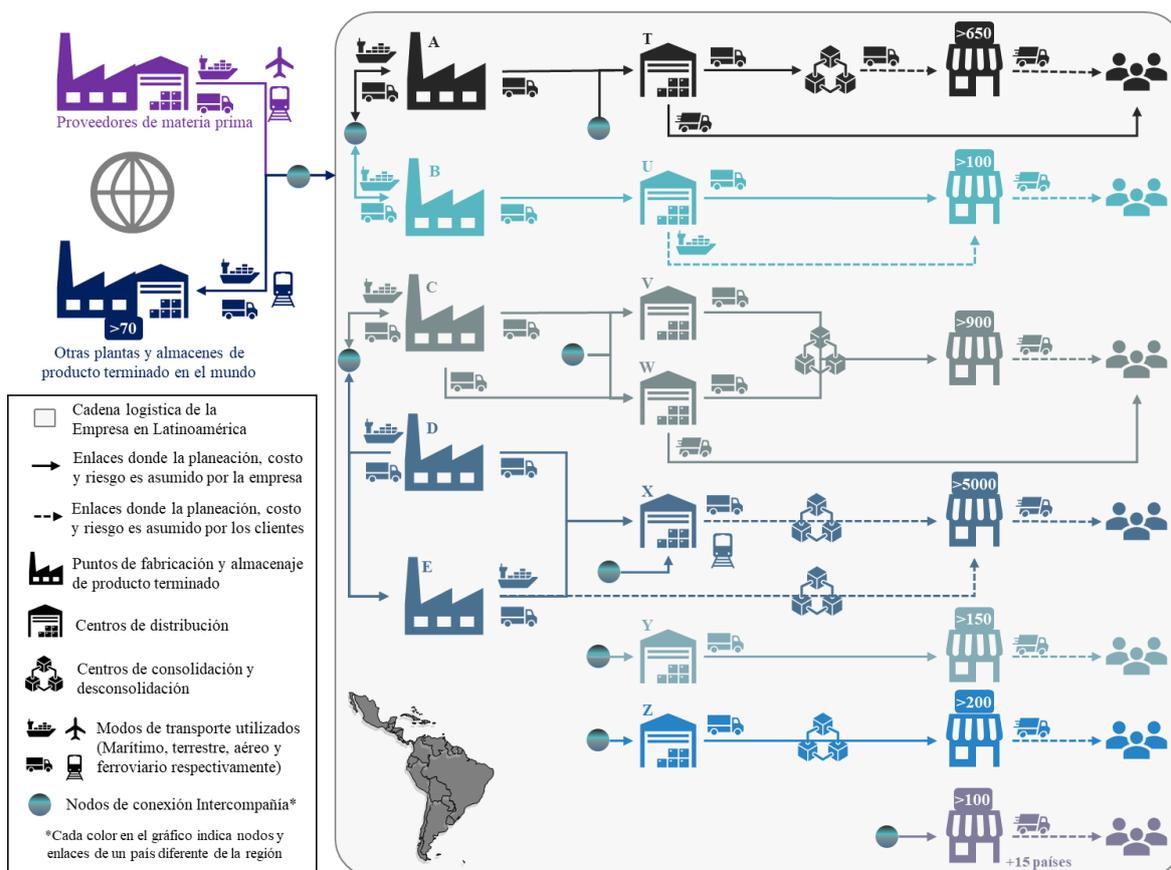
1.4 Operaciones logísticas de Transporte e iniciativas de descarbonización en una empresa multinacional con presencia en Latinoamérica

Para este trabajo, se consideró como caso de estudio una empresa multinacional de manufactura y venta de productos dirigidos al sector automotor, que cuenta con instalaciones logísticas en 6 países de Latinoamérica y en donde se desarrolló la propuesta de la tesis con base información provista acerca de históricos de envíos, para caracterizar sus OLT y formular un plan para la gestión y monitoreo de iniciativas descarbonización logística. Por confidencialidad, el nombre se mantendrá en el anonimato y en adelante será referida como “la empresa”, y cualquier información proporcionada se mostrará de forma integrada.

1.4.1 Red logística de la empresa

La red logística de la empresa en Latinoamérica (ver **Figura 6**) está conformada por 12 nodos principales de los cuales 5 corresponden a almacenes en instalaciones de manufactura de la compañía (MDC por sus siglas en inglés), además de 7 centros de distribución regionales (RDC por sus siglas en inglés) con locación en 6 países diferentes, desde los cuales se distribuyen productos terminados a más de 7000 puntos de entrega conformados por compañías de la industria automotriz, cadenas de supermercados y principalmente distribuidores, quienes a su vez se encargan (en la mayoría de los casos) de la logística requerida para la entrega de los productos al consumidor final.

Figura 6. Red Logística de la Empresa



Los MDC son en su totalidad propiedad de la compañía y la administración de inventarios, así como la planeación del transporte es realizada al 100% por personal interno. Estas instalaciones reciben materias primas de proveedores a nivel global que transfieren a las plantas de manufactura para posteriormente recibir productos finales, almacenarlos y realizar envíos principalmente FTL a los RDC locales, clientes locales con volúmenes altos de compra y exportación a otras instalaciones de la empresa en el mundo, incluyendo las de otros países en Latinoamérica, la cual es en un 80% a instalaciones en Estados Unidos, 18% a otros MDC y RDC en Latinoamérica y el restante 2% a otras instalaciones en Europa y Asia.

Los RDC son en su mayoría instalaciones rentadas y la administración de inventarios es ejecutada principalmente por proveedores 3PL (3rd Party Logistics por sus siglas en inglés). Estas instalaciones reciben productos terminados desde los MDC locales e importación desde otras instalaciones en el mundo, incluyendo aquellas localizadas en Latinoamérica, y realizan envíos FTL y LTL hacia los diferentes clientes locales y otros puntos de consolidación y Cross dock. La planeación del transporte desde y hacia los RDC se realiza

de forma diferente en cada instalación, siendo en ocasiones responsabilidad interna, en otras, responsabilidad del proveedor 3PL e incluso en algunas, responsabilidad de los clientes.

Adicionalmente, la empresa cuenta con presencia comercial en más de 15 países de la región sin instalaciones logísticas propias, cuyos requerimientos de producto son enviados desde las más de 71 instalaciones en el mundo directamente a clientes (distribuidores autorizados en el país de destino).

La distribución se ejecuta por medio de proveedores de transporte; a nivel local en cada uno de los países se realiza principalmente en modo terrestre con vehículos de distintas capacidades, desde 3 hasta 50 toneladas, de acuerdo con los requerimientos de los clientes e infraestructura vial. Sólo en uno de los 6 países con instalaciones en Latinoamérica se usan, en baja proporción, los modos marítimo y ferroviario para las operaciones locales. En contraste, la mayoría de las operaciones internacionales se realizan de forma multimodal, principalmente combinando operaciones terrestres en los países de origen y destino con operaciones marítimas o ferroviarias intermedias; finalmente, el modo aéreo es utilizado únicamente para requerimientos urgentes de recepción de materia prima o de envío de producto terminado.

1.4.2 Operaciones Logísticas de Transporte en la empresa

Las OLT en la empresa son ejecutadas por especialistas en logística locales, considerando factores específicos del país donde se encuentran y niveles de demanda, así como características de los acuerdos comerciales con los clientes y proveedores. En la **Tabla 1**, se muestran las OLT en relación con la frecuencia y nivel (Estratégico, Táctico u Operativo) que se realizan actualmente en la empresa. En la empresa los niveles estratégico, táctico y operativo se asocian con el horizonte de planeación y la amplitud de los efectos de una decisión, proceso o proyecto. Siendo el nivel estratégico considerado para iniciativas en un largo plazo (5 años en adelante) y con efectos en por lo menos la operación en un país como un todo y no en un área específica; el nivel táctico se considera en un mediano plazo (1 – 4 años) con impactos en 2 o más áreas de la compañía; y el nivel operacional aquel realizado de forma diaria o mensual con impactos a 1 año o menos en áreas funcionales o incluso en posiciones individuales.

A nivel estratégico, se realiza anualmente la selección de proveedores de transporte marítimo y se generan acuerdos para las operaciones de la empresa a nivel global; el resto de las

operaciones logísticas en este nivel se abordan por medio de proyectos enfocados en necesidades específicas (generalmente locales) de selección de modos de transporte, diseño de la red de distribución y estrategias de ruteo o definición y negociación de los roles existentes con otros actores de la cadena logística; el caso de la gestión de la capacidad del transporte por su naturaleza no cuenta con acciones a éste nivel.

De manera similar, en el nivel táctico en la empresa únicamente se tienen acciones enfocadas en la OLT de selección de proveedores de transporte locales con base en comparaciones de costo, desempeño y confiabilidad, donde de forma regular (al menos una vez por semestre) se realizan evaluaciones a proveedores y se determinan criterios de asignación posterior, así como la constante búsqueda de nuevos transportistas que se integren a la operación.

Tabla 1. *Frecuencia y nivel de ejecución de las OLT en la empresa*

OLT	Frecuencia y nivel de ejecución en la empresa		
	Estratégico	Táctico	Operacional
Selección y operación de los modos de transporte	Por proyectos (esporádicamente)	No	Considerando modos habilitados previamente (diariamente)
Diseño de la red de distribución	Por proyectos (esporádicamente)	No	No
Diseño de la estrategia de ruteo	Por proyectos (esporádicamente)	No	Considerando demanda real y producto disponible (diariamente)
Gestión de la capacidad de transporte	No	No	Considerando demanda real y producto disponible (diariamente)
Definición de los roles de los agentes logísticos	Por proyectos (esporádicamente)	No	No
Selección de proveedores de transporte	Únicamente para modo marítimo (anualmente)	Considera principalmente costo, además de desempeño y confiabilidad (semestralmente)	Considerando proveedores habilitados previamente (diariamente)

Finalmente, a nivel operativo se consideran la mayoría de OLT, teniendo en cuenta acuerdos previos, generados bien sea en los niveles táctico y estratégico, o provenientes de las prácticas tradicionales en cada una de las operaciones locales. Para la selección de modos en este nivel, se considera la disponibilidad y flexibilidad operativa, la necesidad en términos de capacidad de los vehículos, tiempos y nivel de servicio acordado con los clientes; en la ejecución de estrategias de ruteo y utilización de la capacidad de los vehículos a nivel operativo se considera la disponibilidad de producto y demanda real, así como sus puntos geográficos en búsqueda de optimización; y la selección de proveedores se hace con base en los criterios definidos en el nivel táctico y la disponibilidad en el momento operativo

específico. El diseño de red de distribución y la definición de roles de los agentes logísticos por su naturaleza, no cuentan con acciones a este nivel.

1.4.3 Iniciativas de descarbonización logística en la empresa

A nivel global, durante 2020 la empresa ha puesto en su estrategia a mediano y largo plazo a la sostenibilidad como punto central, generando un modelo de negocio que promueve la economía circular y la reducción de emisiones de CO₂ enfocada principalmente en el diseño y manufactura de los productos en búsqueda de la reducción del consumo de recursos y la extensión de la vida útil de los productos.

Dentro de los objetivos a 2030 de la empresa, en términos de impacto ambiental, se encuentran: (1) Incrementar el uso de materiales reciclados y renovables en un 40% y (2) Reducir las emisiones de CO₂ directas, e indirectas en un 50%. En concordancia con estos objetivos, las áreas logísticas de la empresa en Latinoamérica identificaron durante 2021 y 2022 diez iniciativas de optimización de carga, reducción de movimientos vacíos y cambio de modos, logrando una reducción de emisiones de 6207 toneladas de CO₂eq.

1.4.4 Problemática de las iniciativas de descarbonización logística en la empresa

Al ser un requerimiento nuevo en el área logística, ninguno de los especialistas encargados de las OLT son expertos en la selección y coordinación de iniciativas de descarbonización logística y, por lo tanto:

- Se desconoce si la reducción de emisiones registrada a la fecha es apropiada para las características de la red logística.
- Se desconoce la contribución que el área logística puede tener dentro de los objetivos de sostenibilidad de la compañía.
- Las iniciativas implementadas hasta el momento han estado enfocadas en la generación de ahorros en gastos logísticos y, descarbonización logística ha sido un indicador secundario resultante.
- La ejecución de las OLT a nivel operativo aún se hace sin considerar factores de impacto ambiental.

Teniendo en cuenta la situación actual de la empresa, descrita en las secciones 1.4.2 y 1.4.3 con respecto a OLT e iniciativas de descarbonización logística en la empresa, se pueden asociar las anteriores manifestaciones a disfunciones como:

- Desconexión estratégico-táctica-operacional

- Para la mayoría de las OLT no existen acciones a nivel táctico, dejando toda la responsabilidad de la ejecución estratégica a acciones operativas.
- Las acciones estratégicas asociadas a las OLT son ejecutadas en su mayoría como resultado de proyectos particulares y no como parte de un proceso establecido.
- Las OLT no fueron expresamente incluidas en la estrategia de mediano y largo plazo de la empresa.
- No existen políticas para la gestión de iniciativas de reducción ambiental en OLT.
- No existen procesos de planeación de OLT estandarizados.
- Desconocimiento por parte de los líderes y especialistas de temas relacionados con reducción de impacto ambiental en OLT.

Además, la red logística presentada en la sección 1.4.1 muestra que la responsabilidad de la planeación y ejecución del transporte es compartida con proveedores y clientes; y en particular en el país con mayor cantidad de puntos de entrega dicha responsabilidad es en su mayoría de los clientes, razón por la que los especialistas encargados de las OLT han encontrado barreras para la ejecución de iniciativas de descarbonización logística.

Considerando la desconexión entre las decisiones estratégicas y las actividades operativas en torno a las OLT, incluidas las relacionadas con iniciativas de descarbonización logística, además del desconocimiento de estas por parte líderes y especialistas; con la intención de fortalecer el proceso de toma de decisiones para la gestión y monitoreo de iniciativas de descarbonización en OLT, esta tesis intenta responder las siguientes preguntas de investigación:

¿Cómo empatar las decisiones estratégicas respecto de iniciativas de descarbonización logística con las operaciones de la misma naturaleza?

¿Qué cambios se deben considerar en las OLT para contribuir a la descarbonización logística?

1.4.5 Objetivo General

Formular un plan táctico para la empresa caso de estudio; un plan enfocado en la descarbonización en operaciones logísticas de transporte; un plan que considere las buenas prácticas de la industria y que tenga como propósito hacer compatibles las directrices estratégicas de la empresa en términos de sostenibilidad y las acciones de las áreas logísticas locales en el mismo sentido.

1.4.6 *Objetivos Específicos*

- Identificar prácticas, criterios y herramientas existentes en la industria para descarbonización en OLT.
- Evaluar la condición actual de la empresa e identificar problemas y oportunidades con base en la directriz de reducción de impacto ambiental existente.
- Contextualizar el plan táctico entorno a las prácticas, criterios y herramientas aplicables en la empresa para la descarbonización en OLT.
- Validar la ética, eficiencia, eficacia y efectividad del plan táctico propuesto con la consulta a líderes y especialistas de la empresa.

1.5 *Justificación y alcance*

A nivel global existe un gran desafío asociado al cambio climático, el cual, de acuerdo con McKinnon (2018), ha sido impulsado principalmente por el aumento en la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, que se ha dado de forma acelerada en las últimas décadas. Ante este escenario, se requieren acciones en todo tipo de industrias y actividades para reducir lo antes posible las emisiones contaminantes. Dadas las tendencias de globalización actual, el transporte de mercancías se convierte en uno de los puntos focales ya que de continuarse con las practicas actuales, se estima que las emisiones asociadas a este sector de la economía se duplicarían para 2050. Existen diversas iniciativas a nivel mundial desarrolladas a nivel gubernamental, empresarial y académico centradas precisamente en la reducción de las emisiones contaminantes asociadas al transporte de mercancías, sin embargo, hasta el momento estos esfuerzos y estudios se han concentrado principalmente en países europeos y asiáticos; en Latinoamérica, en contraste con dichas regiones, la información en torno al tema, así como los esfuerzos públicos y privados documentados son limitados, por lo cual la presentación de un caso específico puede aportar para que sea motivación para futuros investigadores en la región de abordar el tema.

El alcance de esta tesis es la identificación de prácticas criterios y herramientas claves para la gestión y monitoreo de iniciativas de descarbonización en OLT y la propuesta de un plan táctico que permita a los líderes y especialistas de la empresa conectar las estrategias con las acciones tomadas a nivel operativo, asegurando que los resultados a corto plazo son compatibles con la dirección estratégica, además de facilitar la selección de las iniciativas a desarrollar y el establecimiento de la forma en que se coordinaran.

CAPÍTULO 2. PLANEACIÓN TÁCTICA Y DESCARBONIZACIÓN LOGÍSTICA

En este capítulo se presentan los marcos conceptual y metodológico a partir de los cuales se realizó la tesis, incluyendo la descripción de los elementos de planeación relevantes para la propuesta, presentando la descarbonización logística como concepto clave para la gestión de iniciativas de reducción de impacto ambiental del transporte e identificando prácticas en la industria; además, se describen las metodologías de cálculo y reporte de emisiones, necesarias para determinar un punto de referencia asociado al objetivo del trabajo de investigación y finalmente se presenta la estrategia de investigación.

2.1 Planeación Táctica

2.1.1 Instancias de la Planeación

De acuerdo con Sánchez-Lara (2021), pensar en términos de planeación implica considerar hacia qué estado futuro podemos o queremos llevar un sistema, y este estado futuro depende de quién planea (el sujeto estimulador o inhibidor del cambio), qué se planea (el objeto o sistema con sus correspondientes límites) y en qué contexto se planea (entendido como el suprasistema constituido por componentes no considerados en un sistema de interés, pero que interactúan con este). Con base en estos tres elementos, se han construido múltiples definiciones de planeación, que, si bien difieren en su naturaleza y el lugar que ocupan conceptualmente, convergen hacia una metodología con cuatro instancias descritas en la **Figura 7**, que se repiten de forma iterativa y a distinto nivel de detalle de acuerdo con el horizonte en el que está planteado el proceso de planeación (corto, mediano o largo plazo).

Figura 7. *Instancias de la Planeación*



Fuente: (Sánchez-Lara, 2021)

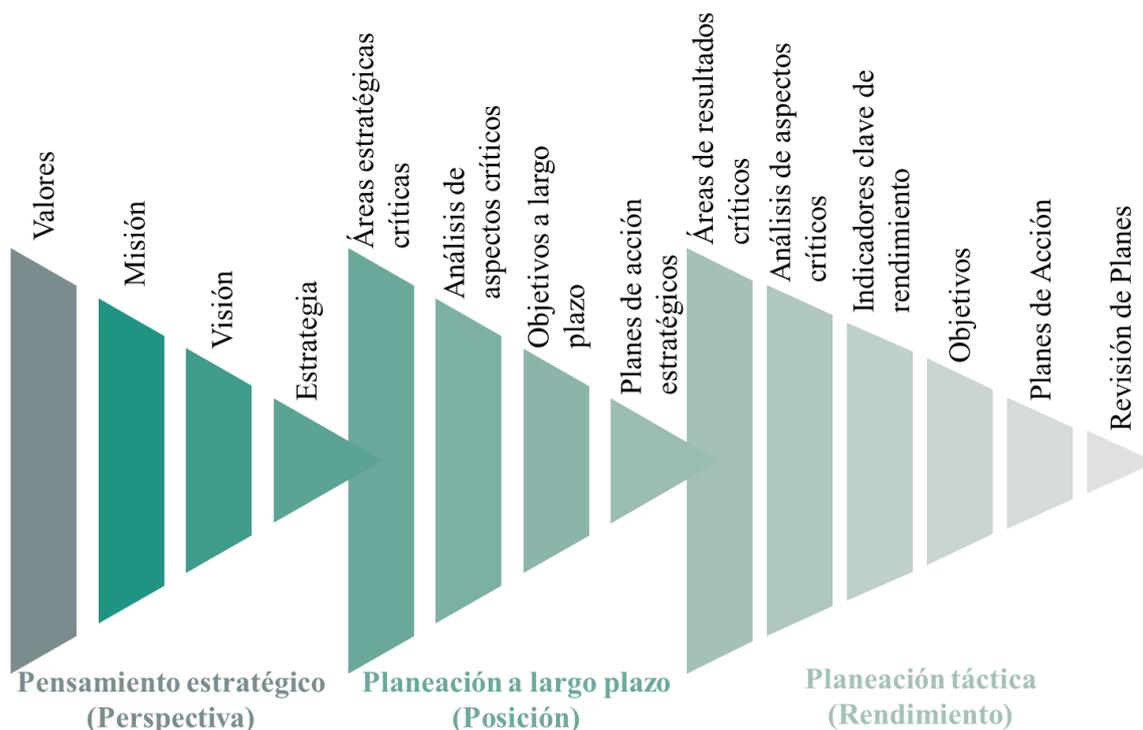
2.1.2 Coordinación entre la planeación táctica y las estrategias empresariales

La planeación estratégica se define como el proceso de desarrollo y mantenimiento de un ajuste permanente entre la organización y las cambiantes oportunidades de su entorno. Generalmente, la planeación estratégica es de largo plazo (cinco a diez años) y abarca a todo un sistema u organización buscando resultados de largo alcance (Planeación Departamental. Gobernación del Atlántico, 2020). En el contexto de los negocios, las decisiones estratégicas se relacionan con las políticas gerenciales y el desarrollo de competencias enfocadas en satisfacer el mercado en el largo plazo. Por su parte, la planeación táctica, parte de los lineamientos sugeridos por la planeación estratégica y asegura la compatibilidad de los resultados a corto plazo con la dirección a largo plazo.

Ackoff (2002), plantea que la diferencia entre planeación estratégica y planeación táctica se da en tres dimensiones: (1) El alcance temporal, donde entre más prolongado sea el efecto de un plan y más difícil sea revertirlo, más estratégico se considera, en contraste lo táctico se considera de corto alcance; (2) El campo de acción, donde entre más funciones de una organización se vean afectadas por un plan, más estratégico se considera y lo táctico es de menor campo de acción; y (3) La relación con los objetivos, mientras que a nivel táctico se seleccionan los medios con los que se persiguen, a nivel estratégico se originan. En estas tres dimensiones se puede concluir que los dos tipos de planeación se complementan entre sí, sin embargo, no son tan claros los límites entre una y otra y la forma en que se relacionan.

El proceso de planeación planteado por Morrisey (1996a), que funciona como un enlace entre el pensamiento intuitivo y analítico, puede esclarecer la ambigüedad del escenario previamente descrito; el proceso tiene tres fases principales: (1) El pensamiento estratégico, enfocado en procesos intuitivos para crear la perspectiva futura y las bases sobre las que se tomarán las decisiones, es decir los valores, misión, visión y estrategia; (2) La planeación a largo plazo, que se enfoca en evaluar y activar los elementos creados en la primera fase para generar proyecciones de las posiciones futuras que se desean lograr; y (3) La planeación táctica que, desde un enfoque analítico, determina las acciones específicas que se requieren para llevar a cabo la misión y alcanzar las posiciones futuras proyectadas. Aunque los tres componentes requieren un nivel distinto de enfoque por parte de los involucrados, sus componentes se traslapan (ver **Figura 8**).

Figura 8. *Proceso de Planeación según Morrisey*



Fuente: (Morrisey, 1996a).

2.1.3 Características de la planeación Táctica

De acuerdo con Ackoff (2002) la planeación táctica se ocupa de seleccionar los medios con los que se perseguirán los objetivos específicos, mismos que generalmente se definen en un nivel superior; por su lado, Morrisey (1996) indica que la planeación táctica, define con claridad qué desea una institución, cómo y cuándo se realizará y quién será el encargado; es decir, se refiere a la implantación del plan estratégico y a la producción de resultados a corto plazo; también indica que el proceso de planeación táctica está compuesto de seis elementos primordiales que a manera de embudo avanzan desde lo extenso y general a lo limitado y específico, reduciendo el tamaño de las decisiones administrativas con el objetivo de hacerlas eficientes:

- **Identificación de áreas de resultados críticas:** Áreas prioritarias identificadas en los planes estratégicos dentro de las que se deben lograr resultados.
- **Análisis de cuestiones críticas:** Para evaluar la condición actual de dichas áreas de acuerdo con el plan estratégico, rendimiento, problemas y oportunidades.
- **Definición de indicadores críticos de rendimiento:** Factores medibles dentro de cada una de las áreas de resultados críticas

- **Definición de objetivos:** Resultados específicos y medibles para los indicadores planteados que se alcanzarán dentro del periodo del plan
- **Generación de planes de acción:** Acciones específicas para lograr cada objetivo (actividades, series de eventos u objetivos)
- **Revisión del plan:** Respondiendo a las preguntas ¿Qué es lo que probablemente cambiará?, ¿Cómo y cuándo se sabrá?, y en resumen ¿Qué se hará?

2.1.4 El monitoreo en el marco de la planeación

Orotin (2015) presenta al monitoreo como un proceso rutinario de colecta de datos y medición del progreso hacia objetivos definidos e indica que un sistema de monitoreo requiere de tres tipos de información: (1) Información de entrada, correspondiente a los recursos financieros, de personal, materiales y tiempo; (2) Información de proceso, relacionada con el conjunto de actividades en las que se asignan los recursos para cumplir con los objetivos planteados; y (3) Información de salida, correspondiente a los resultados obtenidos de la ejecución de actividades. De manera similar menciona que el desarrollo de un sistema de monitoreo y evaluación que permita usar la información colectada para ayudar a los involucrados en la toma de decisiones requiere de los siguientes componentes esenciales:

- La selección de indicadores para cada actividad relacionada con los objetivos por categoría de información.
- La inclusión de métodos y herramientas de colecta de datos de acuerdo a la frecuencia definida por indicador.
- La colecta de información relativa a los indicadores.
- El análisis de la información.
- La presentación y comunicación de la información de manera apropiada.
- El uso de la información para la toma de decisiones en búsqueda de la mejora.

Dentro de la planeación táctica, esta función está asociada a la etapa de revisión del plan, que se considera de vital importancia ya que es una manera de garantizar que lo que se ha decidido lograr, se traduzca en una acción significativa que produzca resultados. Este trabajo incluye el diseño de la herramienta de monitoreo para la empresa.

El propósito fundamental de lo que se conoce como control administrativo es enviar una señal de alerta cuando se necesitan cambios en el tiempo para tomar la acción correctiva

necesaria (Morrisey, 1996b). En este contexto, los indicadores críticos de rendimiento son el elemento con el que se puede hacer el seguimiento del grado de avance y en su caso introducir las oportunas modificaciones.

Una de las herramientas ampliamente usadas en el ámbito empresarial para el control de indicadores son los tableros de control, los cuales proporcionan una visión gráfica del negocio para ser usados como herramientas de gestión y toma de decisión (Dávila, 1999).

En esta tesis, se abordó el proceso de planeación táctica como propuesta central siguiendo los pasos planteados por (Morrisey, 1996b) y descrita en la sección 2.1.3 con base en la dirección estratégica de la empresa en términos de sostenibilidad, brindando un puente entre esta dirección y las acciones enfocadas en la descarbonización logística en el corto y mediano plazo; dentro de los entregables se encuentran:

- Propuesta de indicadores críticos de rendimiento asociados al monitoreo del impacto ambiental en operaciones logísticas de transporte.
- Planteamiento de objetivos para los indicadores críticos de rendimiento propuestos e identificación los beneficios esperados.
- Formulación de planes de acción para lograr los objetivos planteados.
- Propuesta de sistema de monitoreo de indicadores críticos de rendimiento por medio de Tableros de control.
- Evaluación de factibilidad del plan táctico propuesto con involucrados claves en la empresa.

2.2 Descarbonización logística

La descarbonización es el proceso mediante el cual los países u otras entidades tratan de lograr una economía con bajas emisiones de carbono, o mediante el cual las personas tratan de reducir su consumo de carbono (IPCC, 2014). Este concepto tomó fuerza desde el acuerdo de París adoptado en 2015 por 196 países con el objetivo de limitar el calentamiento global para no superar 2°C; lograr este objetivo implica el desarrollo de planes para que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) alcancen un pico y se reduzcan en el largo plazo (Edwards, 2017), los planes planteados incluyen la reducción en la dependencia del petróleo y gas para las actividades económicas; a medida que otros sectores disminuyan esta dependencia, se prevé que el sector del transporte se convierta en el de más intensidad de

emisiones para 2040 y sin intervención se duplicarían para 2050 (Smart Freight Centre, 2019).

2.2.1 Prácticas de la Industria

En el sector logístico, el marco de descarbonización más ampliamente abordado es el de Logística Verde, descrito en la sección **1.3.7.**; Europa puede ser considerada como región referente, de acuerdo a la cantidad de publicaciones relacionadas con el tema y el avance en la puesta en marcha de la descarbonización logística, el cual de acuerdo con el estudio del Centro de Logística Sostenible y Cadena de Suministro (CSLS, por sus siglas en inglés) de la Kuhne Logistics University indica que: 30% de las empresas consultadas cuentan con estrategias de descarbonización en curso o ya implementadas y han establecido objetivos de reducción de emisiones; las empresas mantienen alineados los objetivos ambientales y comerciales, reconociendo que la mitad o más de las medidas de descarbonización implementadas reducen costos, destacándose el cambio modal de terrestre a ferrocarril, el cambio a energías renovables y la mejora en la utilización de vehículos; se considera que la digitalización es un factor transformador al mejorar la visibilidad de la cadena de suministro y los sistemas de gestión y planificación del transporte (Mckinnon & Petersen, 2021)

En Latinoamérica, la región donde se ubica el caso de estudio, Rincón-Roncancio & Sánchez-Lara (2022), realizaron una revisión sistemática de la literatura de la cual se integran elementos posteriormente en esta tesis; en primer lugar, identifican una serie de iniciativas asociadas a las estrategias de Logística Verde (ver **Tabla 2**), destacándose la aplicación de iniciativas para la eficiencia energética dados los beneficios económicos (ahorros de entre 3.5% y 30% en el consumo de combustible) y la mejora de la seguridad vial; en contraste, identificaron limitantes asociadas a la infraestructura disponible, el valor de capital y el número de empleos que se vería afectado en empresas vinculadas con la refinación y distribución de combustibles fósiles para la implementación de iniciativas para la reducción de contenido de carbono de la energía.

En cuanto a los actores clave responsables de las acciones en las iniciativas de descarbonización logística, identifican cuatro grupos principales: (1) Entidades Públicas, (2) Empresas privadas proveedoras de servicios logísticos, (3) Empresas privadas fabricantes de vehículos de carga, y (4) Empresas privadas generadoras de carga, destacándose la responsabilidad de las empresas privadas generadoras de carga, donde se ubica el caso de estudio, a pesar de no ser actualmente quienes generan y documentan mayor número de

iniciativas respecto de la descarbonización logística, sugiriendo desinterés, falta de compromiso o falta de madurez y herramientas de gestión respecto de la sostenibilidad en sus operaciones logísticas. También resaltan que existe una buena proporción de iniciativas (20%) con más de un actor clave, es decir, se consideran a muchos como responsables de los resultados siendo necesaria la colaboración, que se abordará con mayor detalle en la siguiente sección.

Tabla 2. *Iniciativas en el marco de Logística Verde en Latinoamérica*

Estrategia Logística Verde	Iniciativas en Latinoamérica
Reparto modal	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de redes multimodales, reduciendo transporte terrestre y aéreo, y aumentando ferroviario y marítimo • Análisis de sensibilidad para evaluar distintos modos
Intensidad del transporte de carga	<ul style="list-style-type: none"> • Optimización del ruteo • Diseño de políticas de inventario • Diseño de red • Redes de distribución colaborativa • Modificación de hábitos de consumo • Reducción y tercerización de la flota
Utilización de activos	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de centros de consolidación de carga • Maximización de la capacidad utilizada • Reducción de viajes vacíos • Software para la optimización logística • Uso de Bitrenes • Rastreo de vehículos
Eficiencia energética	<ul style="list-style-type: none"> • Entrenamientos en conducción ecoeficiente • Control de horarios de recolección, distribución y tiempos de ciclo • Mantenimiento preventivo de los vehículos • Mejoras tecnológicas de los vehículos (aerodinámica, eficiencia de motor, telemetría, resistencia de los neumáticos) • Legislación de límite o control de emisiones
Contenido de carbono de la energía	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del consumo de combustibles fósiles • Innovación tecnológica relacionada con el uso de biocombustibles, vehículos eléctricos e híbridos • Renovación de flotas

Fuente: (Rincón-Roncancio & Sánchez-Lara, 2022)

En relación a los propósitos de los documentos revisados por Rincón-Roncancio & Sánchez-Lara (2022), se destacan: (1) Proporcionar un marco de referencia o normativo, (2) Comparar el desempeño de iniciativas de descarbonización respecto de otros factores, incluyendo los económicos, sociales, de productividad, nivel de servicio o eficiencia, (3) Cuantificar el potencial de descarbonización, (4) Compartir mejores prácticas y (5) Promover la descarbonización por medio de inversión pública. En particular, en el propósito de cuantificación del potencial de descarbonización, evidencian la no estandarización de metodologías, lo que implica que los resultados no se pueden comparar y en algunos casos no son fiables, sin embargo, la importancia de este propósito es alta, ya que es la base para

evaluar la eficacia de las iniciativas que se implementen; teniendo en cuenta esto, en la sección 2.2.3 se aborda el Marco Operativo del Consejo Global de Emisiones Logísticas (GLEC por sus siglas en inglés), que responde a esta necesidad con una serie de directrices reconocidas a nivel global para calcular, reportar y reducir las emisiones logísticas que se manejan en la industria (Smart Freight Centre, 2019).

2.2.2 Colaboración en la cadena de suministro

El escenario descrito en la sección anterior coincide con una de las necesidades de la empresa caso de estudio, donde la colaboración a distintitos niveles de la cadena con clientes, proveedores, competidores, entidades gubernamentales, etc., se hace necesaria para potenciar el impacto de iniciativas aisladas, ya que se reducen las limitaciones propias de los actores individuales, además, de acuerdo con (Ahmed et al., 2020) existen impactos significativos y positivos de la presión institucional y el seguimiento de los clientes en la adopción de prácticas de gestión de la cadena de suministro verde (GSCM) por parte de las organizaciones involucradas en sus propias operaciones.

La colaboración entre actores implica alinear intereses a través de algunos mecanismos, sobre todo los intereses de los actores públicos y privados, permitiendo el diseño e implementación de políticas y tecnologías para la descarbonización logística (Roblero & Longhi, 2021). Así, cobra relevancia el diseño de redes colaborativas, por ejemplo, entre actores privados que comparten vehículos, rutas y clientes, que consolidan la demanda mejorando la eficiencia individual. El Instituto Mexicano del Transporte refuerza la idea de las redes colaborativas, señalando que la adaptación del sistema de transporte respecto del cambio climático requiere resiliencia que emerge de la preparación, coordinación y colaboración entre organizaciones (Gradilla, 2012).

2.2.3 Contabilidad y Reporte de Emisiones Logísticas

El Smart Freight Centre (2019) indica que un esfuerzo mundial coordinado en el sector logístico es fundamental para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París sobre el Cambio Climático y los Objetivos de Desarrollo Sustentable. En este esfuerzo, se resalta la importancia de las empresas para entrar en acción, especialmente las multinacionales (como la del caso de estudio) que como compradores o proveedores de servicios logísticos pueden convertirse en líderes de la reducción de emisiones logísticas al reportar las emisiones de carbono, establecer objetivos climáticos y colaborar con socios para alcanzarlos, además de integrarla a su identidad corporativa.

El primer paso para lograr esto de forma estructurada, es calcular y reportar las emisiones logísticas, para ello el Smart Freight Center reunió a la comunidad logística y constituyó el denominado Marco GLEC, reconocido a nivel mundial y que tiene como propósitos: contabilizar e informar sobre emisiones logísticas. Este marco considera metodologías e investigaciones preexistentes y reconocidas para medir emisiones en diferentes modos de transporte. En la **Figura 9** se muestran las metodologías utilizadas por el marco GLEC.

Figura 9. Metodologías del marco GLEC



Fuente: DFGE – Institute for Energy Ecology and Economy, 2022.

Algunas de las utilidades para las empresas que el Smart Freight Centre (2019) resalta del Marco Operativo del GLEC son:

- Funciona con los estándares de la industria.
- Se puede aplicar empresas de todos los tamaños y capacidades institucionales.
- Es conveniente tanto para empresas generadoras de carga, transportistas y proveedores de servicios logísticos, como para otros usuarios de información sobre emisiones como gobiernos e inversionistas.
- Es compatible con los programas de transporte ecológico de mercancías.
- Funciona para la toma de decisiones.

Los GEI incluidos en el Marco, asociados con la combustión y refrigeración de combustibles fósiles son: perfluorocarbonos, hidrofluorocarbonos, metano, hexafluoruro de azufre, óxido nitroso, trifluoruro de nitrógeno y dióxido de carbono (CO₂); este último constituyendo la

mayoría de las emisiones de las actividades logística y por lo tanto usado como referencia para representar con las que se miden las emisiones en un factor equivalente (CO₂eq). El marco operativo GLEC incluye las emisiones del ciclo de vida completo de los combustibles (ver **Figura 10**), conocidas como factores de emisión del pozo a la rueda (well-to-wheel, WTW), que se compone de los factores del pozo al tanque (well-to-tank, WTT) correspondientes a la extracción, procesamiento, almacenamiento y entrega de energía hasta el punto de uso; y factores tanque a la rueda (tank-to-wheel, TTW) correspondientes a las emisiones por combustión de los combustibles

Figura 10. Emisiones del ciclo de vida de los combustibles



Fuente: (Smart Freight Centre, 2019)

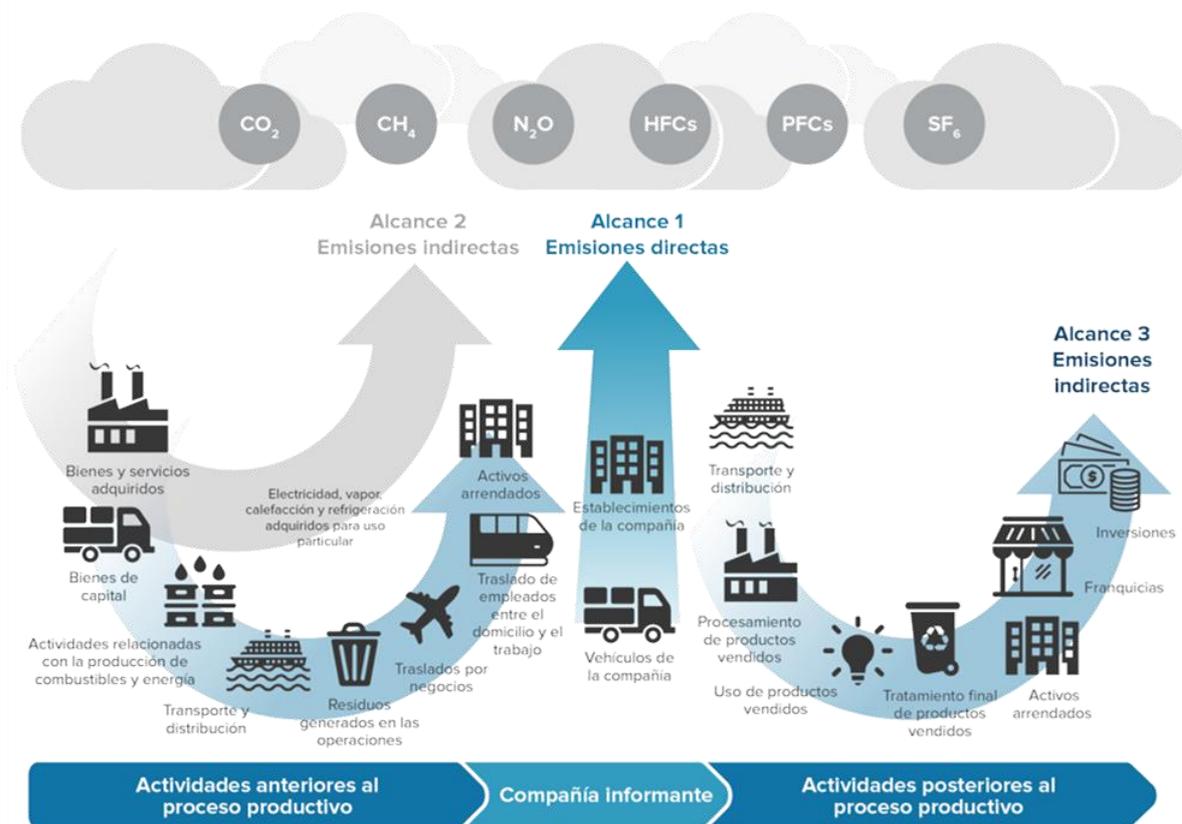
Alcances de la contabilidad

El Marco Operativo del GLEC clasifica las emisiones en tres categorías de acuerdo con los alcances propuestos por el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (ver **Figura 11**). En el alcance 1 considera las emisiones directas de los activos que son propiedad o están controlados por la empresa informante³ tales como vehículos, embarcaciones, aviones, locomotoras, almacenes, entre otros; en el alcance 2 se consideran las emisiones indirectas de electricidad, calor y vapor adquiridas por la empresa informante para usarse en sus propios vehículos o activos de su propiedad; y finalmente en el alcance 3 se consideran las emisiones indirectas de la cadena de suministro de la empresa informante correspondientes principalmente a emisiones de transporte necesarias para trasladar productos desde los

³ Se considera empresa informante como aquella que calcula y reporta emisiones logísticas siguiendo la metodología planteada por el marco del Consejo Global de Emisiones Logísticas (GLEC).

proveedores a la empresa informante y desde la empresa informante al cliente final en vehículos que no son de su propiedad; vale la pena resaltar que la mayoría de actividades logísticas en el caso de estudio concentran sus emisiones en este último alcance.

Figura 11. Alcances 1, 2 y 3 del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero

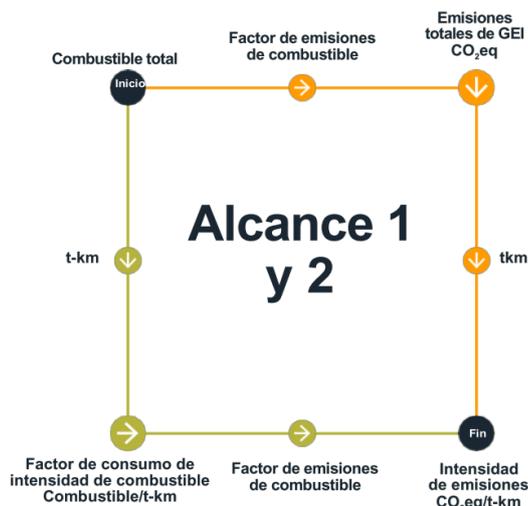


Fuente: (Aldridge, 2016)

El cálculo de emisiones logísticas se realiza de forma diferenciada para cada uno de los alcances y puede variar según los datos de consumo energético disponibles (Primarios o reales, de algún programa de transporte ecológico, modelados o predeterminados). La unidad clave que se usa como referencia para calcular intensidad de emisiones en el transporte de mercancías es la tonelada-kilómetro (t-km) ya que representa una tonelada de carga que se transporta por un kilómetro; para calcular las toneladas-kilómetro de un solo envío, se multiplican el peso en toneladas y la distancia en kilómetros.

El cálculo de emisiones logísticas de los alcances 1 y 2 comienza con el combustible total que se convierte en emisiones con el uso de factores de emisión de combustible y al dividirlo entre las toneladas-kilómetro da como resultado la intensidad de la emisión; estos pasos se pueden aplicar en cualquier orden (Ver **Figura 12**)

Figura 12. Cálculo de emisiones en los alcances 1 y 2



Fuente: (Smart Freight Centre, 2019)

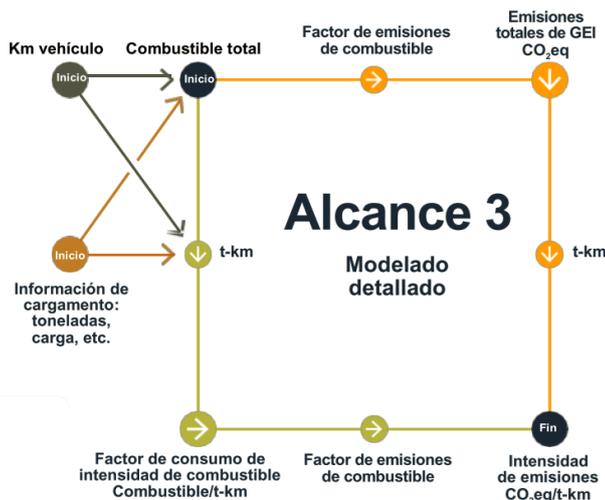
El cálculo de emisiones logísticas del alcance 3 varía de acuerdo a los datos de entrada disponibles; con datos primarios o de algún programa de transporte ecológico el flujo es idéntico al mostrado para los alcances 1 y 2 en la **Figura 12**; a partir de datos de intensidad de emisiones proporcionados por los proveedores, el cálculo se simplifica tal como se observa en la **Figura 13** a una multiplicación con las toneladas-kilómetro teniendo como resultado las emisiones totales; con modelado detallado, cuando la información disponible del transportista al cliente es limitada y se modela el consumo de combustible y las toneladas-kilómetro de manera interna con base en información de los envíos incluyendo matrices de origen-destino, pesos de carga, tipo de operación, entre otros factores, para posteriormente integrar al flujo de cálculo como se presenta en la **Figura 14**.

Figura 13. Cálculo de emisiones en el alcance 3 con datos de intensidad de emisiones



Fuente: (Smart Freight Centre, 2019)

Figura 14. Cálculo de emisiones en el alcance 3 con modelado detallado



Fuente: (Smart Freight Centre, 2019)

La Logística Verde como marco para la Descarbonización Logística y el Marco Operativo GLEC se tomaron como referencia para la elaboración de la propuesta central de esta tesis, incluyendo:

- La selección de iniciativas de Logística Verde a integrar en el plan táctico.
- La selección de actores clave en la cadena de suministro para la inclusión de iniciativas de colaboración en el plan.
- La formulación del modelo de contabilidad y reporte de emisiones logísticas para la empresa.

2.3 Estrategia de Investigación

El diseño de la estrategia parte de la problemática y preguntas de investigación descritas en el Capítulo 1 y consta de 5 etapas principales:

- **Etapas de obtención de información**, desde dos puntos de partida, (1) la revisión de la literatura y (2) los hechos, se identifican y sintetizan los elementos clave existentes para la medición, gestión y monitoreo de reducción de emisiones de GEI logísticas y se caracterizan las operaciones de transporte del caso de estudio asociadas;
- **Etapas de Análisis de información**, donde se contrastan las características específicas de la empresa con las descritas en los marcos de descarbonización, otros casos de estudio y herramientas de cálculo existentes en la literatura para definir los elementos y factores clave que se adaptan de mejor manera al caso de estudio;

- **Etapa de Diagnóstico**, donde se evalúa la situación actual de la empresa;
- **Etapa de Prescripción**, donde se genera el plan táctico para el cierre de brechas identificadas en el diagnóstico; y finalmente,
- **Etapa de verificación**: donde se valida la conveniencia y aceptación del plan táctico propuesto con stakeholders clave.

A continuación, se detallan las técnicas y herramientas de investigación usadas en cada una de las etapas.

2.3.1 Etapa de Obtención de Información

2.3.1.1 Análisis Documental

El análisis documental, es un proceso que se establece a partir de la necesidad de facilitar el acceso de los individuos a las fuentes de información (Peña & Pirella, 2007) y responde a tres necesidades informativas de los usuarios: (1) Conocer lo que otros pares han hecho o están realizando en el campo específico, (2) Conocer segmentos específicos de información de algún documento en particular y (3) Conocer la información relevante que exista sobre un tema específico. De acuerdo con Barbosa-Chacón et al. (2013), para lograr esto se requiere, además de recopilar la información, realizar un procesamiento analítico-sintético de la información siguiendo diferentes principios:

- **Finalidad**: Teniendo compromiso por establecer objetivos de investigación previos.
- **Coherencia**: Contando con unidad interna en materia de fases, actividades y datos.
- **Fidelidad**: Generando un respaldo en materia de recolección y transcripción.
- **Integración**: Articulando y evaluando de forma global el proceso.
- **Comprensión**: Favoreciendo la construcción teórica sobre el objeto de estudio.

En el caso de esta tesis, se realizó un Análisis Documental para identificar las iniciativas de reducción de impacto ambiental de mayor aplicación, así como los marcos de descarbonización y herramientas para el cálculo y reporte de emisiones GEI en logística.

2.3.1.2 Análisis Secundario

El análisis secundario es el análisis de datos por parte de investigadores que probablemente no hayan estado involucrados en la recopilación de esos datos, bien sea correspondientes a datos recopilados por otros investigadores, o por instituciones en el curso de sus negocios, para fines que probablemente no fueron previstos por los responsables de la recopilación de datos (Bryman, 2012). En la investigación, el análisis secundario puede ser utilizado como

punto de partida, como método complementario y como fuente de análisis principal. Para este trabajo se usó como fuente de análisis principal, tomando información histórica de operaciones logísticas de transporte en la empresa, disponible en el sistema de planificación de recursos empresariales (ERP por sus siglas en inglés) SAP para la caracterización de las OLT de la empresa en términos de impacto ambiental.

2.3.2 *Etapa de Análisis de información*

2.3.2.1 *Analítica de Datos*

El análisis se refiere a una revisión exhaustiva información para poder extraer conclusiones (B@UNAM, 2021); la Analítica de Datos por su parte, es el método de análisis basado en computación que interpreta los datos de los negocios para descubrir información significativa para predicciones, comprender la estrategia comercial e incluso mejorarla; por ejemplo puede ayudar a las empresas a tomar mejores decisiones estratégicas, lograr una buena eficiencia funcional, incrementar la satisfacción de los clientes y robustecer los niveles de rentabilidad. De acuerdo con Sharma et al. (2022), existen 3 técnicas de Analítica:

- ***Analítica Descriptiva:*** Responde a la pregunta ¿Qué pasó? Y trabaja sobre datos históricos para adquirir un entendimiento exhaustivo de los procesos de la organización. Se ejecuta con 2 pasos principales: (1) La agregación de datos, donde se recopilan y ordenan los datos para administrarlos de manera eficiente, y (2) la minería de datos, donde se extrae la información significativa.
- ***Analítica Predictiva:*** Usa datos históricos como base para predecir lo que sucederá en el futuro por medio de modelos matemáticos que identifican patrones y tendencias clave, generando pronósticos de lo que ocurrirá a continuación. En la actualidad en este tipo de analítica se suelen emplear herramientas de Inteligencia Artificial y Machine Learning.
- ***Analítica Prescriptiva:*** Se relaciona tanto con la analítica predictiva como con la descriptiva centrándose en los conocimientos prácticos para descubrir el mejor resultado entre una variedad de opciones. El objetivo principal de la analítica prescriptiva es sugerir las acciones que se deben tomar para abordar las situaciones futuras y soportar la toma de decisiones para optimizar los resultados. Este tipo de analítica se logra al combinar una estrategia de gestión de la información, con una estrategia tecnológica y una estrategia de ciencia de datos.

El análisis de la información obtenida del ERP en la empresa, correspondiente al histórico de embarques con origen, destinos, y detalle de los productos transportados, se concentró en

la fase descriptiva con la intención caracterizar las operaciones de transporte en términos de variables de impacto ambiental, para ello se siguieron los pasos claves descritos por Sharma et al. (2022) para un proceso exitoso de Analítica Descriptiva:

1. Decidir el punto de referencia para evaluar el rendimiento del sistema; en el caso de estudio se basó en los marcos de descarbonización y herramientas para el cálculo y reporte de emisiones GEI en logística obtenidos de la literatura.
2. Reconocer los datos necesarios; para el caso específico se relacionaron con la red logística, volumen de operación, distancias de viaje media, peso de carga y esquemas de transporte utilizados.
3. Se recaba la información y se pone en orden para su tratamiento.
4. Los datos se examinan para descubrir patrones y calcular su eficiencia; se compararon los elementos mencionados para los diferentes países en Latinoamérica donde la empresa tiene presencia.
5. Los datos se visualizan en forma de gráficos y tablas que cualquiera puede entender fácilmente; la información del caso de estudio se presenta en la sección **3.1** con cifras relativas para mantener la confidencialidad de la información.

2.3.2.2 Perfil Logístico de América Latina

El Banco de Desarrollo de América Latina – CAF, en el marco de intervención del Programa de Desarrollo Logístico Regional para América Latina CAF-LOGRA, elaboró el Perfil Logístico de América Latina – PERLOG (Farromeque, 2017) con la intención de aportar al análisis de la situación actual y desarrollo potencial a futuro del Sistema Logístico Regional Latinoamericano bajo un enfoque de sistema logístico conformado por: infraestructura, servicios, procesos, sistemas de información, capacidades de gestión, institucionalidad y regulación. Dentro de su objetivo general, el PERLOG que pretende constituirse como una base de partida para los procesos de concertación y colaboración con los países de la región, una aportación para la construcción de una visión logística integrada de la región y una invitación al contraste y participación con los actores y protagonistas de la logística latinoamericana

Alineado a estos objetivos, en el caso de estudio, se comparó la disposición geográfica de la red logística de la empresa, incluyendo puntos de fabricación y centros de distribución, con los ámbitos y corredores logísticos del PERLOG, entendiendo su relación con los nodos de distribución y corredores de la región, así como con la infraestructura crítica para el

transporte de carga, tal como puertos, fronteras, redes ferroviarias y plataformas logísticas multimodales; además se comparó la disposición geográfica de la red logística de la empresa en relación a la población de la región, identificando zonas con clientes potenciales descubiertas. Todo lo anterior, con la intención de identificar gráficamente las oportunidades de optimización de ruteo en función del costo y las emisiones de GEI, así como la relación de la red existente o potencial con las instalaciones logísticas relevantes para identificar oportunidades de cambio modal.

2.3.3 Etapa de Diagnóstico

El diagnóstico parte de la selección de elementos clave de la literatura respecto de la reducción de impacto ambiental en operaciones logísticas, incluyendo estrategias de descarbonización y herramientas de medición de GEI que mejor se adaptan a las actividades del caso de estudio, generando un marco de abordaje contra el cual se comparó el estado actual de las OLT en las áreas críticas de resultados de la empresa.

2.3.3.1 Análisis de Sistemas

De acuerdo con Velásquez (2000), las organizaciones son sistemas abiertos que se necesitan gestionar cuidadosamente, satisfacer y equilibrar sus necesidades internas y adaptarse a las circunstancias cambiantes del entorno; teniendo en cuenta esto, se incluyó en esta etapa el análisis de sistemas para generar un diagnóstico de la situación actual de la empresa de acuerdo al marco de abordaje, así como su relación con las estrategias empresariales con base en el pensamiento sistémico crítico, el cual de acuerdo con Jackson (2001), se desarrolló para permitir el análisis de los problemas sociales complejos y de la intervención para resolverlos al proporcionar un panorama amplio y uso de metodologías disponibles de forma conjunta y coherente para promover una intervención exitosa en situaciones problemáticas complejas.

El pensamiento sistémico crítico, se puede operacionalizar para alcanzar su máximo potencial mediante la aplicación de diferentes de métodos, modelos y técnicas o herramientas. Esta aplicación, debe siempre mantener un vínculo consciente entre las metodologías, los paradigmas que representan y el empleo de las herramientas per se; y para ello es indispensable precisar la esencia de las metodologías identificando las reglas constitutivas de las mismas; en este punto, Jackson desarrolla un modelo preliminar de dichas reglas, basado en el previamente desarrollado por Checkland y Scholes, presentado en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Reglas constitutivas preliminares para metodologías genéricas de sistemas

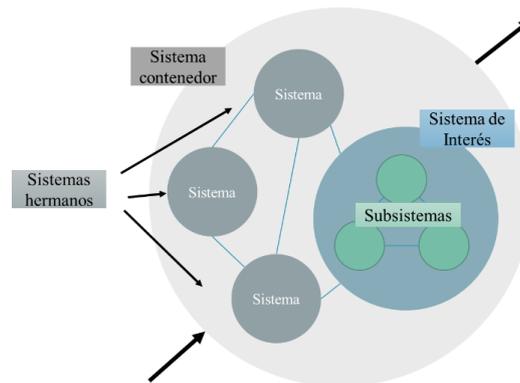
Metodologías de sistemas			
¿Qué son?	Formas de pensar estructuradas, relacionadas con diferentes fundamentos teóricos, centradas en mejorar algunas situaciones problemáticas del mundo real.		
¿Qué utilizan?	Ideas de sistemas (sistema, límites, emergencia, jerarquía, comunicación, control, etc.) durante el curso de la intervención y con frecuencia métodos, modelos, herramientas y técnicas de sistemas.		
Pautas para su uso	Metodología dura (funcionalista)	Metodología blanda (interpretativa)	Metodología emancipadora (radical)
Visión del mundo real	Se asume que el mundo real es sistémico.	No se asume que el mundo real es sistémico.	Se asume que el mundo real puede volverse sistémico de una manera alienante para los individuos o grupos.
Análisis de la situación	Se realiza en términos de sistemas.	Es creativo y no puede realizarse en términos de sistemas.	Su intención es revelar quién está en desventaja por los arreglos sistémicos actuales.
Intención en la construcción del modelo	Capturar la lógica de la situación que nos permita adquirir conocimiento del mundo real.	Representar algunos posibles sistemas de actividad humana.	Revelar fuentes de alienación y desventaja.
Uso del modelo	Para aprender la mejor manera de optimizar el mundo real y con fines de diseño.	Para interrogar las percepciones del mundo real y estructurar el debate sobre los cambios que son factibles y deseables.	Para informar a los marginados y desfavorecidos sobre su situación y sugerir posibles mejoras.
¿El análisis cuantitativo es útil?	Si, ya que los sistemas obedecen a leyes matemáticas.	Sólo para aclarar las implicaciones de las visiones del mundo.	Si, para capturar sesgos particulares en el arreglo sistémico existente
Tipo y Objetivo del proceso de intervención	Sistemático / descubrir la mejor manera de lograr un objetivo.	Sistémico, interminable / aliviar el malestar por la situación problemática.	Sistémico, interminable / mejorar la situación problemática de los alienados y / o desfavorecidos.
Base para la intervención	Conocimiento experto.	Participación de las partes interesadas.	Promover que los alienados y / o desfavorecidos comiencen a asumir la responsabilidad del proceso.
Evaluación de la solución	Eficiencia y eficacia.	Efectividad, estética y ética.	Ética y emancipación.
Adaptación a circunstancias particulares	Dado que cada tipo genérico de metodología puede usarse de diferentes maneras en diferentes situaciones, y puede ser interpretado de manera diferente por diferentes usuarios, cada uso debe exhibir un pensamiento consciente sobre cómo adaptarse a las circunstancias particulares.		
Relación de los hallazgos	Cada uso de una metodología de sistemas debe producir resultados de investigación y cambiar la situación del problema del mundo real. Estos hallazgos de la investigación pueden relacionarse con el fundamento teórico que subyace a la metodología, con la metodología en sí, con los métodos, modelos, herramientas y técnicas empleados, con el sistema para utilizar cada metodología o con todas las anteriores.		

Fuente: (Jackson, 2001)

Una herramienta eficaz para el análisis de sistemas son los diagramas de caja negra, los cuales son una abstracción o representación de un sistema de interés donde sus elementos se analizan en términos de sus características de entrada y salida (Green et al., 2017). Este sistema de interés en el enfoque de sistemas se considera abierto, dinámico y perteneciente

a un entorno con el que interactúa, y que forma a su vez parte de un sistema más amplio (ver **Figura 15**). En este contexto, la definición de límites para el sistema de interés cobra gran relevancia y los diagramas de caja negra deben seguir estos límites de tal forma que cada caja negra resuelve una parte bien definida del problema, la partición se realiza de manera que cada caja negra sea fácil de entender y son evidentes las relaciones entre sus elementos.

Figura 15. *Modelo de jerarquía de sistemas de Hitchins*



Fuente: (Hitchins, 2016)

2.3.4 Etapa de Prescripción

En la etapa de prescripción se realizó un ejercicio de análisis y síntesis de posibles soluciones basado en la generación, valoración y elección de alternativas para formular un plan táctico a partir del análisis de aspectos críticos definidos durante la etapa de diagnóstico, teniendo en cuenta los aspectos metodológicos descritos en la **Sección 2** además de conceptos clave en términos de indicadores, objetivos y generación de planes de acción descritos a continuación.

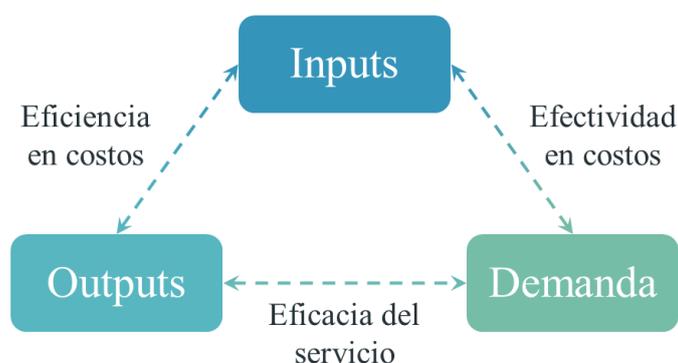
En cuanto a los indicadores, de acuerdo con Morrissey, (1996b) los indicadores clave de rendimiento (KPI por sus siglas en inglés) son aquellos factores medibles dentro de un área de resultado crítica en específico, en la que podría ser útil fijar objetivos y proporcionan la tangibilidad necesaria para otorgar solidez en cada una de estas áreas y pueden seleccionarse entre los siguientes tipos:

- Números precisos.
- Factores de servicio.
- Porcentajes.
- Problemas a solucionar.
- Logros Importantes.
- Indicadores suaves o indirectos.

Para el área específica de transporte De Rus et al. (2003) indica que los procedimientos para medir su productividad se basan en la construcción de distintos ratios de “*outputs*”, con

respecto a “*inputs*” a modo de indicadores; estos se clasifican de acuerdo al tipo de información que pueden proporcionar; la **Figura 16** presenta de forma esquemática la clasificación de los indicadores tipo ratio que habitualmente se construyen en la industria del transporte. Los indicadores de eficiencia miden la relación entre los inputs como el trabajo y el capital y los outputs como las horas-vehículo o la capacidad kilómetro; los de efectividad miden el ingreso proveniente de la demanda en relación a los inputs o gastos para la actividad del transporte; y los de eficacia valoran hasta qué punto hay demanda para los outputs generados por las actividades del transporte, tales como factores de carga y ocupación, e índices de seguridad operativa. Si bien de forma habitual no se cuenta con indicadores relacionados con las emisiones, se pueden construir siguiendo está misma lógica de ratios.

Figura 16. Dimensiones del análisis de indicadores de transporte



Fuente: (de Rus et al., 2003)

Posterior a la identificación de los indicadores clave asociados a las áreas críticas, se establecen objetivos; los cuales de acuerdo con Morrissey, (1996b) son declaraciones de resultados medibles que se deben lograr dentro del marco de tiempo del plan táctico y representan el punto focal al ser los factores principales mediante los cuales se puede medir el rendimiento. Para garantizar la pertinencia de los objetivos, de acuerdo con (Steffens & Cadiat, 2016) cada uno de ellos debe responder a cinco características; debe ser específico, medible, asignable, realista y temporalmente definido, correspondientes al modelo SMART, el cuál puede ser usado como técnica para la definición de objetivos. El detalle de los 5 elementos que forman el acrónimo de acuerdo con Doran GT, (1981) se puede observar en la **Tabla 4**.

Una vez establecidos los objetivos, el siguiente paso es generar los planes de acción, que de acuerdo con Morrissey, (1996b) es el elemento que fija el medio específico mediante el cual se lograrán los objetivos; los planes de acción incorporan cinco factores:

- Los pasos o acciones específicas: Entre cinco y diez acciones importantes requeridas para el logro de los objetivos.
- Los responsables: Las personas (o unidades) específicas que se encargarán de que se cumpla cada acción.
- El programa: El marco total de tiempo dentro del que se deben realizar las acciones, con inicio y fin.
- Los recursos: Dinero (para equipos, materiales, sistemas, etc.) y tiempo (de los empleados en horas o días) que se necesitarán para llevar a cabo las acciones.
- Los mecanismos de retroalimentación: Los métodos específicos que se emplearán para controlar el progreso.

Tabla 4. *Características de los objetivos SMART*

S	Específico (Specific)	Debe referirse a un elemento determinado <i>p. ej. Reducir el costo asociado a la máquina A, en lugar de Aumentar los beneficios de la empresa</i>
M	Medible (Measurable)	Se debe poder cuantificar o al menos sugerir un indicador de progreso; lo que implica tener acceso a los datos e interpretarlos correctamente
A	Asignable (Assignable)	Debe tener una o varias personas identificadas claramente como responsables de su realización
R	Realista (Realistic)	Debe poder alcanzarse dados los recursos disponibles
T	Determinado en el tiempo (Time-related)	Se debe especificar cuándo los resultados pueden lograrse

Fuente: (Steffens & Cadiat, 2016), (Doran GT, 1981)

Así mismo el desarrollo del plan de acción debe probar y validar que los objetivos planteados pueden lograrse de manera razonable dentro del tiempo proyectado, que se cuenta con el conocimiento y capacidad necesarios para llevar a cabo el plan, que se tienen o se pueden obtener los recursos necesarios y que se tiene acceso a toda la información requerida.

2.3.5 Etapa de Validación

El marco metodológico que respalda la validación del plan es la Ciencia del Diseño (Design Science). Con base en la Ciencia del Diseño la propuesta de la tesis, el plan táctico para la descarbonización logística para el caso de estudio en particular se considera un artefacto, una ontología de los planes de descarbonización logística en empresas sin flota propia. Se considera que el artefacto es primordialmente para la solución a un problema, para el caso la descarbonización de las operaciones logísticas de la empresa caso de estudio, y se espera

que la introducción del artefacto induzca su empleo y que se dejen a un lado o abandonen los comportamientos y mecanismos que son origen del problema. Las actividades realizadas en este marco, de acuerdo con March & Smith (1995), son: construcción y evaluación. La construcción se refiere al vocabulario y las conceptualizaciones para referirse a la formulación de planes para la descarbonización logística y el método para el desarrollo del plan táctico propuesto. La evaluación se refiere a los criterios y a su valoración para concluir que se ha realizado o logrado algún progreso con la inclusión de, en este caso, el plan táctico propuesto. Para el caso la evaluación está implícita en el proceso de validación del plan táctico donde con base en la opinión stakeholders clave de la empresa caso de estudio bajo criterios de eficiencia, eficacia, efectividad, y ética se concluye respecto al logro de progreso en la descarbonización logística.

2.3.5.1 Las 5E

De acuerdo con Checkland (1979), los modelos conceptuales de un sistema, en este caso el plan táctico propuesto, pueden ser evaluados con base en 3 conceptos principales: eficacia, eficiencia y efectividad, y 2 complementarios: ética y elegancia, de manera que se garantiza que incluye todo lo necesario para funcionar correctamente.

1. Eficacia: La pregunta “¿Es demostrable el funcionamiento?”, permite evaluar la eficacia al definir si el producto obtenido de un proceso cumple satisfactoriamente los criterios esperados.
2. Eficiencia: La pregunta “¿Son los recursos los mínimos posibles?”, permite evaluar la eficiencia al definir si hay uso adecuado de los recursos tales como tiempo, esfuerzo y dinero en la consecución del producto.
3. Efectividad: La pregunta “¿Se está haciendo lo correcto?”, permite evaluar la efectividad al definir si se hace lo correcto en términos de un nivel superior.
4. Ética: La pregunta “¿Es la transformación moralmente correcta?”, permite evaluar la ética al involucrar criterios morales.
5. Estética: La pregunta “¿Es la transformación estéticamente satisfactoria?”, permite evaluar la estética.

Para el caso de estudio se consideraron como criterios, la eficacia, eficiencia, efectividad y ética, ya que abordan aspectos clave para evaluar el desempeño del plan propuesto:

1. Eficacia: Evalúa si el plan abona al logro de los objetivos de la empresa respecto de la sustentabilidad.

2. Eficiencia: Evalúa si el plan es eficiente en relación con la asignación de recursos y la relación costo-beneficio.
3. Efectividad: Evalúa si el plan está alineado con la visión y compromiso corporativo de la empresa.
4. Ética: Evalúa si el plan contiene elementos de integridad y moral asociados con la estrategia y valores corporativos de la empresa, específicamente con el compromiso ante la sociedad.

2.3.5.2 Análisis de Stakeholders

El análisis de stakeholders o grupos de interés, es decir aquellos grupos o individuos que puedan ser afectados de manera significativa con la propuesta, o bien aquellos cuyas acciones puedan impactar la capacidad para implantar con éxito la propuesta y alcanzar sus objetivos (Global Reporting Initiative, 2013), se realizó por medio del modelo de Savage et al. (1991), el cual de acuerdo con Bernal & Rivas (2012) se centra en el potencial de la cooperación de los stakeholders. La clasificación de los stakeholders bajo este modelo se puede observar en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Tipos de Stakeholders organizacionales

		Potencial del Stakeholder para amenazar la propuesta	
		Alto	Bajo
Potencial del Stakeholder para cooperar con la propuesta	Alto	Stakeholder Tipo 4 INTENCIONES MIXTAS Estrategia: COLABORAR	Stakeholder Tipo 1 PRESTA APOYO Estrategia: VINCULAR
	Bajo	Stakeholder Tipo 3 NO PRESTA APOYO Estrategia: DEFENDERSE	Stakeholder Tipo 2 MARGINAL Estrategia: MONITOREAR

Fuente: (Savage et al., 1991)

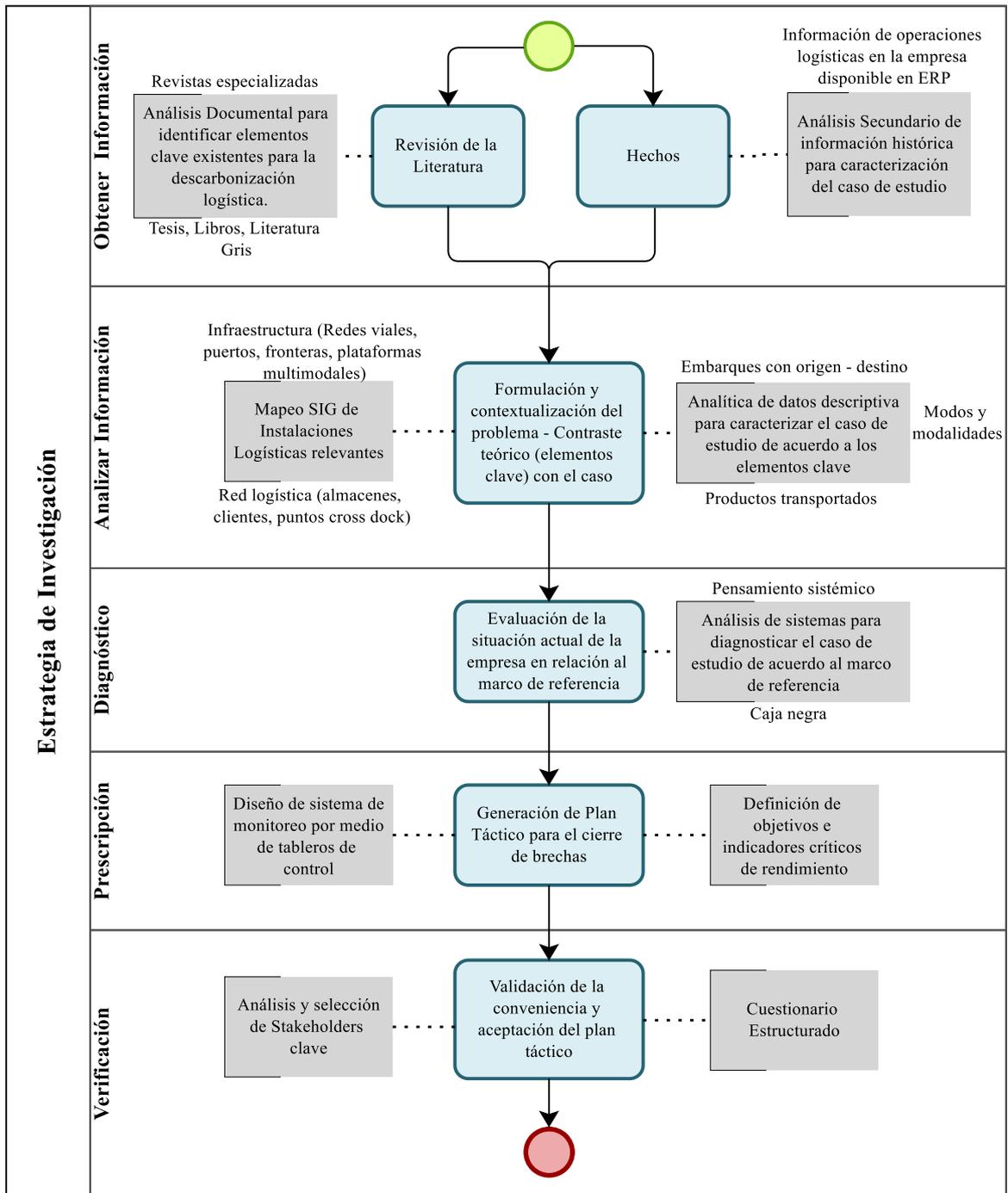
Los stakeholders seleccionados como clave para aplicar cuestionario en la etapa de verificación fueron aquellos Tipo 1 y Tipo 4; adicionalmente, se validó que los stakeholders seleccionados fueran los adecuados para validar el plan en función de los criterios descritos en la sección anterior.

2.3.5.3 Cuestionario Estructurado

Un cuestionario, como herramienta que permite plantear un conjunto de preguntas para recoger información estructurada sobre una muestra de personas, utilizando el tratamiento cuantitativo y agregado de las respuestas para describir la población a la que pertenecen o

contrastar estadísticamente algunas relaciones entre variables de su interés, provee de contexto para la toma de decisiones (Rodríguez & Meneses, 2011). De acuerdo con lo anterior, para el caso de estudio se diseñó un cuestionario estructurado con la intención de verificar la de eficiencia, eficacia, efectividad, ética y estética del plan táctico propuesto, dicho cuestionario fue aplicado a los stakeholders clave. La **Figura 17** presenta una síntesis de la estrategia de investigación descrita.

Figura 17. Estrategia de Investigación



CAPÍTULO 3. FORMULACIÓN DEL PLAN TÁCTICO PARA LA DESCARBONIZACIÓN LOGÍSTICA

3.1 Análisis situacional

En esta sección se describe la red y OLT de la empresa y su contexto con la intención de partir desde un análisis situacional que permita reconocer los asuntos relacionados a la descarbonización logística, e identificar fuerzas y fenómenos importantes que tienen impacto potencial en la formulación e implantación de soluciones, para posteriormente seguir con el proceso de planeación.

3.1.1 Red física de la empresa

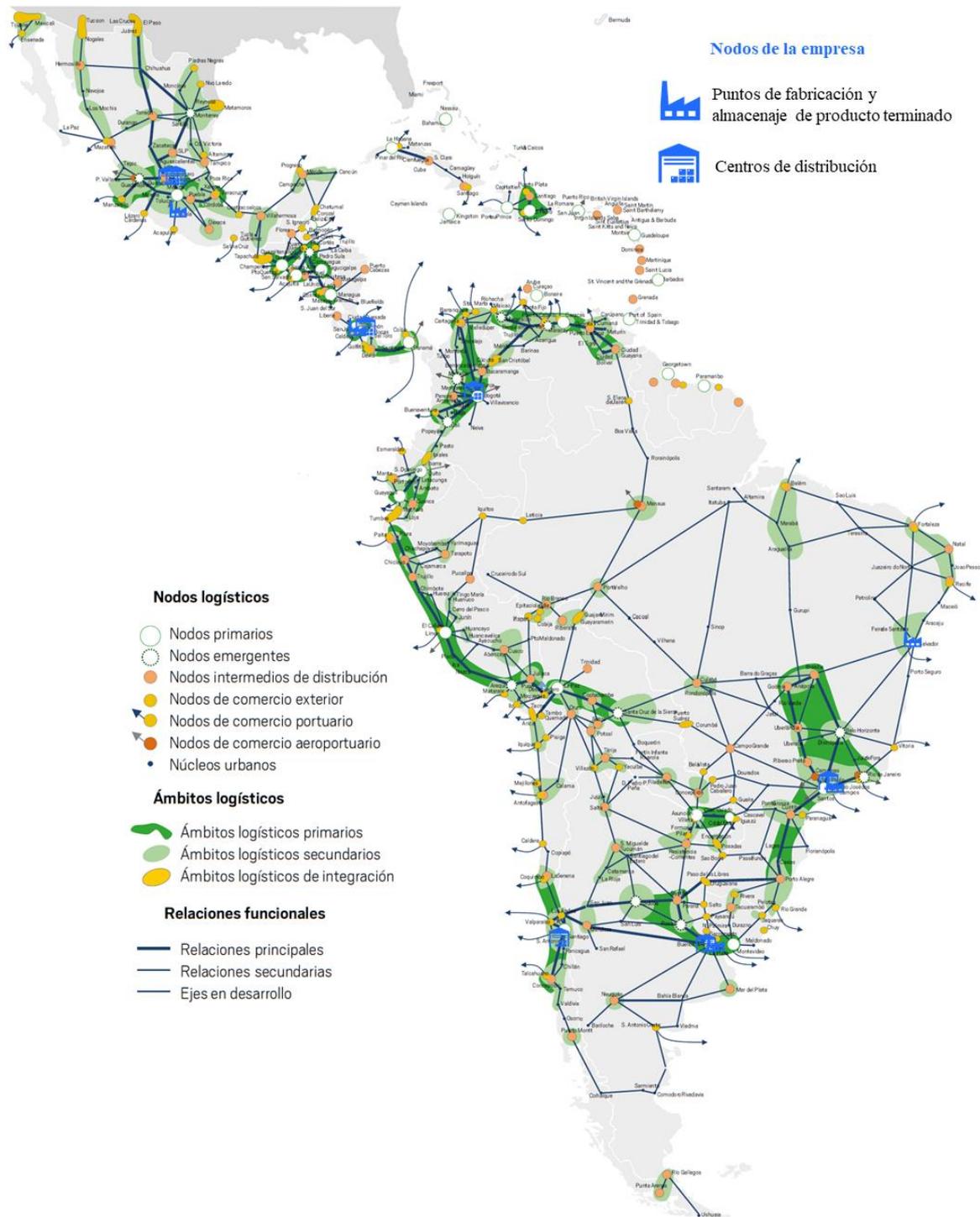
La red logística de la empresa presentada a nivel general en la sección **1.4.1** es uno de los elementos relevantes para la planeación en torno a la descarbonización logística. Al observar su disposición geográfica en comparación con el Perfil Logístico de América Latina (PERLOG) elaborado por el BANCO DE DESARROLLO DE AMÉRICA LATINA (CAF), podemos identificar que los principales nodos de la empresa coinciden o se encuentran en zonas aledañas a nodos primarios e intermedios, siendo parte de los ámbitos logísticos primarios, -aquellos estratégicos de escala nacional con los flujos de carga más relevantes para el país-, y secundarios de cada uno de los países (Ver **Figura 18**). La empresa cuenta con instalaciones logísticas en 7 de los 22 nodos primarios del PERLOG y en 1 nodo intermedio de distribución.

En México, la empresa cuenta con 1 punto de fabricación y almacenaje de producto terminado a una distancia de 90 Km del nodo primario nacional que domina la logística del país (Ciudad de México) y 2 centros de distribución ubicados en Querétaro, el cual de acuerdo al PERLOG es considerado un nodo intermedio de distribución que actúa como ámbito intermedio entre el nodo primario y los secundarios. Las 3 instalaciones logísticas hacen parte del ámbito logístico nacional del valle de México que es considerado el centro de operaciones logístico nacional con la mayor concentración de consumo y de actividad industrial del país. Es de resaltar la ausencia de instalaciones logísticas propias de la empresa en los nodos emergentes (Monterrey y Guadalajara), los cuales cuentan con peso poblacional y consolidación de mercancías a escala nacional.

En Costa Rica, la empresa cuenta con 2 instalaciones logísticas ubicadas en el territorio del ámbito logístico nacional que une a la capital con los puertos de Caldera y Limón-Moín.

Desde allí es cubierto el mercado de Centroamérica y El Caribe sin presencia de instalaciones en otros ámbitos logísticos primarios, tal como Panamá o República Dominicana.

Figura 18. *Nodos de la empresa en relación a los ámbitos logísticos del PERLOG*



Fuente: (Farromeque, 2017)

En Colombia, la empresa cuenta con 1 centro de distribución a 50 Km del nodo primario nacional que domina la logística del país (Bogotá) donde se encuentra la mayor concentración de consumo y actividad industrial del país con conexión directa con el resto de los ámbitos logísticos.

En Brasil, la empresa cuenta con 3 instalaciones logísticas principales, 1 punto de fabricación y almacenaje de producto terminado y 1 centro de distribución haciendo parte del ámbito logístico primario correspondiente al triángulo Porto Alegre, Río de Janeiro y Brasilia, con el centro en São Paulo y el Puerto de Santos; y 1 punto de fabricación y almacenaje de producto terminado en uno de los ámbitos logísticos secundarios del nordeste del país.

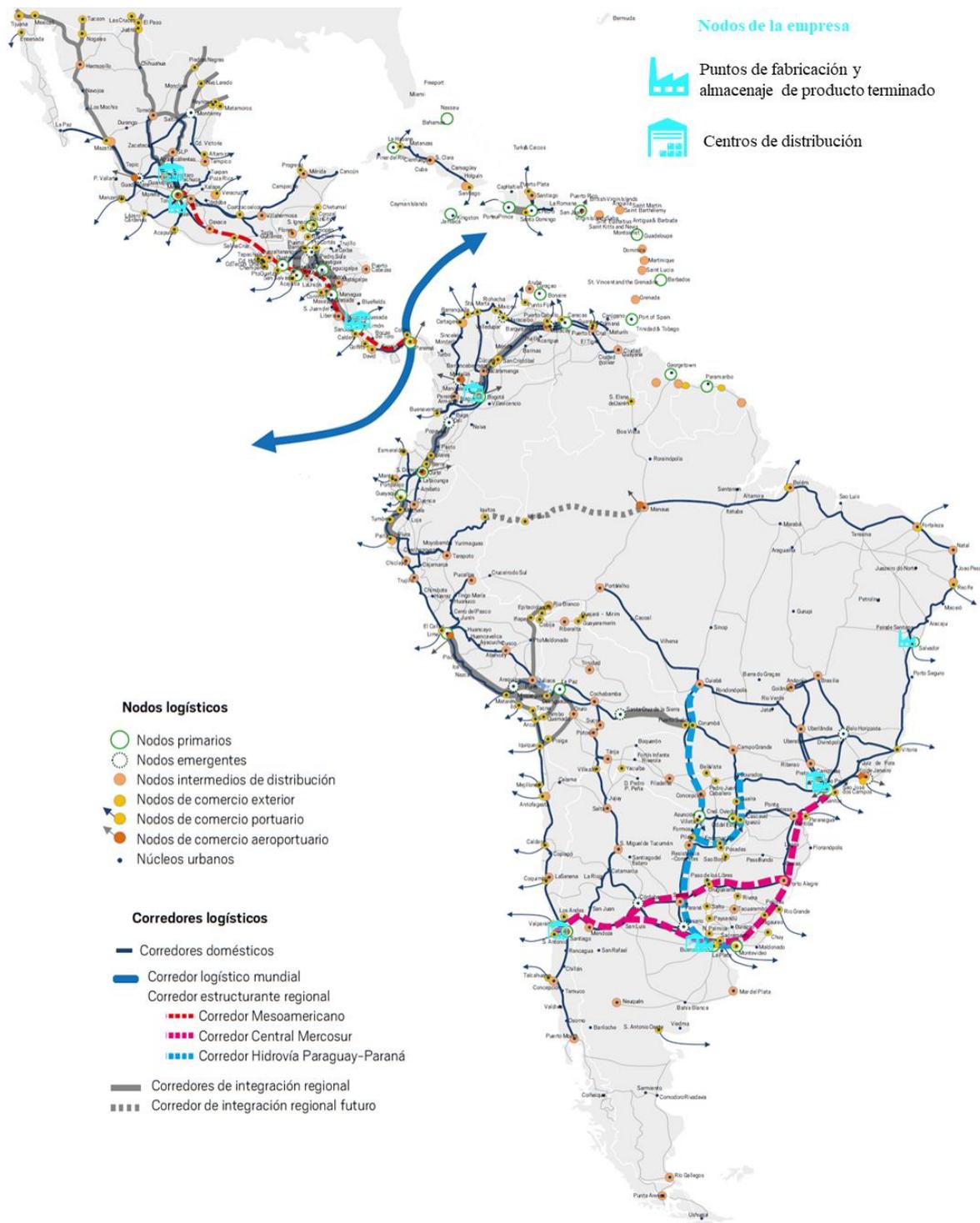
En Chile, la empresa cuenta con 1 centro de distribución ubicado en el ámbito logístico primario del país, correspondiente al triángulo Santiago-Valparaíso-San Antonio, desde allí se coordina administrativamente la logística de entrega de productos a otros países de la región sin presencia de instalaciones en otros ámbitos logísticos primarios, tal como Perú, Paraguay y Uruguay.

En Argentina, la empresa cuenta con 2 instalaciones logísticas ubicadas en el nodo primario nacional que domina la logística del país, correspondiente al Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) y Córdoba, el cual hace parte del ámbito logístico central del país con la mayor concentración de consumo y de actividad industrial, que además cuenta con la mejor infraestructura vial y ferroviaria.

Teniendo en cuenta que la empresa cuenta también con operaciones de importación y exportación, toma relevancia la relación de los nodos logísticos de la empresa con los corredores logísticos regionales, los cuales de acuerdo al PERLOG se definen por la existencia de una relación funcional estable y relevante entre dos o más ámbitos logísticos, que pueden tener diferentes componentes modales. En la **Figura 19** se puede observar que 5 instalaciones logísticas de la empresa en Brasil Argentina y Chile se encuentran ubicadas en el Corredor Central Mercosur, correspondiente al corredor estructurante más potente de la región con múltiples ramificaciones en Brasil, Chile, Uruguay y Argentina; 3 instalaciones logísticas en Costa Rica y México se encuentran ubicadas en el Corredor Mesoamericano, el cual se encuentra en proceso de consolidación y conecta la Ciudad de México con la Zona Libre de Colón en Panamá. De las instalaciones logísticas restantes, 3 están conectadas mediante corredores de integración regional y 1 con corredor doméstico. Destaca la ausencia

de instalaciones en el corredor logístico mundial (la más cercana se encuentra a 900 Km), el corredor hidrovía Paraguay-Paraná, los corredores de integración regional del norte de México, y los corredores de integración regional de la subregión Andina.

Figura 19. Nodos de la empresa en relación a los corredores logísticos del PERLOG



Fuente: (Farromeque, 2017)

3.1.2 Operaciones Logísticas de Transporte de la empresa

Como se mencionó en la sección 1.4.2 las OLT en la empresa son ejecutadas principalmente a nivel operacional y estratégico con distinta frecuencia; adicional a esto el nivel de control es diferente en cada uno de los países. En la **Tabla 6**, se presenta en porcentaje el nivel de control que tiene la empresa para cada una de las OLTs, entendiendo que en aquellas donde el porcentaje es menor al 100% se indica que otros actores de la cadena como clientes o proveedores de servicios logísticos están involucrados en la toma de decisiones.

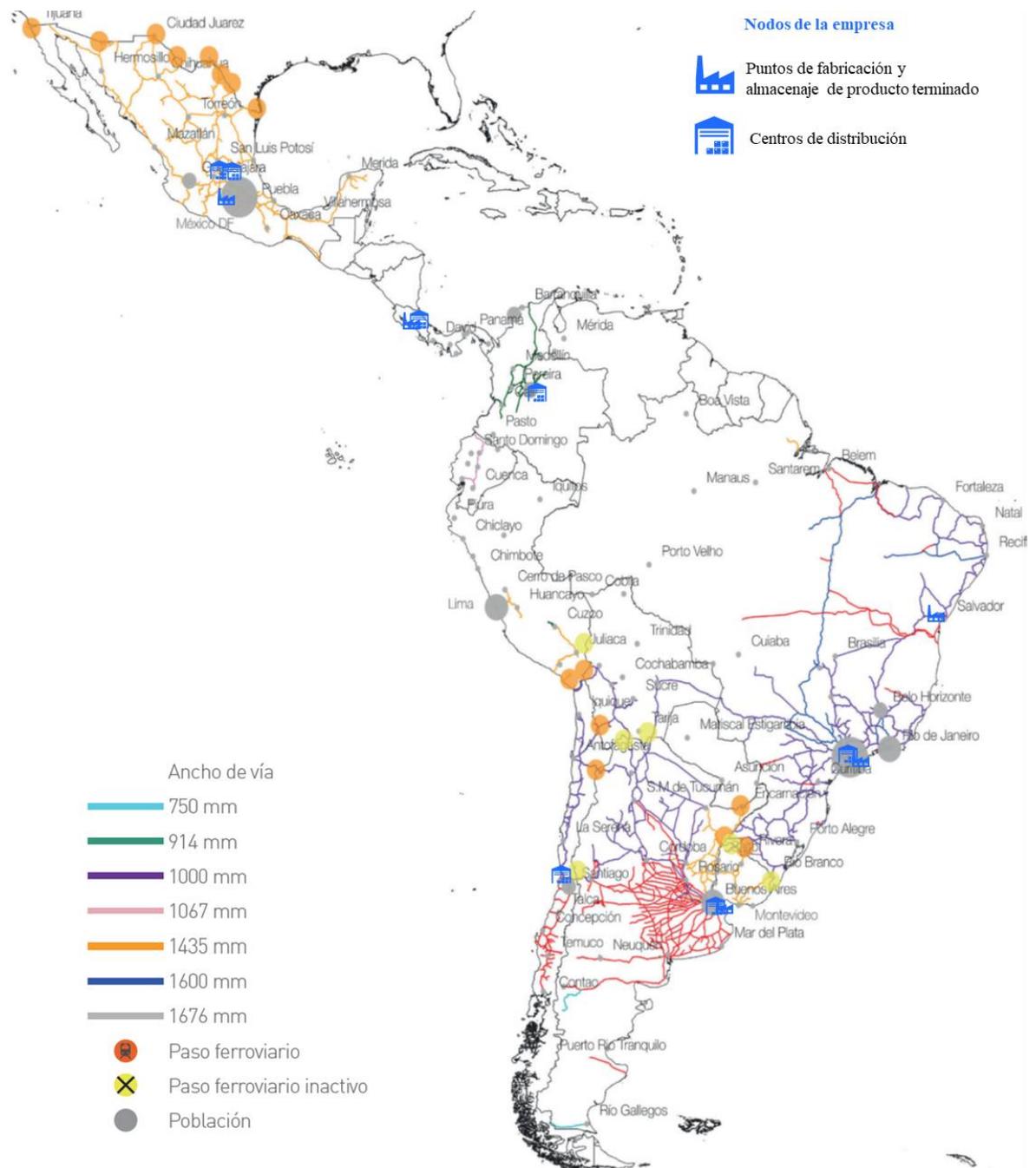
Tabla 6. Nivel de control sobre OLT en la empresa

OLT	País					
	México	Costa Rica	Colombia	Brasil	Chile	Argentina
Operación del transporte	0%	5%	0%	0%	2%	0%
Selección de los modos de transporte	100%	73%	100%	54%	45%	79%
Diseño de la red de distribución	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Diseño de la estrategia de ruteo	95%	73%	19%	46%	45%	49%
Gestión de la capacidad de transporte	95%	73%	19%	46%	45%	49%
Definición de los roles de los agentes logísticos	95%	73%	19%	46%	45%	49%
Selección de proveedores de transporte	100%	73%	100%	54%	45%	79%

La operación del transporte es en su mayoría ejecutada por compañías proveedoras de servicios de transporte locales en cada uno de los países y sólo una pequeña porción de las entregas de producto terminado a clientes es realizada con flota propia en Costa Rica y Chile, principalmente en entregas de última milla.

El modo terrestre carretero es utilizado en el 100% de las entregas de producto a nivel local en cada uno de los países. Las exportaciones son realizadas en modo terrestre carretero en un 20% principalmente desde México y una pequeña porción en Brasil; el restante 80% se opera de forma multimodal (terrestre carretero – marítimo) desde Brasil, Costa Rica, Argentina y México. No se cuenta con operaciones en modo fluvial relacionado con la baja infraestructura disponible, o ferroviario, en el que existe infraestructura en México con ancho de vía estandarizado y sin estandarizar en Brasil, Argentina y Chile (ver **Figura 20**)

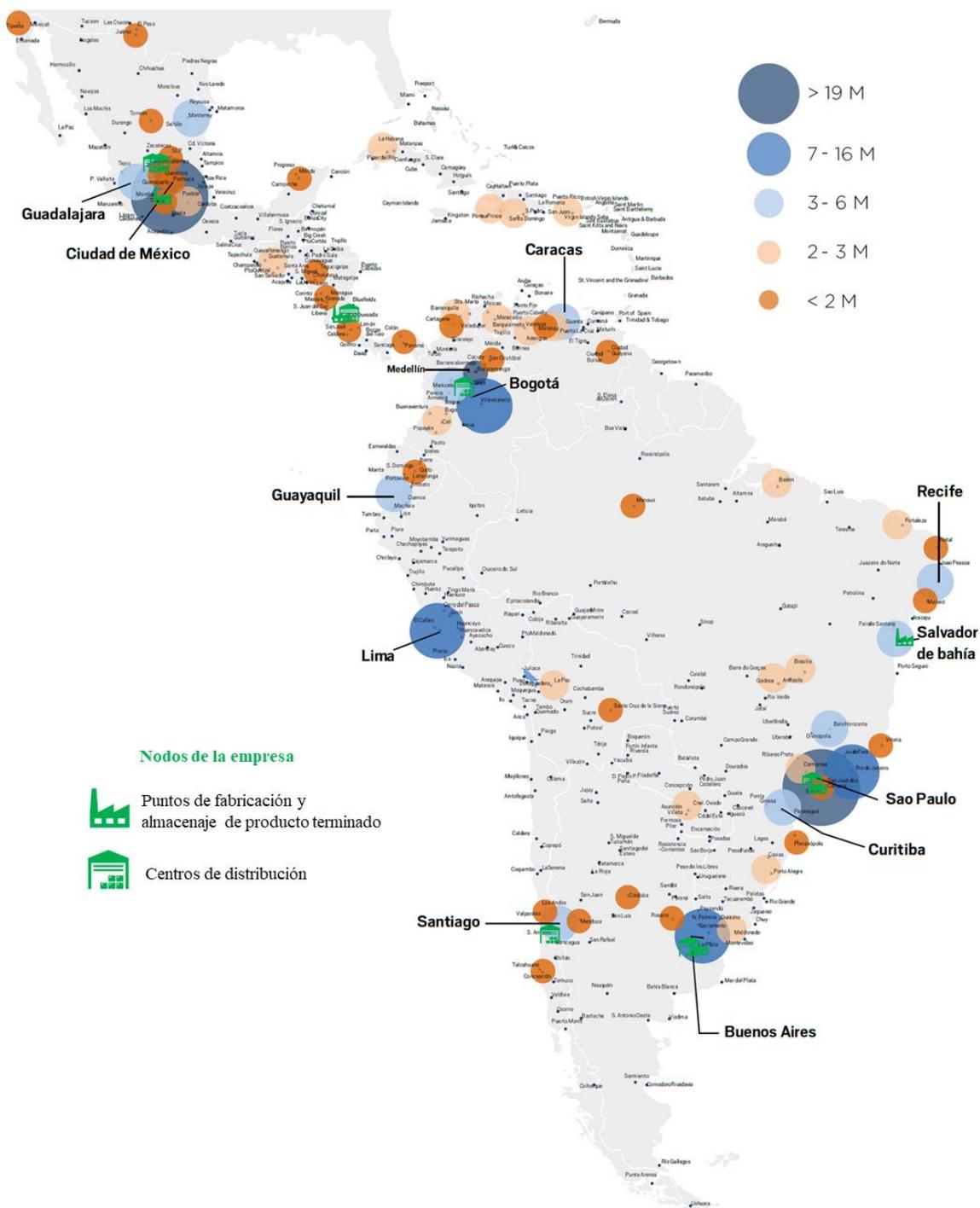
Figura 20. Nodos de la empresa en relación a las redes ferroviarias en América Latina



Fuente: (AC&A et al., 2020)

El diseño de la red está 100% a cargo de la empresa en cualquiera de los países y ha sido el resultado del crecimiento orgánico en la región, altamente relacionado con la distribución poblacional (Ver **Figura 21**). La empresa realiza estudios para modificar la red con proyectos específicos de nivel estratégico, únicamente cuando se tienen restricciones o excesos de capacidad en las instalaciones logísticas existentes.

Figura 21. *Nodos de la empresa en relación a la población en América Latina*



Fuente: (Farromeque, 2017)

El volumen de operación se relaciona también al tamaño de población, además de los puntos de fabricación con los que cuenta la empresa. En la **Tabla 7** se observa el porcentaje (calculado con base en el peso de carga) para el mercado local y exportación de los países donde la empresa tiene presencia. Brasil es el país con mayor volumen de operación con

44% seguido de México con 26%, Argentina y Costa Rica son los países con volumen de operación intermedio, y finalmente Colombia, Chile y otros países sin presencia de instalaciones logísticas tienen volumen de operación bajo.

Tabla 7. *Volumen de operación de la empresa por país (%)*

País	Mercado		
	Local	Exportación	Total
México	19%	7%	26%
Costa Rica	1%	12%	13%
Colombia	2%	NA	2%
Brasil	37%	7%	44%
Chile	2%	NA	2%
Argentina	9%	2%	11%
Operaciones Extraterritoriales*	2%	NA	2%

*Operaciones directas desde otras fuentes de fabricación en países de Centroamérica y Suramérica sin presencia de instalaciones logísticas de la empresa

El volumen de exportación es operado de acuerdo con los puertos y fronteras con costo mínimo teniendo en cuenta los destinos finales, siempre en esquema FTL. Para el mercado local el diseño de la estrategia de ruteo y la selección de esquema se realiza en función de la frecuencia, el volumen, -que se distribuye siguiendo la proporción poblacional de la **Figura 21-**, y las distancias de viaje. La **Tabla 8** muestra las distancias promedio de viaje para entregas en el mercado local de los países con presencia de instalaciones logísticas de la empresa.

Tabla 8. *Distancia media de viaje de la empresa por país*

País	Distancia media (Km)
México	490
Costa Rica	95
Colombia	330
Brasil	870
Chile	350
Argentina	340

Los esquemas de entrega varían entre cada uno de los países, divididos principalmente en envíos FTL y LTL, este último incluyendo rutas lecheras, envíos consolidados, Cross-dock y paquetería; en cualquiera de los esquemas seleccionados se busca maximizar la ocupación de los vehículos, logrando cubicajes mayores al 85% en todos los envíos para los que esta OLT se encuentra a cargo de la empresa. La **Tabla 9** muestra el porcentaje del volumen local por esquema de entrega.

Tabla 9. *Porcentaje de operación por esquema de entrega de la empresa por país*

País	FTL	LTL
México	72%	28%
Costa Rica	13%	87%
Colombia	27%	73%
Brasil	54%	46%
Chile	18%	82%
Argentina	44%	56%

La definición de roles de los agentes logísticos y la selección de proveedores en la empresa, toman especial importancia considerando la alta dependencia de la operación de transporte en estos actores (mayor al 95% en todos los países). La empresa ejecuta estas OLT en función de los siguientes criterios:

- Costo.
- Disponibilidad de equipo.
- Calidad y antigüedad del equipo.
- Cumplimiento de niveles de servicio y tiempos acordados.
- Herramientas de monitoreo, seguimiento y localización.
- Cumplimiento de procedimientos operativos y de seguridad.
- Tiempos de respuesta y notificación de incidentes.

3.2 Proceso de Planeación Táctica

3.2.1 Identificación de áreas de resultados críticas

El proceso de Planeación Táctica, parte del análisis situacional presentado en la sección anterior al identificar los criterios relevantes para la selección de áreas críticas de resultados (KRA por sus siglas en inglés) y sus alternativas. Teniendo en cuenta la particularidad de la red física de la empresa, se observa que cada país tiene diferentes características y por lo tanto se considera a los países como alternativas en la selección de las KRA. Los criterios corresponden a los dos principales factores asociados a las emisiones logísticas, Distancia y Volumen de operación; además del nivel de control de las OLT en cada uno de los países (ver **Tabla 10**).

Con base en estos criterios se construyó una matriz de comparación entre países (**Tabla 11**) para realizar la selección de aquel en el que estará enfocado el plan táctico; como se puede observar a pesar de que Brasil es el país con mayor distancia media y volumen de operación

Tabla 10. Criterios para selección de KRA

CR1	Distancia Media (Km)
CR2	Volumen de Operación Local (%)
CR3	Volumen de Operación de Exportación (%)
CR4	Control de la OLT Operación del transporte (%)
CR5	Control de la OLT Selección de los modos de transporte (%)
CR6	Control de la OLT Diseño de la red de distribución (%)
CR7	Control de la OLT Diseño de la estrategia de ruteo (%)
CR8	Control de la OLT Gestión de la capacidad de transporte (%)
CR9	Control de la OLT Definición de los roles de los agentes logísticos (%)
CR10	Control de la OLT Selección de proveedores de transporte (%)

local, tiene un nivel de control sobre las OLT de tan sólo cerca de la mitad del volumen, mientras que México siendo el segundo país tanto en la distancia media como en el volumen local, tiene mayor nivel de control en las OLT (superior al 95%), lo que indica que los resultados en este país podrían tener un mayor impacto y menores barreras de ejecución.

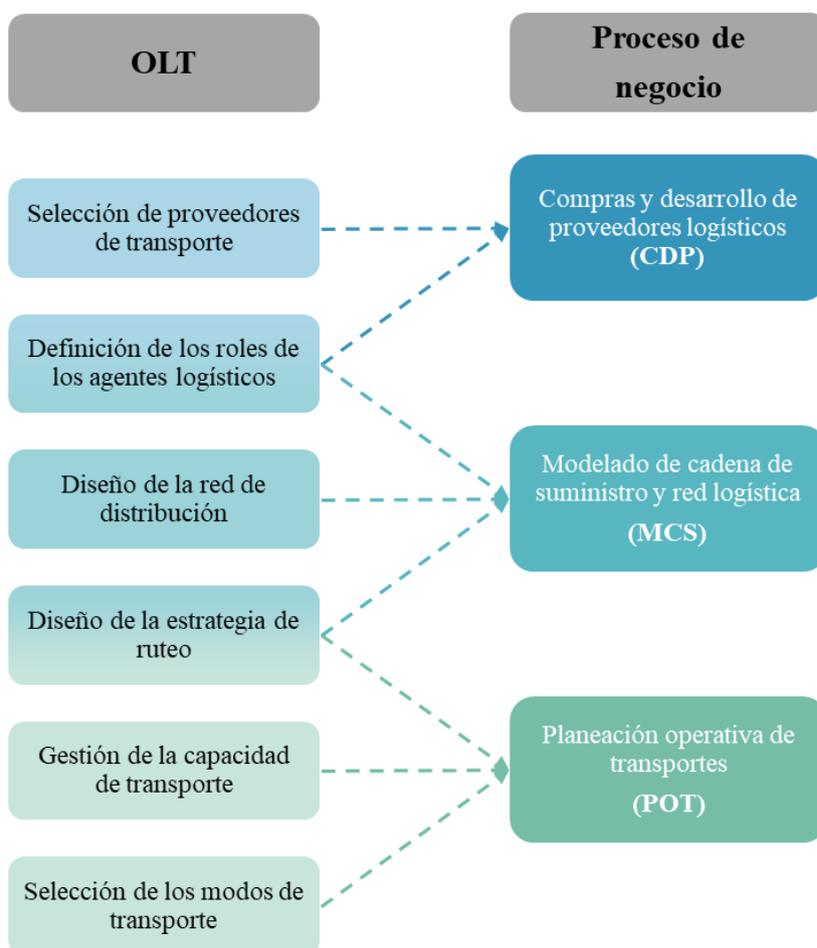
Tabla 11. Matriz de selección de KRA

Criterio	País					
	México	Costa Rica	Colombia	Brasil	Chile	Argentina
CR1	490	95	330	870	350	340
CR2	27%	1%	3%	53%	3%	13%
CR3	25%	43%	0%	25%	0%	7%
CR4	0%	5%	0%	0%	2%	0%
CR5	100%	73%	100%	54%	45%	79%
CR6	100%	100%	100%	100%	100%	100%
CR7	95%	73%	19%	46%	45%	49%
CR8	95%	73%	19%	46%	45%	49%
CR9	95%	73%	19%	46%	45%	49%
CR10	100%	73%	100%	54%	45%	79%

Se destaca también que el criterio 4, correspondiente al nivel de control de la Operación del Transporte, es cercano a cero en todos los países y en particular en México es 0%, lo cual indica que la operación del transporte es realizada en su totalidad por proveedores de la empresa; considerando esto, los criterios 9 y 10 referentes a la definición de roles de los agentes logísticos y la selección de proveedores, toman importancia para el plan, ya que sólo por medio de colaboración con proveedores se podrían ejecutar iniciativas de eficiencia energética, las cuales de acuerdo a las prácticas de la industria se consideran entre las más relevantes en la región.

Tomando el caso específico de la empresa en México, se identifica que las OLT se asocian a 3 procesos de negocio como se muestra en la **Figura 22**: (1) La Planeación operativa de transportes, en adelante POT, principalmente relacionada con las OLT de gestión de la capacidad de transporte, selección de los modos de transporte y diseño de la estrategia de ruteo; (2) El Modelado de cadena de suministro y red logística, en adelante MCS, que retoma también, a nivel estratégico, el diseño del ruteo, además del diseño de la red de distribución y la definición de los roles de los agentes logísticos a largo plazo; y (3) La Compra y desarrollo de proveedores logísticos, en adelante CDP, que se relaciona con la selección de proveedores de transporte, además de la operacionalización y gestión de los roles de los agentes logísticos. La sección a continuación toma como base estos tres procesos de negocio para el análisis de aspectos críticos.

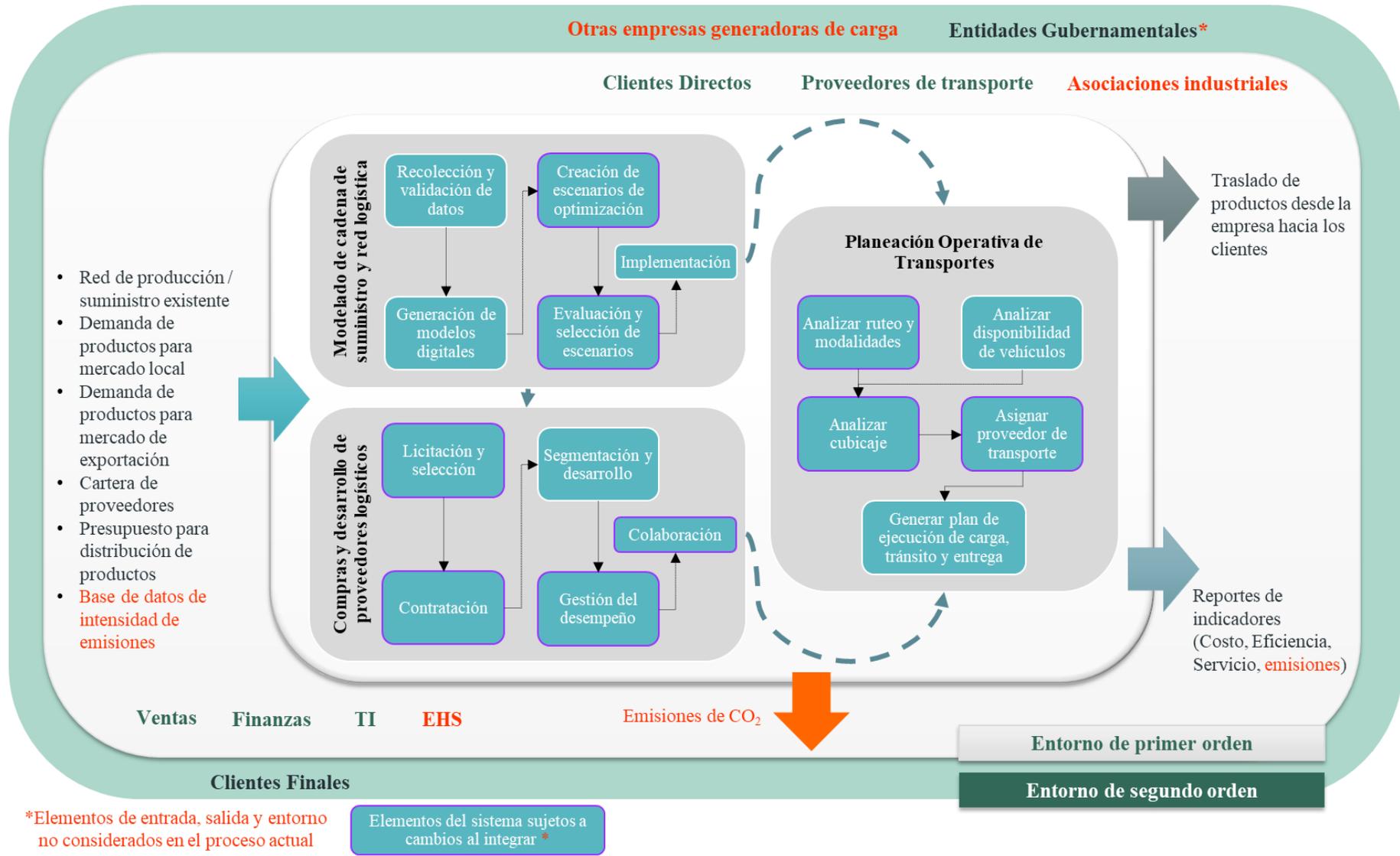
Figura 22. Relación de las OLT con los procesos de negocio de la empresa en México



3.2.2 Análisis de aspectos críticos

Tomando como sistema de interés aquel en que se ejecutan las OLT en la empresa en México, se realizó el diagrama que se muestra en la **Figura 23** a modo de representación, con

Figura 23. Sistema de las OLT en la empresa



la intención de analizar los elementos principales a partir de sus características de entrada y salida, además de su entorno.

El diagrama muestra que, en el sistema actual de las OLT, la empresa considera como entrada la demanda de productos tanto a nivel nacional como para el mercado de exportación, la red de producción y suministro existente, la cartera de proveedores y un presupuesto asignado para la distribución de los productos con base en las características de la demanda. Como salida, se tiene el traslado de productos desde la empresa hacia los clientes y los reportes de indicadores centrados en costo, eficiencia y nivel de servicio. El entorno de primer orden se compone de otras áreas de la empresa como Ventas, Finanzas y Tecnología e Información (TI), en relación a la demanda, los costos y las herramientas tecnológicas para el modelado y la planeación respectivamente; además de agentes externos a la empresa como proveedores logísticos que ejecutan la operación del transporte y clientes directos, a los que se entregan los bienes. Adicionalmente, en el entorno de segundo grado, se integran los clientes finales, quienes son atendidos por los clientes directos, y las entidades gubernamentales que emiten regulaciones para el transporte de carga. Dentro del sistema se encuentran los procesos de modelado de cadena de suministro y red logística, compra y desarrollo de proveedores logísticos y planeación operativa de transportes, que se relacionan entre sí para transformar las diferentes entradas en el resultado final esperado y que a su vez están compuestos por elementos adicionales o subsistemas.

Se resaltan en color naranja aquellos elementos de entrada, salida y entorno relacionados con la descarbonización que no están considerados en el sistema actual. El punto focal se encuentra en las características de salida, ya que las emisiones de CO₂ que resultan del proceso de forma natural, no son contabilizadas ni reportadas, lo cual impide que puedan ser gestionadas. Para lograr calcular, reportar y gestionar esta salida, es necesario modificar elementos de entrada y entorno de la siguiente forma:

- **Elementos de entrada:** Integrar una base de datos de intensidad de emisiones que permita incluir factores de CO₂ como variable en los procesos de modelado de la red logística y planeación operativa de transportes, y por lo tanto en los reportes de indicadores.
- **Elementos del entorno de primer orden:** Para garantizar la correcta integración de factores de intensidad de emisiones se hace relevante a nivel externo robustecer la relación con los proveedores de transporte, además de integrar el conocimiento de

asociaciones industriales expertas en la materia; en el caso de México, esta instancia corresponde al Programa voluntario Transporte Limpio (PTL) desarrollado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) en conjunto con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en busca de que el transporte que circula por el país sea más eficiente, seguro, competitivo y amigable con el medio ambiente (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México, 2021). Adicional a esto, a nivel interno se hace necesario generar sinergias con el equipo de Medio Ambiente, Salud y Seguridad (EHS por sus siglas en inglés).

- **Elementos del entorno de segundo orden:** Se adicionan en este nivel a otras empresas generadoras de carga, como resultado de la integración con asociaciones industriales en el entorno de primer orden, estas empresas pueden considerarse en potenciales iniciativas de colaboración.

Los cambios en los elementos de entrada y entorno se deben complementar con modificaciones en los elementos internos del sistema, resaltados con borde morado en el diagrama, para garantizar la salida relacionada con el objetivo, que en primer lugar es la contabilización y reporte de emisiones logísticas, para posteriormente gestionar y monitorear la reducción. Estos cambios son:

- **En el modelado de la cadena de suministro y red logística (MCS):** Integrar las emisiones de CO₂ en la creación de escenarios de optimización como variable y en cuanto sea posible con el objetivo de minimizarlas, para posteriormente evaluar de forma integral dichos escenarios y realizar la selección considerando tanto las variables tradicionales, como las relacionadas con emisiones de CO₂.
- **En la compra y desarrollo de proveedores (CDP):** Integrar desde el momento de la licitación y selección elementos de Compras Verdes, modificar los contratos incluyendo cláusulas de reporte y reducción de emisiones logísticas, gestionar el desempeño y la asignación de volumen en función de un conjunto completo de factores que incluyen elementos de sustentabilidad y generar iniciativas de colaboración centradas principalmente en la eficiencia energética.
- **En la planeación operativa de transportes (POT):** Integrar las emisiones de CO₂ en los análisis de ruteo, modalidades, cubicaje, además de en el proceso de asignación de proveedores en busca de minimizar el impacto.

3.2.3 Definición de indicadores críticos de rendimiento

Teniendo en cuenta los cambios identificados como posibles cursos de acción en cada uno de los procesos de negocio relacionados a las OLT en la empresa, se procedió a desarrollar los indicadores clave de rendimiento sobre los que se posteriormente se establecieron objetivos. En primer lugar, se seleccionaron los indicadores generales del plan (ver **Tabla 12**); el primero, en línea con el marco operativo GLEC, corresponde a la Intensidad de emisiones en equivalente de dióxido de carbono (CO₂eq) por tonelada – kilómetro, que refleja las emisiones en kilogramos de CO₂eq asociadas a la actividad del transporte, este indicador además de proporcionar información para rastrear, analizar y formular estrategias de reducción de emisiones, permite evaluar la efectividad de las iniciativas de descarbonización de cara al cambio de la actividad comercial, de tal manera que si la empresa tiene un crecimiento comercial podría aumentar las emisiones totales al mismo tiempo que reduce su intensidad. De forma similar, el segundo indicador general del plan corresponde a las emisiones de CO₂eq por tonelada vendida que permite evaluar la eficiencia de las operaciones, principalmente las relacionadas al diseño de la red, ruteo y cambio modal, al reducir la actividad del transporte para atender la demanda.

Tabla 12. Indicadores Generales del Plan

CO₂eq /t-km	Descripción	Intensidad de emisiones de CO ₂ eq por tonelada – kilómetro
	Formula	$CO_{2eq}/t-km = \frac{\sum_1^n \left(t-km_i * \frac{Combustible_i}{t-km} * \frac{kgCO_{2eq}}{Combustible} \right)}{t-km \text{ totales}}$ <p>donde: <i>t-km = peso de carga (toneladas) * distancia de carga (km)</i> $\frac{Combustible_i}{t-km}$ es el factor de consumo de intensidad de combustible teniendo en cuenta el modo, tipo de vehículo y tipo de trayecto $\frac{kgCO_{2eq}}{Combustible}$ es el factor de emisiones del combustible teniendo en cuenta su ciclo de vida completo (WTW). (Smart Freight Centre, 2019)</p>
CO₂eq /t	Descripción	Emisiones de CO ₂ eq por tonelada vendida
	Formula	$CO_{2eq}/t = \frac{\sum_1^n \left(t-km_i * \frac{Combustible_i}{t-km} * \frac{kgCO_{2eq}}{Combustible} \right)}{\text{toneladas vendidas totales (t)}}$

El logro de cualquier meta planteada para los indicadores generales se asocia a las acciones que se realicen en la ejecución de las OLT en la empresa, por ello se identificó una serie de indicadores por proceso de negocio para monitorear el avance de los cambios propuestos que abonan a la reducción de emisiones logísticas. Para la CDP se consideran tres indicadores descritos en la **Tabla 13**, en primer lugar, el porcentaje de carga que es asignada

a proveedores que participan en programas gubernamentales de eficiencia energética, de tal manera que se priorice la asignación de volumen de carga a este tipo de proveedores y se promueva la participación en el programa a aquellos que aún no lo hacen. Posteriormente, se identifica la razón de proveedores que reportan la intensidad de sus emisiones bajo los parámetros del marco operativo GLEC, con la intención de incrementarla a lo largo del tiempo para generar y robustecer el proceso de cálculo y reporte de emisiones de la empresa, además de tener la capacidad de establecer objetivos que sean congruentes para ambas partes. Finalmente se considera la proporción de reducción de emisiones de CO₂eq mediante iniciativas de colaboración con proveedores respecto del total de emisiones reducidas en la empresa, a fin de medir el impacto de este tipo de iniciativas e identificar aquellos proveedores que pudieran convertirse en socios estratégicos para la colaboración en pos de la sostenibilidad.

Tabla 13. Indicadores de la Compra y del desarrollo de proveedores logísticos

%tkm-pee	Descripción	Porcentaje de carga asignada proveedores que participan en programas gubernamentales de eficiencia energética
	Formula	$\%tkm-pee = \frac{\sum_1^n (t-km_i)}{t-km \text{ totales}}, i \in pee$ <p>donde: pee = proveedores que participan en programas gubernamentales de eficiencia energética</p>
p-GLEC ratio	Descripción	Ratio de proveedores que reportan intensidad de emisiones siguiendo parámetros del marco operativo GLEC
	Formula	$p-GLEC \text{ ratio} = \frac{\sum_1^n (p-GLEC_i)}{P \text{ totales}}$ <p>donde: p-GLEC = proveedores que reportan intensidad de emisiones siguiendo parámetros del marco operativo GLEC</p>
p↓ CO₂eq	Descripción	Proporción de emisiones de CO ₂ eq reducidas mediante iniciativas de colaboración con proveedores respecto del total de reducción
	Formula	$p \downarrow CO_2eq = \frac{\sum_1^n (\downarrow kgCO_2eq_i)}{\downarrow kgCO_2eq \text{ totales}}$ <p>donde: ↓ kg CO₂eq_i = reducción de emisiones en iniciativas de colaboración</p>

Para MCS, en primer lugar, se plantea dar seguimiento al avance de los hitos propuestos en el plan, llegando a un porcentaje general de avance construido a partir del cumplimiento de actividades a lo largo del tiempo y comparado con las fechas programadas; el hito en particular a considerar en este proceso corresponde al de integración de parámetros de emisiones. Posterior a este hito se considera dar seguimiento, en distintos momentos en el tiempo, a la proporción de estrategias seleccionadas con base en escenarios que minimizan

las emisiones, con la intención de dar visibilidad a los criterios con los que son tomadas las decisiones estratégicas respecto a la configuración geográfica de la red para ejecutar en el mediano y largo plazo.

Tabla 14. *Indicadores del Modelado de la cadena de suministro y red logística*

GEI Model Integr	Descripción	Integración del parámetro emisiones a los procesos de MCS
	Formula	$GEIModelIntegr = fecha\ real\ de\ integración\ vs\ fecha\ programada$
GEI Model ratio	Descripción	Ratio de estrategias seleccionadas con base en escenarios que minimizan las emisiones
	Formula	$GEI\ Model\ ratio = \frac{\sum_1^n(GHGModel)}{Modelos\ totales}$

En el proceso de POT se seleccionaron dos indicadores, primero el factor de ocupación promedio de los vehículos, que indica la efectividad en el uso de la capacidad de carga y por tanto la eficiencia de la energía utilizada y sus correspondientes emisiones en función de la actividad comercial; de este indicador en particular ya se cuenta con información previa en la empresa para generar comparaciones históricas; en segundo lugar se considera dar seguimiento a la proporción del reparto modal en búsqueda de un cambio en el tiempo hacia el aumento del uso del modo ferroviario y marítimo en comparación con el terrestre carretero.

Tabla 15. *Indicadores de la Planeación operativa de transportes*

% cubic	Descripción	Factor de ocupación promedio de los vehículos
	Formula	$\%cubic = \frac{\sum_1^n \left(\frac{m^3_i}{Capacidad(m^3)_i} \right)}{viajes\ totales}$ <p>donde: $m^3_i =$ Ocupación volumétrica de los productos en el viaje i $Capacidad(m^3)_i =$ Capacidad volumétrica del vehículo del viaje i</p>
% modo	Descripción	Composición de los viajes por modo
	Formula	$marítimo = \frac{\sum_1^n(marítimo_i)}{viajes\ totales}$ $terrestre = \frac{\sum_1^n(terrestre_i)}{viajes\ totales}$ $ferroviario = \frac{\sum_1^n(ferroviario_i)}{viajes\ totales}$

3.2.4 Definición de Objetivos del plan

Teniendo definidos los indicadores para rastrear el rendimiento del plan y sus resultados, el siguiente paso fue fijar objetivos específicos para el periodo del plan, en este caso 2 años.

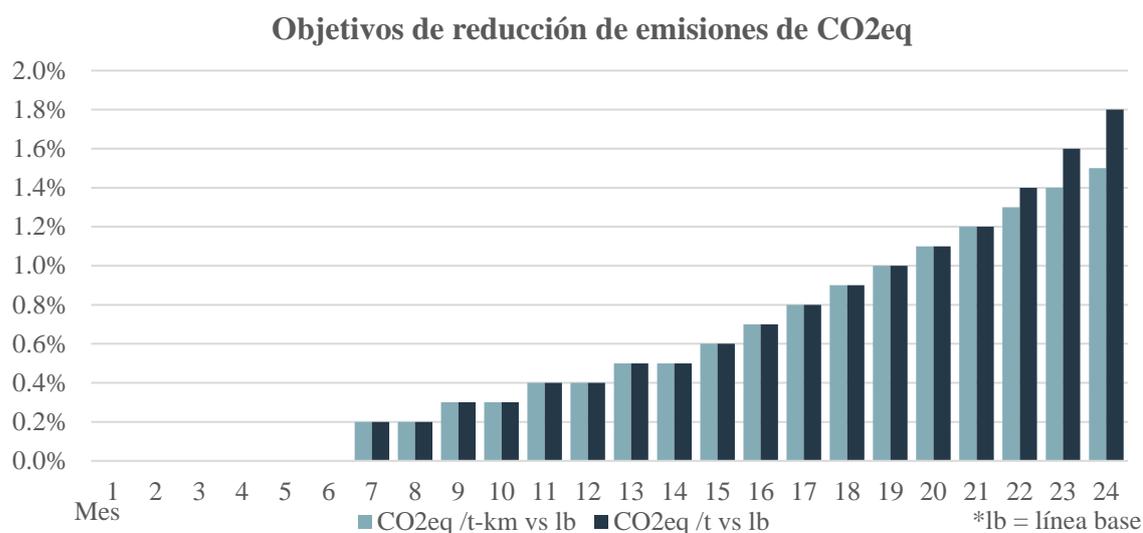
Estos objetivos aportan a la estrategia empresarial de sustentabilidad con su contribución a la descarbonización de las actividades logísticas, por medio de acciones alineadas a los marcos de referencia globales de Logística Verde (McKinnon et al., 2015) y la Hoja de ruta de acción mundial hacia la movilidad sostenible, en adelante SuM4All (Sustainable Mobility For All, 2019). A continuación, se presentan los objetivos para cada una de las categorías de indicadores previstas en la sección anterior.

El objetivo general del plan, asociado a los indicadores de intensidad de emisiones de CO₂eq por tonelada – kilómetro y emisiones de CO₂eq por tonelada vendida, se selecciona en función de la reducción porcentual a lo largo de los dos años, en comparación con una línea base definida; de acuerdo con el Programa de las Naciones unidas para el Medio Ambiente (UNEP), las emisiones globales de gases de efecto invernadero deben reducirse 7.6% cada año entre 2020 y 2030 para que el mundo logre frenar el calentamiento global en 1.5 °C este siglo, o bien en 2.7% anual para el objetivo de 2 °C definido en el acuerdo de París (United Nations Environment Programme, 2019). Alineado a esto, la empresa ha generado objetivos y planes de acción encaminados a la descarbonización y enfocados principalmente en las emisiones de directas (alcance 1) e indirectas previas al proceso productivo (alcance 2) con las que cumpliría con el objetivo generado. Teniendo en cuenta esto, el objetivo específico para la reducción de la intensidad de emisiones logística, que corresponde a alcance 3 por la naturaleza de la empresa, será menor al referente del Acuerdo de París considerando que el nivel de madurez es bajo y la primera fase del plan consiste en establecer la línea base de comparación, ya que la empresa no cuenta con esta información desarrollada. La **Figura 24** muestra los objetivos de reducción de forma progresiva mes a mes para los 24 meses del plan, llegando a 1.5% para el caso de la Intensidad de emisiones de CO₂eq por tonelada – kilómetro y 1.8% en las Emisiones de CO₂eq por tonelada vendida.

De esa manera los objetivos generales al final del periodo definido para el plan son:

- Reducir la intensidad de emisiones logísticas por tonelada – kilómetro de la empresa en México (expresadas en CO₂eq /t-km), en un 1.5% en un plazo de 2 años.
- Reducir las emisiones logísticas por tonelada vendida de la empresa en México (expresadas en CO₂eq /t), en un 1.8% en un plazo de 2 años.

Estos objetivos se logran por medio de la ejecución de cambios en los procesos relacionados con las OLT en la empresa, por lo cual su alcance se asocia al logro de objetivos específicos en cada uno de estos procesos.

Figura 24. Objetivos Generales del Plan

Para la CDP (ver **Tabla 16**), se considera aumentar el porcentaje de carga asignada a proveedores que participan en el programa gubernamental Transporte Limpio (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México, 2021), de tal forma que se garantice que la carga de la empresa es operada con proveedores que ejecutan medidas de ahorro de combustible. Para esto será necesaria la integración de la empresa al programa en el rol de usuaria del servicio de carga, para tener acceso a la información de transportistas eficientes y modificar el proceso de selección, contratación y asignación del volumen de operación en concordancia. Pasados los dos años de ejecución del plan, se espera que el 80% de la carga sea asignada a proveedores participantes en el programa.

Teniendo en cuenta que el marco operativo GLEC cubre los Alcances 1, 2 y 3, y funciona para todo tipo de compañías (expedidores, transportistas y proveedores de servicios logísticos) estandarizando la forma en que se calculan y reportan las emisiones, el plan incluye la integración de este requerimiento a desarrollar por los actuales proveedores de la empresa en un plazo no mayor a cinco años, de tal forma que se mejore el intercambio de información y por lo tanto se garantice que la información del cálculo de emisiones logísticas es consistente y se robustece en el tiempo, así como para facilitar las iniciativas de colaboración. Para el final del periodo del plan (2 años) el objetivo es que 5 de los 21 proveedores de transporte de la empresa en México reporten su intensidad de emisiones siguiendo los parámetros del marco operativo GLEC. El último objetivo en el proceso de CDP corresponde a la proporción de emisiones de CO₂eq reducidas mediante iniciativas de colaboración con proveedores respecto del total de reducción, el cual cobra relevancia

teniendo en cuenta que son los proveedores quienes realizan la operación del transporte y por lo tanto tienen mayor oportunidad de mejora; al final del periodo del plan, el objetivo es que por lo menos $\frac{3}{4}$ partes de la reducción de emisiones provenga de iniciativas de colaboración con proveedores, para esto será necesario fortalecer la relación comercial y promover cambios importantes en la transparencia de la información que se comparte desde y hacia los proveedores.

Tabla 16. Objetivos de la Compra y desarrollo de proveedores logísticos

Indicador	Objetivo
%tkm-pee	Lograr asignación del 80% de las operaciones carga de producto terminado de la empresa en México a proveedores que participan en programas gubernamentales de eficiencia energética en un plazo de 2 años
p-GLEC ratio	Obtener una proporción de $\frac{5}{21}$ proveedores de transporte de la empresa en México que reportan intensidad de emisiones siguiendo parámetros del marco operativo GLEC en un plazo de 2 años
p↓ CO ₂ eq	Obtener una proporción de $\frac{3}{4}$ de emisiones de CO ₂ eq reducidas mediante iniciativas de colaboración con proveedores de transporte de la empresa en México respecto del total de reducción en este mismo país

En MCS (ver **Tabla 17**), se propone dar seguimiento al avance del plan y en particular a la integración del parámetro de emisiones al proceso, con el objetivo de que este hito sea alcanzado como máximo en el mes 16 de ejecución del plan, logrando generar escenarios que minimizan las emisiones y ponerlos a disposición de los tomadores de decisiones como alternativa a seleccionar para la configuración de la red en el mediano y largo plazo. Posterior a la integración, en el proceso de toma de decisiones se garantiza que las estrategias que reducen las emisiones de GEI son consideradas y seleccionadas en por lo menos la mitad de las veces, respecto a aquellas que mantienen o aumentan emisiones.

Tabla 17. *Objetivos del Modelado de la cadena de suministro y red logística*

Indicador	Objetivo
GEI Model Integr	Lograr la integración del parámetro de emisiones de GEI a los procesos de MCS de la empresa en México en el Mes 16 de ejecución del plan.
GEI Model ratio	Obtener una proporción de $\frac{1}{2}$ de estrategias de configuración de cadena de suministro y red logística de la empresa en México seleccionadas con base en escenarios que reducen las emisiones de GEI durante los meses 17 a 24 del plan

Finalmente, los objetivos del POT (**Tabla 18**) están relacionados con la utilización efectiva de vehículos donde se espera un aumento de 3 puntos porcentuales en el factor de ocupación

promedio de los vehículos, que actualmente corresponde a 85% además del reparto modal, donde la proporción de carga transportada vía marítima o ferrocarril aumenta en conjunto por lo menos un 1% en relación a la línea base, sujeto al potencial de rutas con infraestructura para este cambio, logrando una cobertura de 40% en estos modos en comparación con el potencial, al cierre del segundo año.

Tabla 18. *Objetivos de la Planeación operativa de transportes*

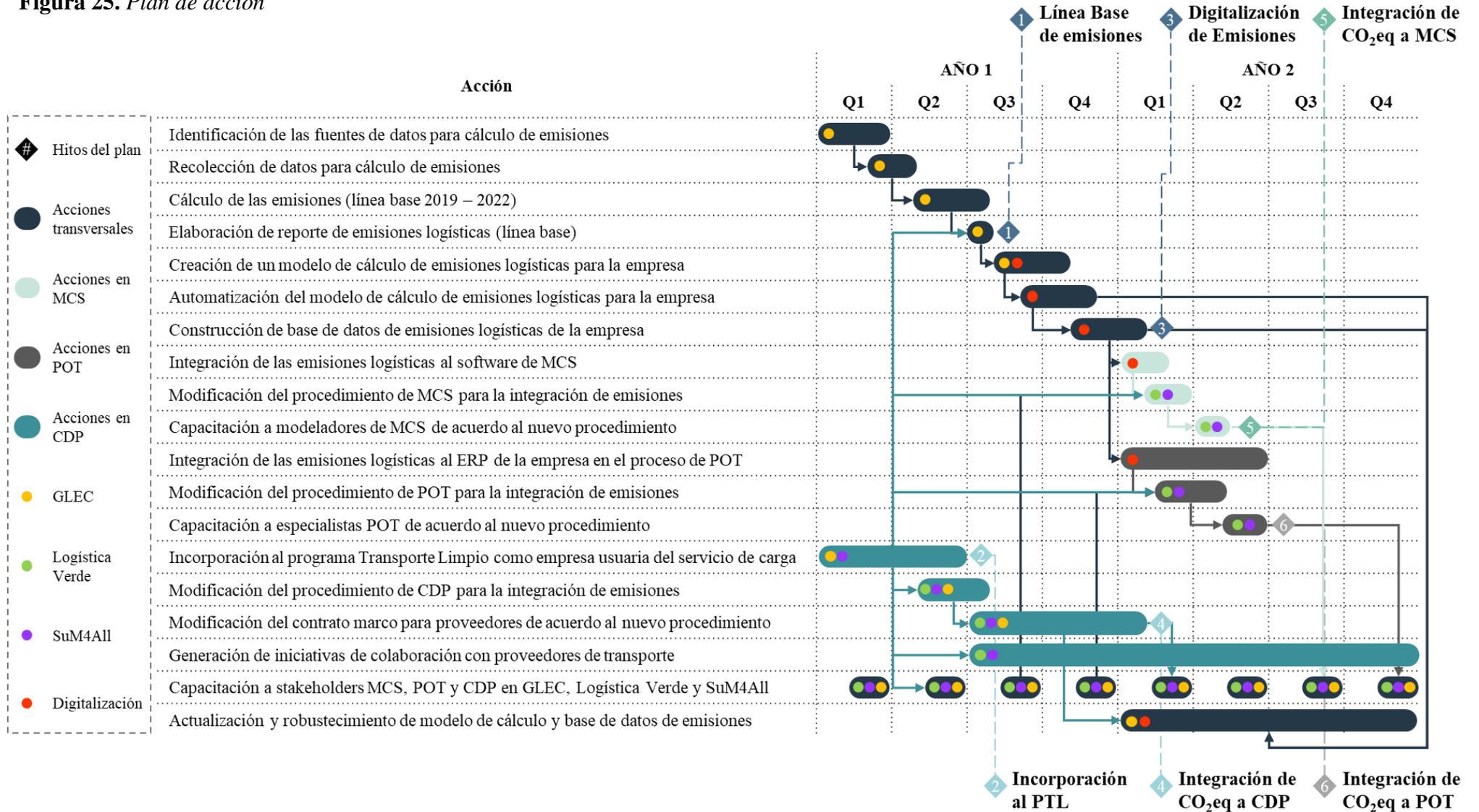
Indicador	Objetivo
% cubic	Aumentar el factor de ocupación promedio de los vehículos de carga utilizados en la operación logística de la empresa en México a 88% en un plazo de 2 años
% modo	Aumentar en un 1% el reparto modal marítimo + ferrocarril , de embarques de producto terminado de la empresa en México en un plazo de 2 años. Garantizar que, en un plazo de 2 años, se selecciona el modo marítimo o ferroviario para el 40% de embarques con potencial cambio modal de acuerdo a la infraestructura disponible.

3.2.5 Formulación del plan de acción

El plan de acción para el logro de los objetivos planteados en la sección anterior se presenta en la **Figura 25**; el plan se divide en 6 hitos principales (rombos en la figura) con 19 acciones a nivel general y en cada uno de los procesos de negocio relacionados (barras en la figura), que inician en distintos momentos de acuerdo a sus dependencias (flechas en la figura); estas acciones se construyeron en referencia al Marco Operativo GLEC, el marco de Descarbonización Logística Verde, la hoja de ruta SuM4All y la digitalización (puntos en la figura). El primer hito que considerar es la generación de la línea base de emisiones logísticas, teniendo en cuenta que es la base sobre la que se validará la efectividad del plan; para esto se requiere identificar las fuentes de datos para el cálculo de emisiones bajo estándares de GLEC, recolectarlos, entenderlos y estructurarlos para posteriormente realizar el cálculo de CO₂eq, CO₂eq /t-km y CO₂eq /t, y construir el reporte de emisiones para el periodo 2019 – 2022 como línea base. Durante la construcción de la línea base, se entenderán los datos requeridos para el cálculo con base en sus fuentes y estructura, de tal forma que sea posible la generación de un modelo de cálculo de emisiones logísticas ajustado a las necesidades de la empresa y los datos de entrada disponibles; se evaluarán las opciones tecnológicas y se implementará una solución digital para la automatización de este modelo, de tal manera que a partir de ese momento se puedan generar reportes mensuales y construir una base de datos.

En paralelo, se realizará la incorporación como empresa usuaria del servicio de carga al

Figura 25. Plan de acción



programa de eficiencia energética del transporte oficial en México, Programa Transporte Limpio, lo cual se considera un hito en el plan al tener acceso a información local de eficiencia energética, base de datos de transportistas adscritos al programa y una red de contactos interesada en la descarbonización logística en el país; la incorporación al programa, en conjunto con los marcos de referencia previamente mencionados, permitirán la estructuración de cambios necesarios en el procedimiento de CDP y la posterior modificación al contrato marco de proveedores de transporte en México, para integrar el desempeño ambiental y la descarbonización. La integración de proveedores al plan de descarbonización, por medio de iniciativas de colaboración será una actividad constante a partir del segundo semestre de ejecución del plan, considerando un alto impacto proveniente de este tipo de iniciativas, dado el hecho de que la Operación del Transporte es ejecutada por este tipo de proveedores.

A partir del segundo año de ejecución del plan, se iniciará con la integración de las emisiones logísticas al software de MCS y el ERP de la empresa en el proceso de POT, siendo el primero un proyecto tecnológico de menor complejidad que el segundo, teniendo en cuenta que el Software de MCS ya cuenta con la función para integrar emisiones y bastaría generar conexiones a la base de datos construida y parametrizar de acuerdo al modelo de cálculo, mientras que en el ERP de la empresa no se cuenta con ninguna funcionalidad estándar asociada, y por tanto se deberá programar una solución personalizada; en ambos casos se deberán modificar los procedimientos para la integración de las emisiones logísticas como parámetro y tendrá que capacitarse a quienes ejecutan estos procedimientos para que se implementen de forma adecuada. La capacitación no se limitará a los ejecutores de los procedimientos modificados en MCS, POT y CDP; en cambio, será extendida en un programa trimestral a involucrados en distintos niveles jerárquicos de la organización y en puestos de liderazgo, de tal manera que se mitiguen las barreras de ejecución del plan y se impulse el cambio.

El proceso iterativo de contabilidad y reporte de emisiones logísticas deberá ser actualizado, en cuanto se cuente con acceso a datos del PTL o primarios de los proveedores de transporte en cuanto a intensidad de emisiones y consumo de combustibles para modificar el modelo de cálculo; de tal forma que el reporte de emisiones de la empresa es cada vez más robusto.

Los responsables de las acciones del plan se encuentran en 6 departamentos de la empresa: Compras, Logística, Excelencia Operacional, EHS, Legal y TI; además se consideran 3 tipos

de proveedores involucrados en la ejecución del plan: Proveedores de transporte, Consultores expertos en descarbonización y Consultores de TI. La **Tabla 19** muestra la matriz de asignación de responsabilidades para el plan, identificando los roles de responsable de la ejecución de la acción, el aprobador del trabajo que es proporcionado por el responsable, a quienes se les consulta respecto de la acción o de información requerida para la acción y a quien se informa sobre el progreso y finalización de las acciones.

El Departamento de Compras es responsable de la incorporación de la empresa al PTL, y de todas las acciones definidas para el proceso CDP; además, es consultado manteniendo comunicación bidireccional en todas las actividades donde se involucre a proveedores de cualquier tipo (Transporte, Consultoría CO₂, Consultoría TI).

El departamento de logística es responsable de la recolección de datos para el cálculo de emisiones, de las acciones definidas para el proceso POT y en conjunto con compras de la generación de iniciativas de colaboración con proveedores de transporte; es aprobador de las fuentes de datos para el cálculo de emisiones y de la solución de digitalización que integra las emisiones logísticas al ERP de la empresa en el proceso de POT; es consultado para la modificación de los procedimientos de MCS y CDP; y es informado del proceso de cálculo, reporte y automatización de emisiones logísticas.

El departamento de excelencia operacional es responsable de identificar las fuentes de datos para el cálculo de emisiones y del seguimiento a la consultoría experta en descarbonización en los procesos de cálculo, reporte y modelado de emisiones logísticas, y las acciones de entrenamiento y capacitación, además de las acciones definidas para el proceso MCS; aprueba las acciones de recolección y automatización de modelo de cálculo y base de datos general de emisiones, y de su integración al proceso MCS; finalmente es informado de las acciones en los procesos POT y CDP.

Los departamentos de EHS y Legal sólo son aprobadores de algunas acciones o bien informados de otras. EHS aprueba el proceso de cálculo, reporte y modelado de emisiones logísticas, las modificaciones a los procedimientos MCS, POT y CDP, y las acciones de entrenamiento y capacitación; es consultado para la modificación del contrato marco para proveedores de transporte; y es informado del avance en la recolección de datos para cálculo de emisiones. Legal aprueba la documentación requerida para la iniciativa de integración al PTL, teniendo en cuenta su relación con autoridades gubernamentales y la modificación del

Tabla 19. Matriz RACI de Asignación de Responsabilidades del Plan

Acción	Compras	Logística	Excelencia Operacional	EHS	Legal	TI	Proveedores de transporte	Consultoría CO ₂	Consultoría TI
Identificación de las fuentes de datos para cálculo de emisiones	C	A	R			I	C		
Recolección de datos para cálculo de emisiones	C	R	A	I		C	C	I	
Cálculo de las emisiones (línea base 2019– 2022)	C	I	R	A			C	R	
Elaboración de reporte de emisiones logísticas (línea base)	C	I	R	A				R	
Creación de un modelo de cálculo de emisiones logísticas para la empresa	C	I	R	A			C	R	
Automatización del modelo de cálculo de emisiones logísticas para la empresa	C	I	A			R			R
Construcción de base de datos de emisiones logísticas de la empresa	C	I	A			R	C		R
Integración de las emisiones logísticas al software de MCS	C	I	A			R			R
Modificación del procedimiento de MCS para la integración de emisiones		C, I	R	A					
Capacitación a modeladores de MCS de acuerdo al nuevo procedimiento	C		R	A, I				R	
Integración de las emisiones logísticas al ERP de la empresa en el proceso de POT	C	A	I			R			R
Modificación del procedimiento de POT para la integración de emisiones		R	I	A			I	C	
Capacitación a especialistas POT de acuerdo al nuevo procedimiento	C	R	I	A				R	
Incorporación al programa Transporte Limpio como empresa usuaria del servicio de carga	R	C	I	A	A		C		
Modificación del procedimiento de CDP para la integración de emisiones	R	C	I	A			I		
Modificación del contrato marco para proveedores de acuerdo al nuevo procedimiento	R	C	I	C	A		I		
Generación de iniciativas de colaboración con proveedores de transporte	R	R	I	A			R		
Capacitación a stakeholders MCS, POT y CDP en GLEC, Logística Verde y SuM4All	C	I	R	A	I		I	R	
Actualización y robustecimiento de modelo de cálculo y base de datos de emisiones	C, I	C	A	A		R	C		

R → Responsable (R)

A → Aprobador

C → Consultado

I → Informado

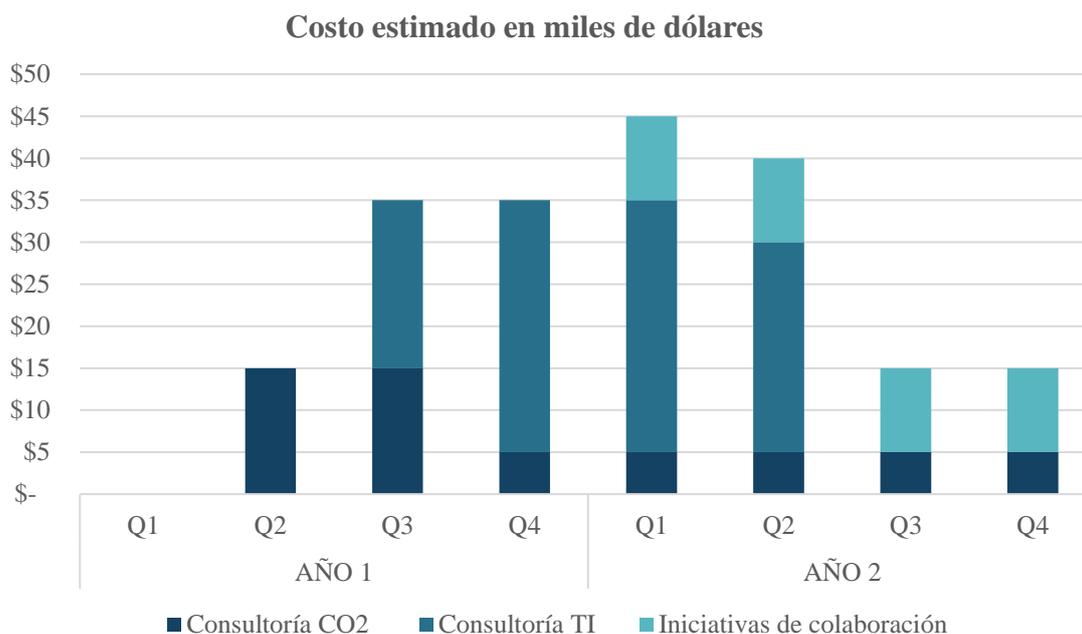
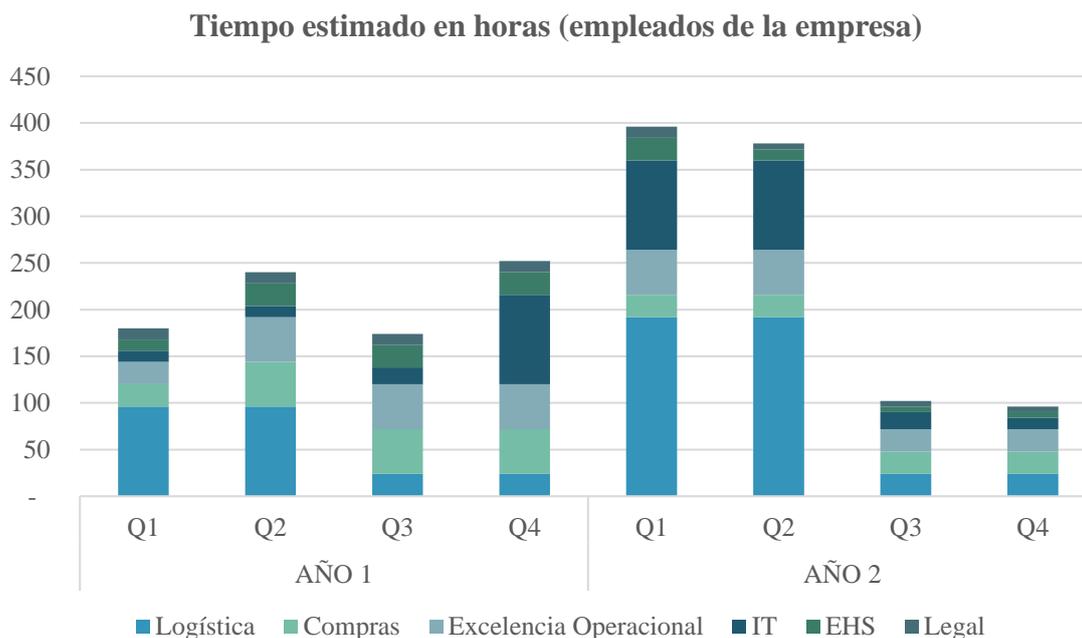
contrato marco para proveedores de transporte; además es informado en la iniciativa de capacitación y entrenamiento como parte interesada.

TI es responsable del seguimiento a proveedores externos de consultoría TI en el desarrollo necesario para la automatización del modelo de cálculo de emisiones logísticas y la construcción de base de datos y su posterior robustecimiento, además de las integraciones de parámetros de emisiones al software de MCS y al ERP de la empresa en el proceso de POT; y será consultado en el proceso de identificación de fuentes de datos para cálculo de emisiones y en la recolección de estos datos.

Finalmente, los proveedores de transporte serán responsables de la generación de iniciativas de colaboración, además de estar sujetos a los cambios que se realicen en los procedimientos CDP y POT, y el contrato marco de los cuales estarán informados en cuanto se ejecuten; además, son consultados en el proceso de cálculo, reporte y modelado de emisiones logísticas, con la expectativa de que la información primaria de consumo de combustible e intensidad de emisiones sea cada vez más transparente entre estos proveedores y la empresa.

En cuanto a los recursos, el plan considera dos tipos de recursos: dinero y tiempo de empleados directos de la empresa. Los costos estimados en dólares a alto nivel para el horizonte del plan se presentan en la **Figura 26** y se clasifican en 3 rubros principales: (1) La consultoría especializada en descarbonización, para el cálculo y reporte de emisiones de línea base y acciones de entrenamiento y capacitación; (2) La consultoría de TI para la automatización del modelo de cálculo de emisiones logísticas, la construcción de la base de datos de estas emisiones y su integración a los procesos de MCS y POT; y (3) la inversión potencial requerida para iniciativas de colaboración. La inversión total es inferior al 0.01% del monto de la venta total de la empresa, lo que facilitaría su aprobación en presupuesto.

En la **Figura 27** se presenta el tiempo en horas requerido por empleados en cada una de las áreas para el plan de acción, en principio se asume que no existirá necesidad de personal adicional para la ejecución del plan, teniendo en cuenta que la mayor carga horaria estará siendo ejecutada por proveedores externos y se refleja en la inversión monetaria; además para garantizar la disponibilidad de tiempo del personal interno, se consideró una asignación menor al 10% por recurso al plan, aumentando los plazos estimados donde fuese necesario (principalmente en la etapa temprana de recolección de datos para el cálculo de emisiones y en la documentación de cambios a los procedimientos de MCS, POT y CDP).

Figura 26. Recursos del plan – Dinero**Figura 27.** Recursos del plan – Tiempo de los empleados

La **Figura 28** presenta una síntesis del proceso de planeación táctica desde la identificación de KRA hasta la generación del plan de acción. El mecanismo de retroalimentación de este plan se estructuró en una serie de dashboards, a presentarse en la siguiente sección, que dan cuenta de los indicadores clave de desempeño además del avance general del plan, el cumplimiento de los hitos planteados y la utilización de recursos.

Figura 28. Elementos principales del proceso de planeación táctica

Áreas de resultados críticas (KRA)	México						
	Costa Rica						
	Colombia						
	Brasil						
	Chile						
	Argentina						
	Selección de proveedores de transporte		Definición de los roles de los agentes logísticos		Diseño de la red de distribución	Diseño de la estrategia de ruteo	Gestión de la capacidad de transporte
Aspectos críticos	Compras y desarrollo de proveedores logísticos			Modelado de cadena de suministro y red logística		Planeación operativa de transportes	
	Carga asignada a proveedores que participan en programas de eficiencia energética (%)	Proveedores que reportan intensidad de emisiones siguiendo parámetros del GLEC (ratio)	Emisiones de CO ₂ eq reducidas mediante iniciativas de colaboración con proveedores (ratio)	Integración del parámetro emisiones a los procesos de modelado de la cadena de suministro y red logística (hito)	Estrategias seleccionadas con base en escenarios que minimizan las emisiones (ratio)	Factor de ocupación promedio de los vehículos (%)	Composición de los viajes por modo (% marítimo, ferroviario, terrestre)
Indicadores clave de rendimiento	Intensidad de emisiones (CO₂eq /t-km) / Emisiones por tonelada vendida (CO₂eq/t)						
	80%	5/21	3/4	Mes 16	1/2	88%	Marítimo + Ferrocarril → +1% vs lb 40% vs potencial
Objetivos	-1.5% vs lb / -1.8% vs lb						
	Incorporación al programa Transporte Limpio como empresa usuaria	Modificación del proceso de compra y desarrollo de proveedores basado en el marco de Compras verdes		Integración de variables de emisiones logísticas a los procesos de (re)diseño de red logística y cadena de suministro, y de mejora de ruteo		Integración de variables de emisiones logísticas a los procesos de planeación de Transportes	
Planes de Acción	Generación de proceso de contabilidad y reporte de emisiones logísticas						

lb=línea base

3.2.6 Resultados Esperados

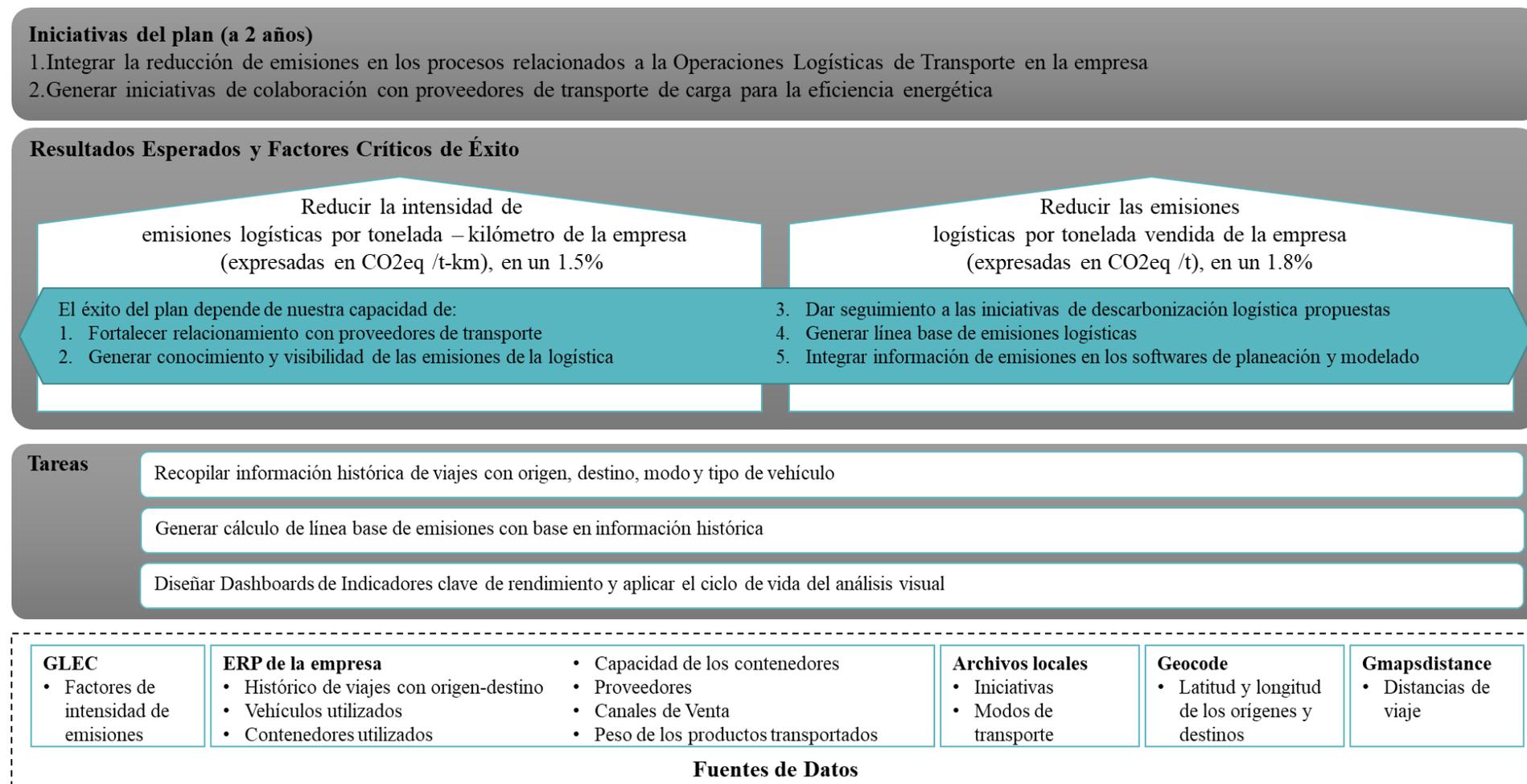
El objetivo general de esta tesis fue *“Formular un plan táctico para la empresa caso de estudio; un plan enfocado en la descarbonización en operaciones logísticas de transporte; un plan que considere las buenas prácticas de la industria y que tenga como propósito hacer compatibles las directrices estratégicas de la empresa en términos de sostenibilidad y las acciones de las áreas logísticas locales en el mismo sentido”*. Con base en el objetivo a continuación, se presenta la forma en que se espera monitorear los resultados esperados. Esto es, a partir de un conjunto de tableros de control que muestren el comportamiento de los indicadores clave del plan propuesto. El análisis debe enfocarse en los objetivos del plan (ver **Figura 29**) y en el avance en los factores críticos de éxito. El plan considera un plazo de dos años para integrar la reducción de emisiones en los procesos relacionados a las OLT en la empresa, es decir al POT, CDP y MCS; además de generar iniciativas de colaboración con proveedores de transporte de carga para la eficiencia energética; con esto se espera reducir la intensidad de emisiones logísticas por tonelada – kilómetro de la empresa (expresadas en CO₂eq /t-km), en un 1.5% y las emisiones logísticas por tonelada vendida (expresadas en CO₂eq /t), en un 1.8%. Para esto se requiere garantizar las capacidades para:

- Fortalecer la relación con proveedores de transporte.
- Generar conocimiento y visibilidad de las emisiones de la logística.
- Dar seguimiento a las iniciativas de descarbonización logística propuestas.
- Generar una línea base de emisiones logísticas.
- Integrar información de emisiones en los softwares de planeación y modelado.
- Demostrar cómo la inversión económica del plan contribuye a los objetivos de la empresa.

Es necesario considerar que tanto la propuesta, como el análisis visual a continuación se acoplan a la singularidad de la empresa caso de estudio en términos de tamaño, complejidad y recursos por lo cual, si bien puede tomarse como referencia para trabajos futuros, existe limitación en la aplicabilidad a otras empresas y por lo tanto en la generalización de los resultados. De forma similar, el impacto real de la propuesta está condicionado por la habilidad de ejecución por parte de la empresa, así como a variables externas e internas que pueden influir en el proceso de implementación y seguimiento.

Las tareas requeridas para el análisis son aquellas relacionadas con la recopilación de información histórica de viajes, la generación del cálculo de emisiones para análisis y el

Figura 29. Construcción de herramienta de monitoreo en relación al plan



diseño de los tableros para los indicadores clave de rendimiento. Para el análisis se recopiló información de viajes con origen destino, vehículos y contenedores utilizados, así como proveedores, canales de venta y peso de los productos transportados del ERP de la compañía durante 2020; por otro lado, de archivos locales proporcionados por los diferentes equipos, se recabó información respecto de los modos de transporte para el histórico de viajes (información no disponible en sistema), así como del detalle de las iniciativas de descarbonización registradas.

Se destaca la dificultad asociada a la disponibilidad de información, y la necesidad de agregar información de diferentes fuentes, pudiendo generarse inconsistencias o pérdida de nivel de detalle del cálculo a realizar, lo cual coincide con las limitantes encontradas por otros autores.

Se procesaron los datos de acuerdo al ciclo de vida del análisis visual estructurándolos y complementándolos con distancias a nivel ciudad usando la herramienta Geocode© (Talarian (Awesome Table BV.), 2022). El nivel seleccionado para el cálculo de distancias podría implicar una variación respecto de las distancias reales, esta variación puede disminuirse con la evolución digital de la empresa caso de estudio hacia herramientas que den seguimiento a la operación real.

Una vez recabada la información histórica del periodo seleccionado se hizo un cruce con los factores de intensidad de emisiones publicados por GLEC, para el cálculo de emisiones de alcance 3. En la **Tabla 20** se muestra un extracto de estos factores basado en la necesidad específica de la empresa caso de estudio.

Posteriormente se generó un identificador único para el modo/vehículo y el cálculo de emisiones línea a línea en la base de datos de viajes construida para poder generar información a detalle de las emisiones totales e intensidad de emisiones por tonelada-kilometro y tonelada vendida por mes y canal; y con la posibilidad de explorar también a nivel tipo de producto, proveedor, destino, o cualquier otro parámetro incluido en la base original obtenida del ERP. Se construyó tanto la línea base planteado como primer hito del plan como la base de datos de emisiones logísticas para la empresa, esto último para la digitalización de emisiones, tercer hito que requiere trabajo intensivo de limpieza y preparación de datos.

Tabla 20. Factores de intensidad de emisiones por modo y tipo de vehículo

IDModo	Modo	Tipo	Factor WTW (g CO ₂ eq / Ton-km)	Factor de consumo de combustible (L/t-km)	Regulación
A1	Aéreo	Trayecto corto (< 1000 km)	1,390	NA	OACI/IATA RP1678
A2	Aéreo	Trayecto mediano (1000–3700 km)	710	NA	OACI/IATA RP1678
A3	Aéreo	Trayecto largo (> 3700 km)	560	NA	OACI/IATA RP1678
F1	Ferroviano	Tracción Diesel	28	0.0087	EcoTransIT
F2	Ferroviano	Tracción eléctrica	10	NA	EcoTransIT
C1	Carretero	Furgoneta (<3.5 t) - Gasolina	1,000	0.353	SmartFreightCenter
C2	Carretero	Camión rígido 3.5–7.5 t GVW (Camión urbano)	370	0.118	SmartFreightCenter
C3	Carretero	Vehículo de mercancías medianas (MGV): (7.5-12 t GVW)	240	0.074	SmartFreightCenter
C4	Carretero	Vehículo de mercancías medianas (MGV): (12-20 t GVW)	150	0.048	SmartFreightCenter
C5	Carretero	Vehículo de mercancías pesadas (HGV): (Hasta 34t GVW)	92	0.029	SmartFreightCenter
C6	Carretero	Vehículo de mercancías pesadas articulado (hasta 60 t GVW)	63	0.02	SmartFreightCenter
M1	Marítimo	Ruta de Panamá	15.9	89	Clean Cargo Working Group
M2	Marítimo	Ruta Mundial	15.7	88	Clean Cargo Working Group
M3	Marítimo	Transatlántico	17.1	96	Clean Cargo Working Group
M4	Marítimo	Transpacífico	13.0	73	Clean Cargo Working Group

Fuente: Adaptado de (Smart Freight Centre, 2019)

La herramienta de monitoreo se diseñó en Tableau© (2022.2) con los indicadores propuestos en el plan y detalles de estos a distintos niveles para facilitar el entendimiento de relaciones, tendencias y patrones. La **Figura 30** muestra los indicadores generales del plan, se puede observar la importancia de los indicadores de intensidad de emisiones logísticas por tonelada – kilómetro de la empresa (expresadas en CO₂eq /t-km) e intensidad de emisiones logísticas por tonelada vendida (expresadas en CO₂eq /t) ya que a pesar de que los meses de abril a

junio las emisiones totales fueron menores, a nivel operación de transporte o venta se observa que la intensidad de emisiones fue de las más altas durante el año, es así que el control de los indicadores de intensidad dará cuenta de la eficacia de los resultados del plan.

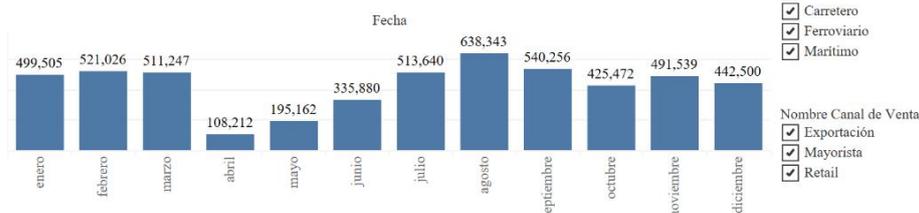
Figura 30. Tablero de indicadores generales del plan

Emisiones Logísticas

Histórico 2020 de Emisiones logísticas, calculadas bajo parámetros del marco operativo GLEC



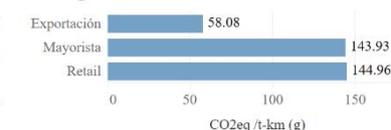
Emisiones Totales (Kg CO₂eq)



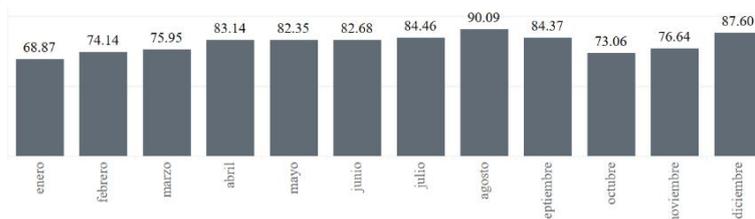
CO₂eq /t-km (mes)



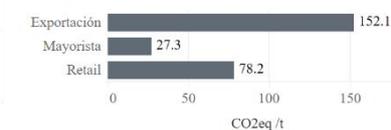
CO₂eq /t-km (canal)



CO₂eq /t (mes)



CO₂eq /t (canal)



Fuente de Información | Cálculo con base en históricos del ERP de la empresa y factores del marco operativo GLEC

Última actualización: 11/12/2022

Por otro lado la necesidad de expresar los indicadores por canal, permite generar iniciativas específicas e identificar las prioritarias, en relación a su potencial de descarbonización; por ejemplo se observa el caso de las emisiones en el canal de exportación que si bien a nivel tonelada – kilómetro tienen menor intensidad, principalmente asociado a los modos marítimo y ferroviario que se usan con mayor proporción en este canal, a nivel tonelada vendida es considerablemente más alto debido a las largas distancias en que la mercancía es transportada, lo que soportaría, a modo de ejemplo, iniciativas relacionadas con el rediseño de la red para aumentar la producción local para venta local. A nivel distribución local, la prioridad de iniciativas de colaboración con proveedores de transporte debería enfocarse en aquellos que prestan servicio al canal de *retail* que, de acuerdo con el cálculo de alto nivel

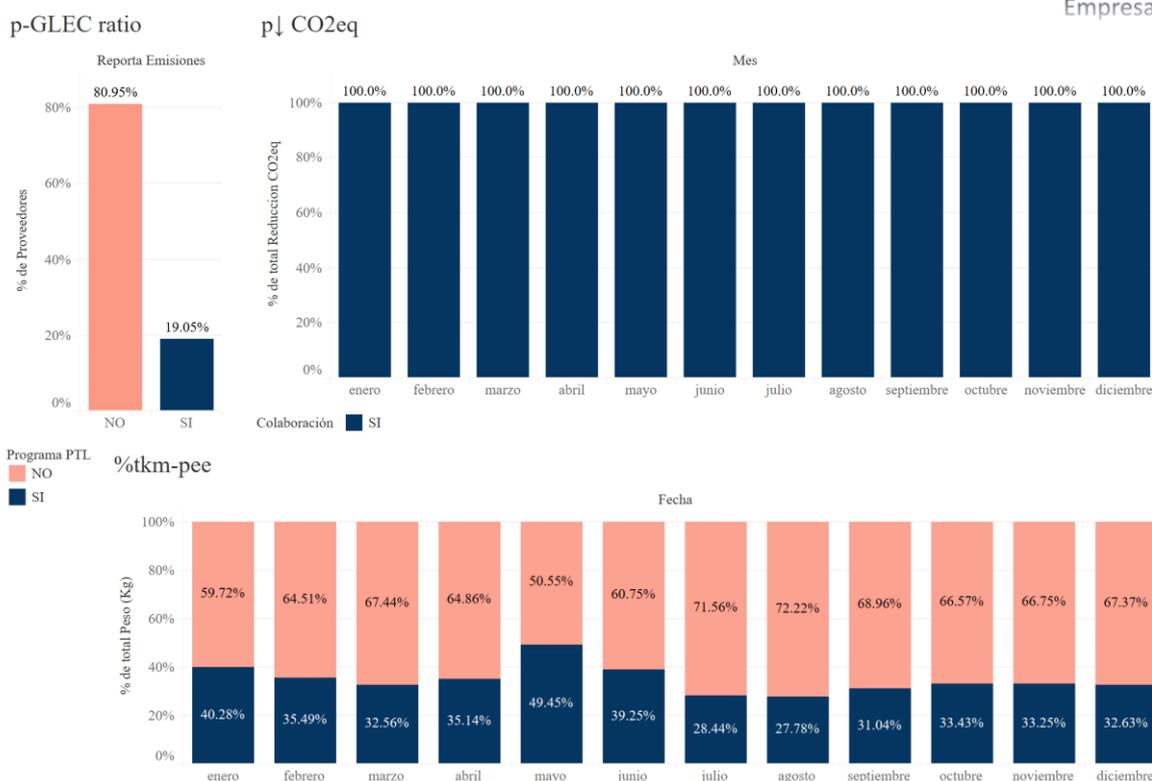
realizado para de análisis, genera casi 3 veces más emisiones por tonelada vendida que el canal mayorista.

Los indicadores globales del plan son resultado de las acciones tomadas en cada uno de los procesos de negocio (CDP, MCS y POT). De tal forma que el análisis incluye el diseño de tableros para monitorear las acciones específicas respecto del logro de los objetivos generales. La **Figura 31** muestra la propuesta para el proceso de Compra y Desarrollo de Proveedores, centrada en el informe de emisiones por parte de los proveedores, su participación en el programa transporte limpio y su participación en iniciativas de reducción de emisiones en colaboración con la empresa.

Figura 31. Tablero de indicadores - Compra y Desarrollo de Proveedores

Compra y desarrollo de proveedores logísticos

Histórico 2020 de Indicadores del proceso de compra y desarrollo de proveedores logísticos relevantes para la reducción de Emisiones Logísticas



Fuente de Información | Ejemplo generado para visualización

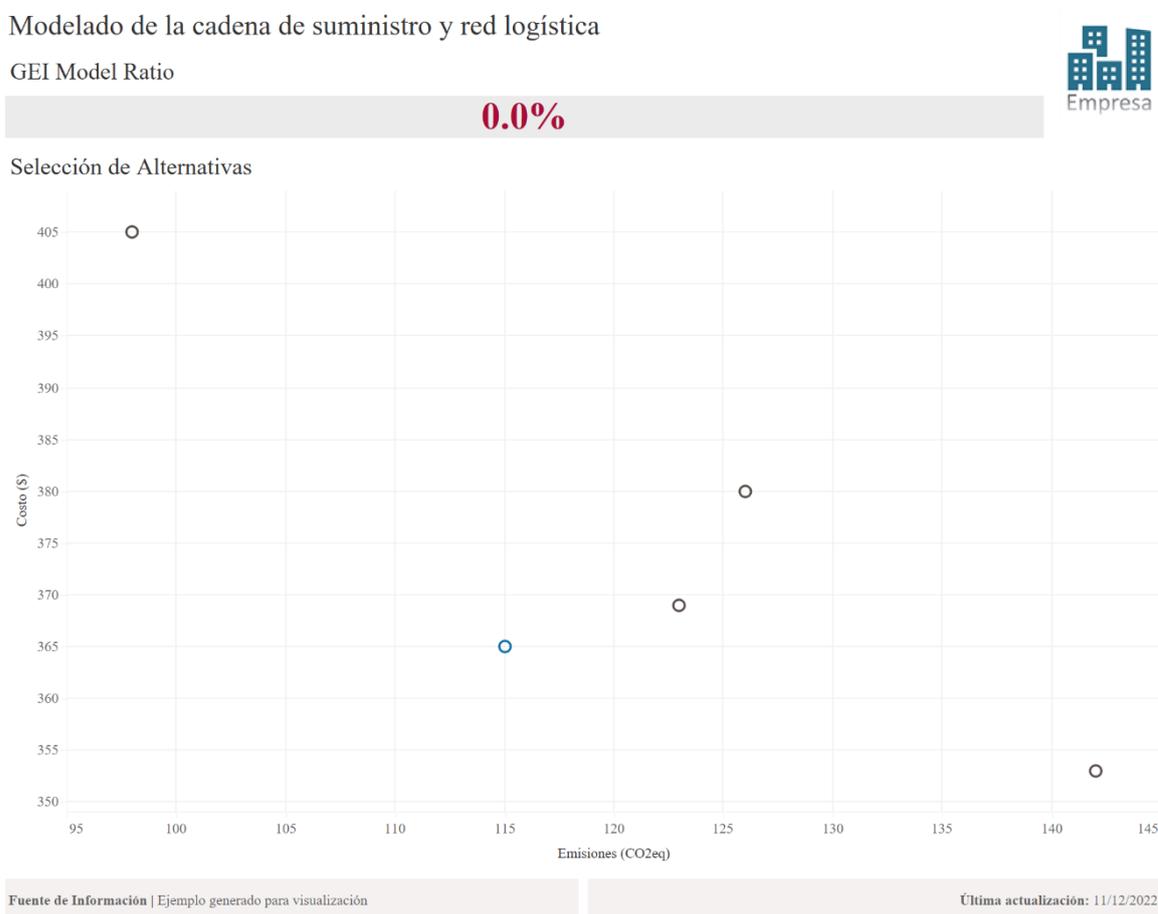
Última actualización: 11/12/2022

Se muestran gráficos de datos hipotéticos, por no contarse con información hasta la ejecución del plan, donde se tendrá que considerar la construcción de bases de datos de proveedores que se puedan relacionar con facilidad a los históricos del ERP de la empresa de forma tal que se garantice la disponibilidad de información para monitorear la intensidad del transporte de carga de la empresa operada por distintos perfiles de proveedores logísticos,

hasta eventualmente lograr maximizar el porcentaje de carga asignado a proveedores que pertenecen al programa transporte limpio y reportan emisiones, especialmente a aquellos con menor intensidad de emisiones; esto se lograría bien sea con el fortalecimiento de relaciones comerciales con proveedores que ya cuentan con este perfil, o mediante el desarrollo de proveedores que aún no lo cumplen.

La **Figura 32** muestra el proceso de modelado de la cadena de suministro y red logística con el porcentaje de iniciativas seleccionadas con base en escenarios que minimizan las emisiones, esto permite observar la comparación entre escenarios en función del criterio tradicional (costo) y las emisiones.

Figura 32. Tablero de indicadores - Modelado de la cadena de suministro y red logística



El gráfico se obtuvo de datos hipotéticos. Se observa que la opción de menor cantidad de emisiones es también la de mayor costo y viceversa; sin embargo, hay una alternativa intermedia que mantiene un costo promedio y es la segunda con menores emisiones. Comportamientos similares al momento de la toma de decisión se esperan en la empresa posterior a la integración de emisiones al proceso de modelado.

Para la selección de escenarios a modelar o hipótesis a probar, especialistas de MCS y tomadores de decisión de la empresa pueden encontrar de gran utilidad el tablero presentado en la **Figura 33**, que corresponde a la distribución geográfica de los volúmenes de venta y las emisiones, esta visualización permite entender espacialmente la relación de distancia y modo con las emisiones e identificar destinos hacia donde es prioritario generar iniciativas; a nivel global, se observa una gran oportunidad a desarrollarse en el diseño de la operación hacia Estados Unidos dado un alto impacto a nivel de emisiones; a nivel país, se observa que a pesar que la venta está concentrada en el área central del país, las emisiones tienen una mayor dispersión y en particular se observa una importante oportunidad en los envíos a las zonas más alejadas del centro.

Figura 33. Tablero complementario de Distribución geográfica

Distribución geográfica

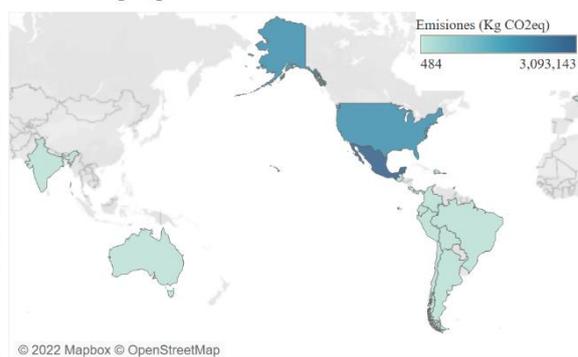
Mapas comparativos de volumen de venta y emisiones logísticas por país y detalle de zona Local. Estos mapas pueden ser generados en el proceso de modelado de la cadena de suministro, para entender el impacto por zona de las alternativas modeladas



Volumen de Venta (Total)



Emisiones por país destino



Volumen de Venta (MX)



Emisiones por zona destino



Fuente de Información | Extracciones del ERP de la empresa

Última actualización: 11/12/2022

Finalmente el tablero del proceso de Planeación Operativa de Transporte (**Figura 34**), permite observar la distribución modal, para el caso de estudio en su mayoría carretero (89.02%), dadas las particularidades de la operación de transporte, orígenes y destinos; para este indicador es necesario definir un objetivo específico respecto del aumento de los modos

marítimo y ferroviario con base en el potencial identificado durante el sexto hito del plan y limitado principalmente a la infraestructura disponible..

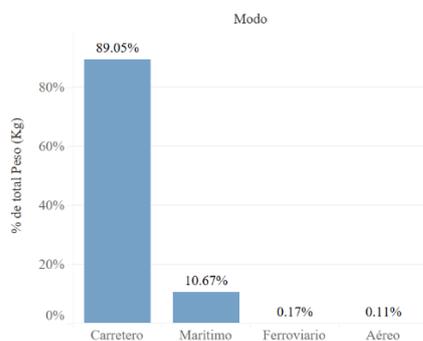
Figura 34. Tablero de indicadores - Planeación Operativa de Transporte

Planeación Operativa de Transporte

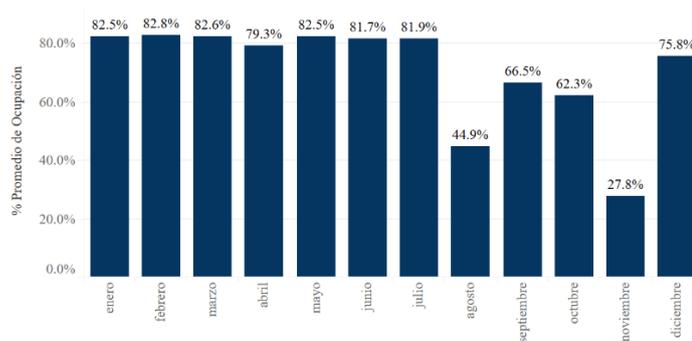
Histórico 2020 de Indicadores del proceso de planeación operativa del transporte relevantes para la reducción de Emisiones Logísticas



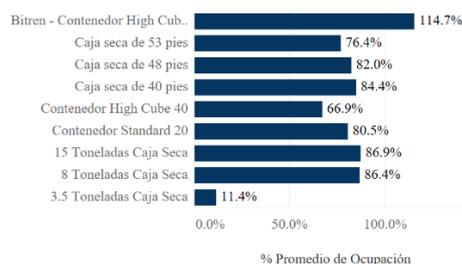
Distribución Modal



Ocupación promedio / mes



Ocupación promedio / Tipo de Vehículo



Ocupación / Viaje

ID Viaje	Nombre Alm..	Modo	Nombre Contenedor	%Cubic
21932	D	Carretero	3.5 Toneladas Caja Seca	29.6%
13848	A	Carretero	3.5 Toneladas Caja Seca	29.5%
12670	D	Carretero	3.5 Toneladas Caja Seca	29.3%
11775	A	Carretero	3.5 Toneladas Caja Seca	27.5%
39427	A	Carretero	3.5 Toneladas Caja Seca	27.5%
20476	B	Carretero	3.5 Toneladas Caja Seca	27.0%
33520	A	Carretero	3.5 Toneladas Caja Seca	27.0%
31561	D	Carretero	3.5 Toneladas Caja Seca	26.6%
13458	A	Carretero	3.5 Toneladas Caja Seca	26.4%
16099	C	Carretero	3.5 Toneladas Caja Seca	26.0%
17539	C	Carretero	3.5 Toneladas Caja Seca	26.0%
18568	C	Carretero	3.5 Toneladas Caja Seca	26.0%
26033	C	Carretero	3.5 Toneladas Caja Seca	26.0%

%Cubic
0.0% to 30.0%

%Cubic
0.0% 100.0%

Fuente de Información | Extracciones del ERP de la empresa

Última actualización: 11/12/2022

La ocupación promedio por mes y tipo de vehículo brinda la posibilidad de identificar oportunidades relacionadas con la estacionalidad del negocio, esto con la promoción de iniciativas de colaboración, o bien cambios en el tipo de vehículo, identificando posibles mejoras en el proceso o software de planeación, o en la operación física de carga del producto en almacenes, tales como capacitación a personal operativo o introducción de maquinaria dirigida a incrementar la ocupación al momento de la carga. El tablero también incluye un detalle de la ocupación a nivel viaje, para aquellos con ocupación menor al 50%, de tal manera que se logren analizar los casos críticos e identificar patrones a corregir.

Adicional al control de los indicadores generales y por proceso de negocio, se hace relevante el seguimiento al cumplimiento de hitos del plan, de tal forma que se pueda garantizar que la implementación se está moviendo en la dirección correcta y en concordancia con el marco de referencia temporal establecido, así mismo el monitoreo permite identificar posibles

desviaciones u oportunidades de mejora al evidenciar patrones o tendencias e implementar acciones de control que prevengan su recurrencia.

3.3 Validación del plan táctico propuesto

3.3.1 Identificación de stakeholders clave

Con base en las áreas identificadas en la matriz de responsabilidades del plan, se realizó un análisis de Stakeholders en los departamentos involucrados, de un total de 31 personas, fueron seleccionadas 7 para la validación del plan (ver **Tabla 21**).

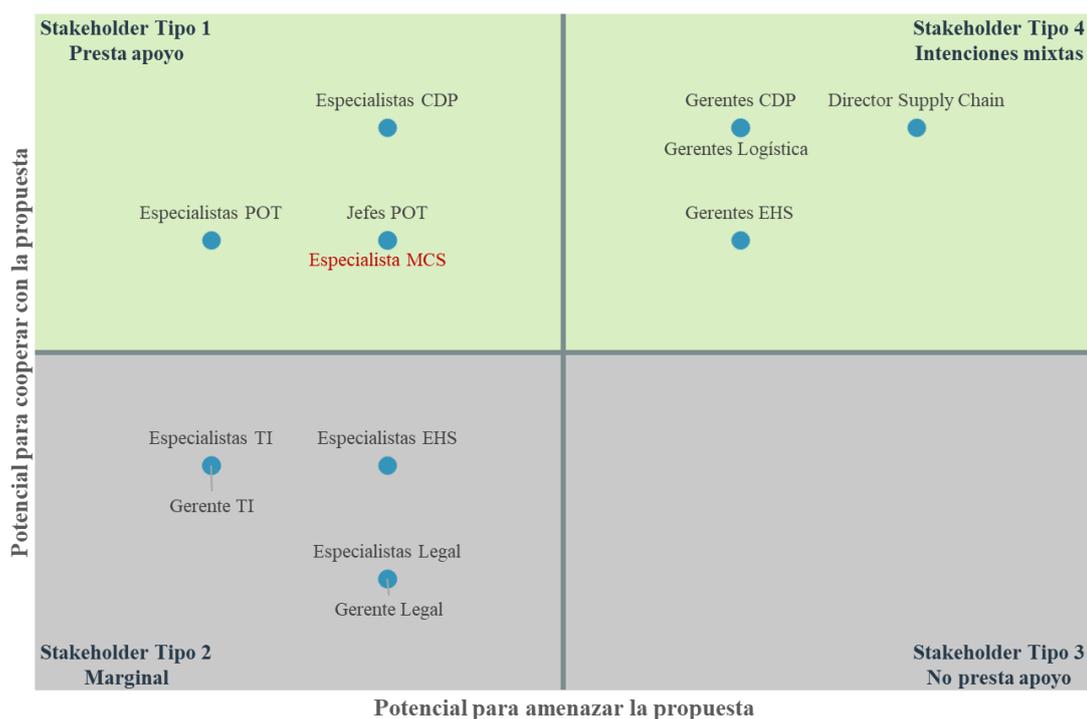
Tabla 21. Stakeholders seleccionados por departamento

Departamento	Población	Muestra
Logística	10	4
Compras	4	2
EHS	7	1
Excelencia Operacional	2	0
Legal	3	0
TI	5	0
Total	31	7

La selección se realizó con base en la clasificación por tipo de Stakeholder (ver **Figura 35**); 9 de los Stakeholders fueron identificados como Tipo 1, aquellos que pueden prestar apoyo al tener un alto potencial de cooperación con la propuesta y bajo potencial para amenazarla, en esta categoría se identificaron a los jefes del proceso de negocio POT y a los especialistas de los tres procesos de negocio involucrados en la propuesta, es decir CDP, POT y MCS; de esta categoría fueron seleccionadas 3 personas para participar en la validación del modelo garantizando por lo menos 1 persona por perfil, a excepción del especialista MCS por vacante en el momento de aplicación de la herramienta de validación. Se identificaron 13 Stakeholders tipo 2, aquellos que para el caso se consideran marginales al tener un bajo potencial para cooperar con la propuesta, al igual que un bajo potencial para amenazarla; en esta categoría fueron clasificados los especialistas y gerentes de los Departamentos de TI y Legal, al considerarse departamentos de apoyo a la propuesta, sin mayor nivel de responsabilidad; así mismo los especialistas EHS fueron clasificados en esta categoría debido a que sus responsabilidades asociadas a descarbonización, están enfocadas en emisiones de alcance 1 y 2 y la propuesta considera la intervención de una consultoría especializada en emisiones logísticas que corresponden principalmente a alcance 3; al ser Stakeholders marginales ninguno fue seleccionado para la validación del plan propuesto. No se identificaron stakeholders tipo 3 dentro de los departamentos involucrados, aquellos que

no prestarían apoyo. Finalmente, en la categoría de Stakeholder Tipo 4, aquellos con intenciones mixtas, se identificaron a 7 líderes (Gerentes y Directores) de las áreas involucradas con mayor responsabilidad en el plan al tener un alto potencial para cooperar con la propuesta y a su vez un alto potencial para amenazarla, siendo los tomadores de decisión principales y los responsables de asignar recursos a la ejecución del plan; de esta categoría fueron seleccionadas 4 personas para participar en la validación del modelo garantizando por lo menos 1 persona por perfil. Los stakeholders tipo 1 seleccionados, están directamente involucrados en los procesos CDP, POT y MCS, lo que les da conocimiento profundo de las OLT y les permite evaluar el plan en relación a su efectividad y eficiencia; por su parte los stakeholder tipo 4 seleccionados por su alta responsabilidad en la toma de decisiones y por lo tanto en garantizar que las acciones tácticas están alineadas con la estrategia, visión y compromiso corporativo de la empresa son los adecuados para evaluar el plan de forma integral y en particular los criterios de ética y eficacia.

Figura 35. *Análisis de Stakeholders*



3.3.2 Administración del cuestionario

La herramienta de validación se basó en un cuestionario estructurado aplicado a un conjunto de stakeholders utilizando Microsoft Forms posterior a la presentación del plan y de los elementos para su construcción: prácticas, criterios, herramientas para descarbonización en OLT, además del diagnóstico de la empresa.

El cuestionario constó de nueve preguntas cerradas y una abierta. Las preguntas estuvieron asociadas con diferentes criterios de validación (Ver **ANEXO 1**). Se cuestionó a los stakeholders respecto de la relevancia del plan en relación con la estrategia y valores corporativos (ética), respecto al cumplimiento con los criterios del negocio en relación con la sustentabilidad (eficacia). Se hicieron cuatro preguntas respecto de la efectividad del plan para validar si contribuye a la visión y compromiso corporativo, si tiene efectos significativos en el este compromiso, si establece conocimientos sobre descarbonización logística en el equipo y si tiene potencial de ser replicado en operaciones de la empresa en otros países de la región. Se hicieron tres preguntas respecto del criterio de eficiencia para validar si la relación costo-beneficio, el horizonte temporal y la asignación de recursos humanos propuestos en el plan son adecuados.

3.3.3 Resultados del cuestionario de validación

Los resultados obtenidos de las respuestas de los participantes se presentan en la **Figura 36**, estos permitieron realizar la validación del plan con base en los criterios de ética, eficacia, efectividad y eficiencia:

Ética

Se preguntó a los stakeholders si consideraban que el plan era relevante en relación con la estrategia y valores corporativos. Los resultados obtenidos indican que, en promedio, el plan fue calificado con un 4.86. En consecuencia, los stakeholders consideran que el plan propuesto está en línea con la estrategia y los valores corporativos, lo que indica que el plan propone medidas coherentes con la ética y cultura de la empresa.

Eficacia

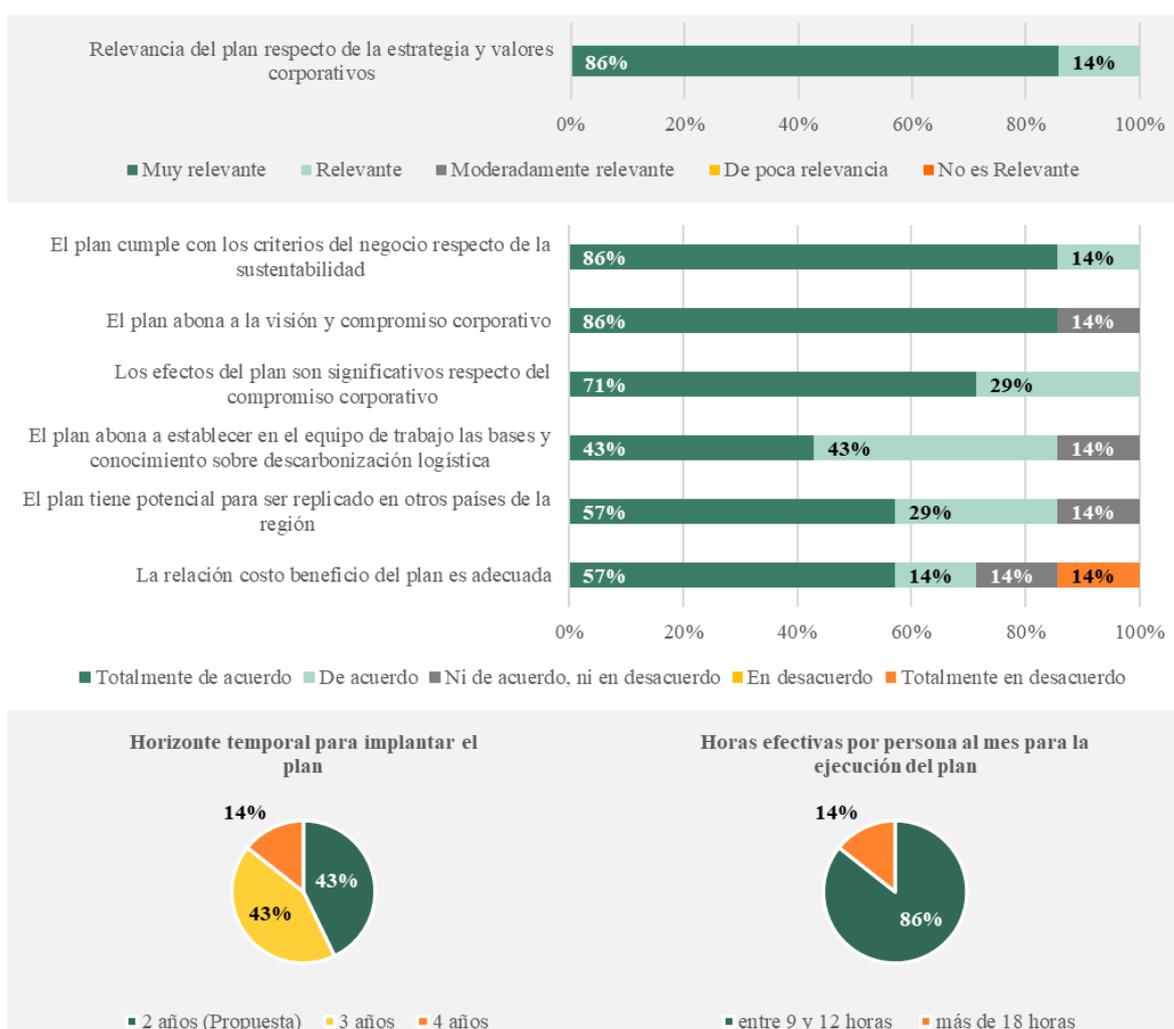
En cuanto a la eficacia, se preguntó a los stakeholders si consideraban que el plan cumple con los criterios del negocio en relación con la sustentabilidad. La puntuación promedio obtenida fue de 4.86. Esta alta puntuación sugiere un alto potencial del plan de contribuir a la estrategia de sostenibilidad de la empresa

Efectividad

Para evaluar la efectividad del plan, se realizaron cuatro preguntas. Los resultados indican que los stakeholders consideran que el plan abona a la visión y compromiso corporativo, y que los efectos del plan son significativos en relación a este compromiso con una puntuación

promedio en ambas preguntas de 4.71. En cuanto a si el plan abona a establecer las bases y conocimiento sobre descarbonización logística en el equipo de trabajo, los stakeholders otorgaron una puntuación promedio de 4.29, existiendo dudas por parte de uno de los stakeholders tipo 4. En relación con si el plan tiene potencial para ser replicado en otros países de la región, la puntuación promedio obtenida fue de 4.43. Si bien el promedio es alto para las cuatro preguntas, se evidencia que uno de los stakeholders califica de forma neutral la mayoría de los ítems relacionados con efectividad, teniendo en cuenta que este stakeholder tiene un alto potencial para amenazar la propuesta, en la posterior implementación se deberán considerar estrategias de vinculación y colaboración para garantizar su cooperación.

Figura 36. Resultados del cuestionario de validación del plan



Eficiencia

La eficiencia del plan se evaluó preguntando a los stakeholders si consideraban que la relación costo-beneficio del plan era adecuada. La puntuación promedio obtenida fue de

4.00, siendo esta la puntuación más baja en todo el cuestionario. En cuanto al horizonte temporal adecuado para implantar el plan, se presentaron diversas opciones y se les pidió a los stakeholders que seleccionaran la que consideraban más adecuada. 3 de los 7 stakeholders concuerdan con el horizonte propuesto de 2 años, mientras que los 4 restantes consideran que se requiere mayor tiempo para su implementación, 3 de ellos con 3 años y 1 considera que serán necesarios 4 años. También se les preguntó en cuanto a la asignación de recursos internos para el plan, cuántas horas efectivas por persona al mes implicaría su ejecución. Los resultados muestran que la mayoría de los stakeholders estiman que la ejecución del plan requeriría entre 9 y 12 horas efectivas por persona al mes con un 86% de las respuestas, lo cual coincide con la propuesta, mientras que uno de los stakeholders considera que la ejecución tomará más de 18 horas efectivas por persona al mes.

Las puntuaciones divergentes en el criterio de eficiencia del plan indican una preocupación por parte de los stakeholders respecto de los recursos económicos y humanos que se deben asignar a la ejecución del plan y por lo tanto sugieren que hay un margen de mejora en este aspecto. Para garantizar el éxito en la implementación del plan a pesar de posibles reservas por parte de los stakeholders, será de vital importancia el monitoreo, para evaluar constantemente el avance e identificar oportunidades de mejora y la flexibilidad para, si es necesario, ajustar recursos y plazos de forma ágil y eficiente. Así mismo establecer una comunicación clara y transparente de los beneficios y objetivos del plan será crucial, involucrando activamente a los stakeholders en el proceso.

Comentarios adicionales

Los stakeholders también tuvieron la oportunidad de proporcionar comentarios adicionales respecto al plan. Los comentarios recibidos indican una buena aceptación del plan propuesto, especialmente respecto a su importancia y aporte al compromiso corporativo.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES

El objetivo de esta tesis fue desarrollar un plan táctico hacia la descarbonización logística en una empresa caso de estudio, considerando las buenas prácticas de la industria y haciendo compatibles las directrices estratégicas de la empresa en términos de sostenibilidad con las acciones de las áreas logísticas en el mismo sentido. Se establecieron objetivos específicos para identificar prácticas y herramientas existentes en la industria, evaluar la situación actual de la empresa, contextualizar el plan táctico y validar su ética, eficiencia, eficacia y efectividad. Durante la formulación del plan táctico se identificaron problemas y oportunidades en la empresa con respecto a la reducción del impacto ambiental y se propusieron soluciones alineadas a las necesidades de la empresa. Con base en los aprendizajes de la formulación de este plan se puede concluir que:

- El plan es relevante en relación con la estrategia y valores corporativos, cumple con los criterios de negocio en relación con la sustentabilidad y abona a la visión y compromiso corporativo, además de tener potencial para ser replicado en otros países de la región.
- El plan habilita la implementación de estrategias de logística verde, considerado como el marco más específico en términos de descarbonización logística y una buena práctica de la industria. Al adoptar este marco, se garantiza una reducción significativa del impacto ambiental en las operaciones logísticas. Este enfoque no solo contribuye a la sostenibilidad y responsabilidad corporativa, sino que también impulsa la eficiencia de las operaciones.
- El plan proporciona un marco táctico que asegura la alineación entre las directrices estratégicas de la empresa y las acciones operativas, permitiendo que cada acción contribuya de manera efectiva a los objetivos de sostenibilidad, facilitando la implementación de buenas prácticas de la industria mediante la utilización de herramientas tecnológicas, la colaboración con proveedores y el entrenamiento adecuado de los involucrados.
- Es crucial realizar modificaciones en las OLT y los procesos de negocio asociados en las empresas con el fin de integrar de manera prioritaria la sostenibilidad. Es necesario ampliar los criterios de evaluación más allá de los tradicionales de costo y nivel de servicio, incluyendo información de emisiones. De esta manera, se abordan de forma efectiva las emisiones, y se llevan a cabo acciones concretas para impulsar iniciativas de logística verde.

- La adopción del Marco Operativo del Global Logistics Emissions Council (GLEC) es fundamental para que las empresas calculen y reporten sus emisiones logísticas de gases de efecto invernadero (GEI) y establezcan objetivos de reducción para contribuir a alcanzar los objetivos climáticos internacionales.
- La planeación táctica es una herramienta relevante en la gestión de iniciativas de reducción de impacto ambiental del transporte de mercancías, ya que permite la coordinación de los objetivos a corto plazo con la dirección a largo plazo, y se enfoca en seleccionar los medios específicos para lograr los objetivos. Además, facilita la toma de decisiones empresariales al enfocarse indicadores críticos de rendimiento de las áreas críticas de resultados.
- La combinación de diversas técnicas de análisis, como el análisis documental, el análisis secundario y la analítica de datos permite obtener información significativa para proponer medidas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en las operaciones logísticas de la empresa.
- El análisis de sistemas es útil en la etapa de diagnóstico en un caso de estudio al permitir entender la situación actual de la empresa de acuerdo con el marco de abordaje y su relación con las estrategias empresariales, además de promover una intervención exitosa en situaciones complejas.
- Establecer indicadores clave de rendimiento que estén en línea con los objetivos establecidos, es de vital importancia. Para el caso específico los indicadores generales del plan permiten evaluar la efectividad de las iniciativas de descarbonización en términos de intensidad de emisiones de CO₂eq, sin embargo, estos resultados están asociados al éxito de los resultados en cada uno de los procesos de negocio.
- Contar con una herramienta de monitoreo para el plan de reducción de emisiones logísticas permite el control de la eficacia de los resultados del plan y la identificación de iniciativas específicas y prioritarias en relación a su potencial de descarbonización.
- La digitalización de las OLT es fundamental para las empresas que buscan implantar prácticas de Logística Verde. Las tecnologías disponibles, tales como el seguimiento por GPS, el análisis de datos en tiempo real y los Sistemas de Gestión de Transporte (TMS), proporcionan una mayor visibilidad y permiten a las empresas optimizar sus operaciones. Además, es importante incluir información relacionada con las emisiones en los softwares de planeación y optimización logística para garantizar que las decisiones estratégicas, tácticas y operativas se tomen de forma informada y equilibrada, teniendo

en cuenta aspectos económicos, de servicio y de sostenibilidad. Este enfoque integral ayuda a las empresas a identificar áreas de mejora y lograr un rendimiento óptimo mientras se reduce el impacto ambiental.

- La colaboración fomenta el intercambio de conocimientos y el desarrollo de soluciones innovadoras para la descarbonización de la logística. La adopción de un enfoque colaborativo permite a las empresas aprovechar la experiencia de sus clientes, proveedores logísticos, asociaciones industriales y programas gubernamentales como Transporte Limpio en México, para identificar conjuntamente áreas de mejora. Esto facilita la implantación de prácticas de logística verde y ayuda a alcanzar los objetivos de descarbonización de la logística.

Si bien esta tesis podría servir como motivación y punto de referencia para futuros investigadores en Latinoamérica, es importante tener en cuenta sus limitaciones al interpretar los resultados obtenidos. La investigación se enfocó en una sola empresa en Latinoamérica, lo que puede limitar la generalización de los hallazgos a otras empresas y regiones. La evaluación de la ética, eficiencia, eficacia y efectividad del plan táctico propuesto se basó únicamente en las opiniones de los expertos en la empresa, y no se contó con observación empírica de la implementación del plan en la práctica, lo que no permitió considerar los desafíos y las oportunidades específicas asociadas con su implementación. Aún hay reservas por parte de los stakeholders relacionadas a la relación costo-beneficio del plan, la asignación de recursos internos y su potencial de aportar en el establecimiento de las bases y conocimiento necesario sobre descarbonización logística en el equipo de trabajo. Teniendo en cuenta lo anterior, se presentan las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones:

- Investigar la efectividad de las acciones del plan táctico propuesto en otras empresas con presencia en diferentes regiones geográficas para evaluar su viabilidad y replicabilidad.
- Analizar los efectos económicos y financieros de la implementación de planes de descarbonización en OLT para entender el impacto de la descarbonización en la rentabilidad de las empresas.
- Investigar el impacto de la descarbonización en OLT en términos de satisfacción del cliente, tanto en términos de calidad como de entrega oportuna, para evaluar si las prácticas de descarbonización afectan la experiencia del cliente y si hay formas de mejorarla.

- Investigar cómo se puede mejorar la precisión y la eficiencia de los modelos de medición de emisiones logísticas para lograr una mayor exactitud en la estimación de las emisiones y una mejor evaluación de las medidas de descarbonización implementadas.
- Investigar la influencia de las regulaciones gubernamentales y la legislación ambiental en la adopción de prácticas de descarbonización en OLT y cómo estas políticas pueden afectar el desarrollo y la implementación de planes de descarbonización en empresas privadas.
- Investigar cómo las prácticas de descarbonización en OLT pueden afectar la cadena de suministro y cómo se puede asegurar la colaboración y el compromiso de los proveedores y los clientes en el proceso de descarbonización.
- Analizar cómo se pueden integrar las prácticas de descarbonización en las operaciones logísticas de almacenamiento, para lograr una estrategia empresarial integral de sostenibilidad logística.
- Investigar cómo se pueden utilizar las tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el internet de las cosas, para mejorar la eficiencia y la precisión de los softwares de planeación y optimización logística para facilitar la toma de decisiones empresariales informadas en materia de sostenibilidad.

ANEXO 1. CUESTIONARIO DE VALIDACIÓN

criterio	Pregunta	Tipo de pregunta	Opciones de respuesta
Ética	Califique la relevancia del plan respecto de la estrategia y valores corporativos.	Escala de Likert	1: No es relevante 5: Muy relevante
Eficacia	El plan cumple con los criterios del negocio respecto de la sustentabilidad.	Escala de Likert	1: Totalmente en desacuerdo 5: Totalmente de acuerdo
Efectividad	El plan abona a la visión y compromiso corporativo	Escala de Likert	1: Totalmente en desacuerdo 5: Totalmente de acuerdo
	Los efectos del plan son significativos respecto del compromiso corporativo.	Escala de Likert	1: Totalmente en desacuerdo 5: Totalmente de acuerdo
	El plan abona a establecer en el equipo de trabajo las bases y conocimiento sobre descarbonización logística.	Escala de Likert	1: Totalmente en desacuerdo 5: Totalmente de acuerdo
	El plan tiene potencial para ser replicado en otros países de la región.	Escala de Likert	1: Totalmente en desacuerdo 5: Totalmente de acuerdo
Eficiencia	La relación costo beneficio del plan es adecuada.	Escala de Likert	1: Totalmente en desacuerdo 5: Totalmente de acuerdo
	¿Qué horizonte temporal es adecuado para implantar el plan?	Opción Múltiple	• 1 año • 2 años (Propuesta) • 3 años • 4 años • Otro: ____
	¿Cuántas horas efectivas por persona al mes implicará la ejecución del plan? *La persona responde de acuerdo al departamento al que pertenece	Opción Múltiple	• menos de 3 horas • entre 3 y 6 horas • entre 6 y 9 horas • entre 9 y 12 horas • entre 12 y 15 horas • entre 15 y 18 horas • más de 18 horas
General	Comentarios adicionales respecto al plan	Abierta	N/A

REFERENCIAS

- AC&A, Agosta, R., Martínez, J. P., Kohon, J., Pérez, J. E., Blas, F., Giacobone, G., CENIT, Saurí, S., & Cubas, I. de. (2020). *Análisis de inversiones en el sector transporte terrestre interurbano latinoamericano a 2040*. CAF.
- Ackoff, R. (2002). El Paradigma de Ackoff. Una Administración Sistémica. In Editorial Limusa & Grupo Noriega Editores (Eds.), *El paradigma de Ackoff* (1st ed.).
- Ahmed, W., Ashraf, M. S., Khan, S. A., Kusi-Sarpong, S., Arhin, F. K., Kusi-Sarpong, H., & Najmi, A. (2020). Analyzing the impact of environmental collaboration among supply chain stakeholders on a firm's sustainable performance. *Operations Management Research*, 13(1–2), 4–21. <https://doi.org/10.1007/s12063-020-00152-1>
- Aldridge, C. (2016). *You, too, can master value chain emissions*. Greenhouse Gas Protocol. <https://ghgprotocol.org/blog/you-too-can-master-value-chain-emissions>
- B@UNAM. (2021). *Analítica de datos para gerentes y directivos*. Unidad de Apoyo Para El Aprendizaje.
- Baker, P., & Marchant, C. (2015). Reducing The Environmental Impact Of Warehousing. In A. C. McKinnon (Ed.), *Green logistics: improving the environmental sustainability of logistics* (3rd ed.). Kogan Page.
- Barbosa-Chacón, J., Barbosa-Herrera, J., & Rodríguez, M. (2013). Revisión y análisis documental para estado del arte. *Investigación Bibliotecológica*, Núm. 61, 27, 83–105.
- Bernal, A., & Rivas, L. A. (2012). Modelos Para La Identificación De Stakeholders Y Su Aplicación a La Gestión De Los Pequeños Abastecimientos Comunitarios De Agua. *Revista LEBRET*, 4(4). <https://doi.org/10.15332/rl.v4i4.337>
- Bongardt, D., Stiller, L., Swart, A., & Wagner, A. (2019). *Sustainable Urban Transport: Avoid-Shift-Improve (A-S-I)*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Bryman, A. (2012). Social research methods Bryman. *OXFORD University Press*, 4th Edition, 766.
- Calatayud, A., & Montes, L. (2021). *Logística en América Latina y el Caribe: Oportunidades, desafíos y líneas de acción*. Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://doi.org/10.18235/0003278>

- Checkland, P. (1979). Techniques in soft systems practice. Part 2: building conceptual models. *Journal of Applied Systems Analysis*, 6.
- Dávila, A. (1999). Nuevas herramientas de contral: El Cuadro de Mando Integral. *Revista de Antiguos Alumnos - IESE*, 1, 35–42. <http://campus.easp.es/recursos/DiplomaGestion/documentos/5-afondo.pdf>
- de Rus, G., Campos, J., & Nombela, G. (2003). *Economía del Transporte* (M. Girona (ed.)). Bosch, Antoni.
- Dey, A., LaGuardia, P., & Srinivasan, M. (2011). Building sustainability in logistics operations: A research agenda. In *Management Research Review* (Vol. 34, Issue 11, pp. 1237–1259). <https://doi.org/10.1108/01409171111178774>
- DFGE – Institute for Energy Ecology and Economy. (2022). *GLEC Framework update: common approach assess logistics emissions*. <https://dfge.de/glec-framework-a-common-approach-to-logistics-emissions-accounting/>
- Dopico-Parada, A., López-Miguens, M. J., & Álvarez-González, P. (2021). Building value with packaging: Development and validation of a measurement scale. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102685>
- Doran GT. (1981). There's a S.M.A.R.T. Way to Write Management's Goals and Objectives. *Management Review*, 70(11), 35–36.
- Edwards, G. (2017). 3 aspectos clave de los planes de descarbonización 2050. *Banco Interamericano de Desarrollo ("BID")*. <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/3-aspectos-clave-de-los-planes-de-descarbonizacion-2050/>
- Eglese, R., & Black, D. (2015). Optimizing the routeing of vehicles. In A. C. McKinnon (Ed.), *Green logistics : improving the environmental sustainability of logistics* (3rd ed.). Kogan Page.
- El-Berishy, N., Rügge, I., & Scholz-Reiter, B. (2013). The interrelation between sustainability and green logistics. *6th IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics*, 527–531. <https://doi.org/10.3182/20130911-3-BR-3021.00067>

- Farahani, R., Rezapour, S., & Kardar, L. (2011). *Logistics Operations and Management: Concepts and Models (Elsevier Insights)*.
- Farromeque, R. (2017). PERLOG. Perfil Logístico de América Latina. *CAF Banco de Desarrollo de América Latina*. <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1022>
- Gerhard, G., & Ranjan, G. (Eds.). (2004). Enterprise planning and supply-chain interaction. In *Practical E-Manufacturing and Supply Chain Management* (pp. 146–184). Newnes. <https://doi.org/10.1016/b978-075066272-7/50009-9>
- Global Reporting Initiative. (2013). *Guía para la elaboración de memorias de sostenibilidad. G4*. <https://www.globalreporting.org/resourcelibrary/Spanish-G4-Part-One.pdf>
- Grabara, J., Kolcun, M., & Kot, S. (2014). THE ROLE OF INFORMATION SYSTEMS IN TRANSPORT LOGISTICS. *International Journal of Education and Research*, 2(2). www.ijern.com
- Gradilla, L. A. (2012). *Transporte de carga en México: transición hacia un sistema sustentable*. 383. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt383.pdf>
- Green, J. M., Stracener, J. T., & Tolentino, G. S. (2017). System Effectiveness Analysis Framework. *RELIABILITY, MAINTAINABILITY & SUPPORTABILITY*, 21(4).
- Gunasekaran, A., Marri, H. B., & Menci, F. (1999). Improving the effectiveness of warehousing operations: a case study. *Industrial Management and Data Systems*, 99(8), 328–339. <https://doi.org/10.1108/02635579910291975>
- Harris, I., Sanchez-Rodrigues, V., Naim, M., & Mumford, C. (2015). Restructuring road freight networks within supply chains. In A. C. McKinnon (Ed.), *Green logistics : improving the environmental sustainability of logistics* (3rd ed.). Kogan Page.
- Hassan, M. M. D. (2002). A framework for the design of warehouse layout. *Facilities*, 20, 432–440. <https://doi.org/10.1108/02632770210454377>
- Hill, N., Bramwell, R., Karagianni, E., Jones, L., MacCarthy, J., Hinton, S., Walker, C., & Harris, B. (2021). 2021 Government greenhouse gas conversion factors for company reporting. *Department for Business, Energy and Industrial Strategy, July*. <https://www.gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for->

company-reporting

- Hitchins, D. (2016). *Systems Approach*. <https://systems.hitchins.net/systems/systems-approach/>
- IEA. (2021). *Greenhouse Gas Emissions from Energy 2021 Database documentation*. www.iea.org
- IPCC. (2014). Anexo II: Glosario. In K. J. Mach, S. Planton, & C. von Stechow (Eds.), *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (pp. 127–141).
- Jackson, M. C. (2001). Critical systems thinking and practice. *European Journal of Operational Research*, 128(2), 233–244. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00067-9](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00067-9)
- Ji, X., Yang, M., Ma, L., & Yang, Y. (2021). Research on the Development of Green Packaging. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 791. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/791/1/012186>
- March, S. T., & Smith, G. F. (1995). Design and natural science research on information technology. *Decision Support Systems*, 15, 251–266.
- Martinez Marin, J. E. (2011). Impact of logistics and shipping in the sustainable development of societies. *Journal of Marine Technology and Environment*, 2(January 2011), 55–60.
- McKinnon, A. C. (2010). Green Logistics : the carbon agenda. *LogForum*, 6(3), 1–9.
- McKinnon, A. C. (2018). *Decarbonizing Logistics: Distributing Goods in a Low Carbon World*. Kogan Page.
- McKinnon, A. C. (2021). *Why Decarbonise Logistics?* KÜHNE LOGISTICS UNIVERSITY. https://digital-lectures.klu.org/kompetenzbereich_digital_lectures/digital_lectures/bundle_decarbonising_logistics/kurs.html?Tutorialid=89
- McKinnon, A. C., Browne, M., Whiteing, A. E., & Piecyk, M. (2015). *Green logistics: improving the environmental sustainability of logistics* (3rd ed.). Kogan Page.

- Mckinnon, A. C., & Petersen, M. (2021). *Measuring Industry's Temperature: An Environmental Progress Report on European Logistics*.
- McKinnon, A. C., & Woodburn, A. (1996). Logistical restructuring and road freight traffic growth. *Transportation* 1996 23:2, 23(2), 141–161. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00170033>
- Meyer, T. (2020). Decarbonizing road freight transportation – A bibliometric and network analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 89.
- Morrissey, G. L. (1996a). *Planeación a largo plazo: creando su propia estrategia*. Prentice-Hall.
- Morrissey, G. L. (1996b). *Planeación táctica: produciendo resultados en corto plazo*. Prentice-Hall Hispanoamericana.
- Mourits, M., & Evers, J. J. M. (1995). Distribution network design An integrated planning support framework. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25(5), 43–57. <https://doi.org/10.1108/09600039510089703>
- Murphy, D. J., & Farris, M. T. (1993). TIME-BASED STRATEGY AND CARRIER SELECTION. *Journal of Business Logistics*, 14(2), 25–41.
- Orotin, P. (2015). *A Handbook for Planning, Monitoring and Evaluation*. LAP LAMBERT Academic Publishing.
- Peña, T., & Pirella, J. (2007). La complejidad del análisis documental Información, cultura y sociedad: revista del Instituto de Investigaciones. *Información, Cultura y Sociedad*, 16, 55–81. <https://www.redalyc.org/pdf/2630/263019682004.pdf>
- Planeación Departamental. Gobernación del Atlántico. (2020). *Planeación estratégica*. Glosario Secretaría de Planeación. <https://www.atlantico.gov.co/index.php/glosario-de-terminos-8834/14593-planeacion-estrategica>
- Rincón-Roncancio, S. M., & Sánchez-Lara, B. (2022). Agenda hacia la descarbonización logística en Latinoamérica: una revisión de la literatura. In *Congreso Internacional de Logística y Cadena de Suministro (CiLOG2022)*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Roblero, A., & Longhi, S. (2021). *La colaboración público-privada hacia una logística*

urbana sostenible : el cambio climático como catalizador. ArticuLAC.

- Rodríguez, D., & Meneses, J. (2011). El cuestionario y la entrevista. *UOC Universitat Oberta de Catalunya*. http://femrecerca.cat/meneses/files/pid_00174026.pdf
- Sánchez-Lara, B. (2019). Operaciones Logísticas de Transporte. Documento técnico. *Departamento de Ingeniería de Sistemas FI-UNAM*.
- Sánchez-Lara, B. (2021). LOS FUNDAMENTALES DE LA PLANEACIÓN. In *SISTEMAS Y PLANEACIÓN Convergencia de las decisiones y de las acciones en Ingeniería* (pp. 22–44).
- Savage, G. T., Nix, T. W., Whitehead, C. J., & Blair, J. D. (1991). Strategies for assessing and managing organizational stakeholders. *Academy of Management Perspectives*, 5(2), 61–75. <https://doi.org/10.5465/ame.1991.4274682>
- Schipper, L., & Marie-Lilliu, C. (1999). Transportation and CO2 emissions: flexing the link - a path for the World Bank. *Environment Department Papers - Climate Change Series No. 69*, 1–86.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México. (2021). *Programa Transporte Limpio*. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programa-transporte-limpio-190236>
- Sezer, S., & Abasiz, T. (2017). The Impact of Logistics Industry on Economic Growth: An Application in OECD Countries. *Eurasian Journal of Social Sciences*, 5(1), 11–23. <https://doi.org/10.15604/EJSS.2017.05.01.002>
- Sharma, A. K., Sharma, D. M., Purohit, N., Rout, S. K., & Sharma, S. A. (2022). Analytics Techniques: Descriptive Analytics, Predictive Analytics, and Prescriptive Analytics. In *EAI/Springer Innovations in Communication and Computing* (pp. 1–14). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82763-2_1
- Smart Freight Centre. (2019). *Marco Operativo del Consejo Global de Emisiones Logísticas para la Contabilidad y Reporte de Emisiones Logísticas*.
- Steffens, G., & Cadiat, A.-C. (2016). *Los criterios SMART: el modelo de éxito para fijar objetivos correctamente*. 50Minutes.es. <https://www.50minutos.es/libro/los-criterios->

smart/

- Sustainable Mobility For All. (2019). *Global Roadmap of Action Towards Sustainable Mobility*. <https://www.sum4all.org/gra>
- Talarian (Awesome Table BV.). (2022). *Geocode by awesome table*. https://workspace.google.com/marketplace/app/geocode_by_awesome_table/904124517349
- Triantafyllou, M. (2019). *Sustainable logistics & supply chain management*. Coventry University.
- United Nations. (2022). *El Acuerdo de París*. 2022 United Nations Framework Convention on Climate Change. <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/el-acuerdo-de-paris>
- United Nations Environment Programme. (2019). Emissions Gap Report 2019. In *UNEP*. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30797/EGR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Uttam Gunjal, P., Nalwade, M., Dhondge, D., Ingale, P. R., & Patil, A. (2015). Green Logistics: Improving the Sustainability of Logistics in Environmental and Organizational Point of View. *International Journal of Science Technology & Management*, 04(03), 122–133. www.ijstm.com
- Velásquez, F. (2000). EL ENFOQUE DE SISTEMAS Y DE CONTINGENCIAS APLICADO AL PROCESO ADMINISTRATIVO. *Estudios Gerenciales*, 16(77).
- Vidová, H., Babčanová, D., Witkowski, K., & Saniuk, S. (2012). Logistics and Its Environmental Impacts. *Vilnius Gediminas Technical University*, 1007–1014. <https://doi.org/10.3846/BM.2012.129>
- Woodburn, A., & Whiteing, A. (2015). Transferring freight to ‘greener’ transport modes. In A. C. McKinnon (Ed.), *Green logistics : improving the environmental sustainability of logistics* (3rd ed.). Kogan Page.